УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 11 2018

Часть 2

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: http://www.natural-sciences.ru

Правила для авторов: http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70878

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С.(Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); Д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н.(Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311.

Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Ответственный секретарь редакции –
Бизенкова Мария Николаевна –
+7 (499) 705-72-30
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 04.12.2018
Дата выхода номера – 04.01.2019

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Байгузова Л.М.
Корректор
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 31,63
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/11-2018
Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ДИНАМИКА РЕШЕТКИ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN) СО СТРУКТУРОЙ ХАЛЬКОПИРИТА
Басалаев Ю.М., Дугинов Е.В., Дугинова Е.Б. *199*

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ
Выскубова Е.Н., Баранова Е.И., Бажина Т.П. *205*

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ХИТИН-СОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТАЛЛОМОВ ЛИШАЙНИКОВ МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ
Жильцов Д.В., Бровко О.С., Ивахнов А.Д., Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А. *210*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И КИНЕТИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ МЕТАНА В МОДЕЛЬНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ
Портнягин А.С., Корякина В.В., Иванова И.К. *216*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДИЦИТРАТОБОРАТА ГЛИЦИНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Осина М.А. *224*

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРЫ АЦИДОФИЛЬНЫХ ХЕМОЛИТОТРОФОВ, АДАПТИРОВАННЫХ К ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КОБАЛЬТА
Хомченкова А.С. *230*

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ
Галдина Т.Е. *235*

СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ЧАЙНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ АДЫГЕИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ
Добежина С.В. *241*

РАЗРАБОТКА ИНДУКТОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ ТИЕНОПИРИДИНОВ
Дядюченко Л.В., Тосунов Я.К., Дмитриева И.Г. *248*

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ CLEMATIS VITALBA L. В САМУРСКОМ ЛЕСУ (ДАГЕСТАН)
Исмаилов А.Б., Алиев Х.У., Маллалиев М.М. *254*

РОЛЬ ФРАКЦИЙ СЕМЯН ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Муллаянова О.С., Таранова Т.Ю. *260*

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОПАДА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА
Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. *267*

СОСТАВ И СТРУКТУРА ОРОШАЕМЫХ СЕВООБОРОТОВ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ЭНТОМОКОМПЛЕКСАМИ
Комарова О.П., Карпова Т.Л. *273*

ВИРУЛЕНТНОСТЬ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ ПШЕНИЦЫ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ
Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Зверовская Т.С., Сабаева О.Б., Белан И.А. *279*

ПОДБОР ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ТЕХНОГЕННЫМИ ФТОРИДАМИ
Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В. *284*

КОЛЕБАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПРИРОСТОВ В МОЛОДЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ
Пак Л.Н. *289*

ИЗМЕНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ПОЛОСЫ ОТВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «УПОРОВСКИЙ»
Попова Е.И., Харитонцев Б.С., Цапцова Т.Н. *294*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, СНИЖАЮЩЕГО ВОДНУЮ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЭРОЗИЮ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ
Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В., Либерцев С.А., Покусаев П.А. *299*

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЯЧМЕНЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ МЕДЬЮ
Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И., Рачкова В.М. *305*

Науки о Земле (25.00.00)

КЛИМАТОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НИВАЛЬНО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ
Волкова Е.С., Мельник М.А., Бородавко П.С. *311*

АМУРСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ (ОСТРОВ САХАЛИН)
Жарков Р.В., Козлов Д.Н., Веселов О.В., Ершов В.В., Сырбу Н.С., Никитенко О.А. *317*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ, ПОКРЫТОМ ЛЬДОМ
Зверев И.С., Здоровеннова Г.Э., Богданов С.Р., Волков С.Ю., Гавриленко Г.Г., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Здоровеннов Р.Э., Голосов С.Д., Тержевик А.Ю. *323*

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДОЛГОЖИВУЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПАХ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ СЕВЕРОДВИНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА
Зыков С.Б., Дружинин С.В., Зыкова Е.Н., Яковлев Е.Ю., Покровский О.С. *328*

СТЕПНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН, НУЖДАЮЩИЕСЯ В СОХРАНЕНИИ
Касьянова Л.Н. *334*

ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ХЕМОЛИТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Киореску А.В. *343*

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП В УСЛОВИЯХ КЕРЖЕНСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
Козлов А.В., Кораблева О.В., Акафьева Д.В., Воронцова А.А. *348*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ WEATHER APP ДЛЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА И ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА
Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. *355*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ
Малышкин Н.Г. *361*

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЕКАТЕРИНБУРГА, КАЗАНИ И ПЕРМИ: ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И РАЗЛИЧИЯ
Меркушев С.А., Хуснутдинова С.Р. *366*

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ
Ноговицына М.А. *372*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ
Павлейчик В.М. *377*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЗЛЫХ ОБРАЗЦОВ ОДНОРОДНОЙ И НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ
Панишев С.В., Максимов М.С., Алькова Е.Л. *383*

БИОРАЗНООБРАЗИЕ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРО-ЧУЙСКОГО ЦЕНТРА СОВРЕМЕННОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)
Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Райская Ю.Г. *389*

РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДА В ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ
Ткачев Б.П., Зайцева А.В., Ткачева Т.В. *395*

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА РАДОНА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЧВ ЯРКОВСКОГО, ВАГАЙСКОГО, ТОБОЛЬСКОГО РАЙОНОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ
Токарева А.Ю., Алимова Г.С., Уткина И.А. *400*

ВСЕЛЕНИЕ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМЫ СРЕДНИХ ШИРОТ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ЛЕТНИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ ВОЗДУХА
Шевырёв С.Л., Анциферова Г.А., Русова Н.И. *407*

ПОДХОДЫ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)
Шестакова А.А., Спектор В.Б., Торговкин Я.И. *413*

Научный обзор

Науки о Земле

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ
Нажису, Ерофеев В.И. *420*

ТЕРМОКАРСТ КАК ФАКТОР РАЗРУШЕНИЯ И СОЗИДАНИЯ В РАЗВИТИИ ГЕОСИСТЕМ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА
Скрыльник Г.П. *425*

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ГЛОКАЛИЗАЦИИ
Тишкова М.А., Межова Л.А. *437*

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

LATTICE DYNAMICS AND ELASTIC PROPERTIES OF $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN) WITH A CHALCOPYRITE STRUCTURE
Basalaev Yu.M., Duginov E.V., Duginova E.B. *199*

OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR ELECTROMETRIC CONTROL OF PROCESSING PRODUCTS OF NATURAL RAW MATERIALS
Vyskubova E.N., Baranova E.I., Bazhina T.P. *205*

SORPTION PROPERTIES OF CHITIN-CONTAINING COMPLEXES ISOLATED FROM THE LICHEN THALLI BY THE SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION METHOD
Zhiltsov D.V., Brovko O.S., Ivakhnov A.D., Bogolitsyn K.G., Boytsova T.A., Palamarchuk I.A. *210*

RESEARCH OF MORPHOLOGY AND KINETICS OF METHANE HYDRATES FORMATION IN A MODEL POROUS MEDIUM
Portnyagin A.S., Koryakina V.V., Ivanova I.K. *216*

THE STUDY OF THE STRUCTURE OF DINITROTOLUENE WISTERIA USING PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS
Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Osina M.A. *224*

THE OXIDATION ACTIVITY OF ACIDOPHILIC CHEMOLITHOTROPHIC CULTURE, ADAPTED TO HIGH COBALT CONCENTRATION
Khomchenkova A.S. *230*

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

PECULIARITIES OF LARCH GROWTH IN THE PROVENANCE TRIAL PLANTATIONS OF CENTRAL FOREST-STEPPE
Galdina T.E. *235*

CONTENTS OF MAIN NUTRITION ELEMENTS IN SOIL UNDER TYPICAL TEA PLANTINGS OF ADYGEA UNDER IRRIGATION CONDITIONS
Dobezhina S.V. *241*

DEVELOPMENT OF RESISTANCE INDUCERS FOR SUGAR BEET PLANTS IN THE ROW OF DERIVATIVES OF THIENOPYRIDINE
Dyadyuchenko L.V., Tosunov Ya.K., Dmitrieva I.G. *248*

THE STRUCTURE OF THE COMMUNITIES WITH CLEMATIS VITALBA L. IN SAMUR FOREST (DAGESTAN)
Ismailov A.B., Aliev Kh.U., Mallaliev M.M. *254*

THE ROLE OF SEED FRACTIONS AT FORMATION OF SPRING SOFT WHEAT PRODUCTIVITY IN MODERN CULTIVATION TECHNOLOGIES
Kincharov A.I., Demina E.A., Mullayanova O.S., Taranova T.Yu. *260*

SOME PECULIARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SCOTCH PINE DEBRIS, GROWING UNDER CONDITIONS OF COAL PIT
Kolmogorova E.Yu., Ufimtsev V.I. *267*

COMPOSITION AND STRUCTURE OF IRRIGATED CROP ROTATIONS AS BASIS FOR ENTOMOCOMPLEXES` MANAGEMENT
Komarova O.P., Karpova T.L. *273*

VIRULENCE OF NATURAL POPULATION OF THE PATHOGEN BROWN RUST WHEAT IN THE OMSK REGION
Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Zverovskaya T.S., Sabaeva O.V., Belan I.A. *279*

SELECTION OF TREES AND SHRUBS FOR PLANTING TERRITORIES POLLUTED BY TECHNOGENIC FLUORIDES
Mikhaylova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. *284*

FLUCTUATION OF LINEAR GROWTH IN YOUNG CULTURES
OF PINE IN ZABAIKALSKY KRAI
Pak L.N. *289*

PLANT BIODIVERSITY CHANGES AT THE TERRITORY OF ELECTRIC MAINS
IN THE BOUNDARIES OF THE REGIONAL RESERVE «UPOROVSKIY»
Popova E.I., Kharitontsev B.S., Tsaptsova T.N. *294*

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOIL TREATMENT
FOR DECREASING WATER AND TECHNOLOGICAL EROSION ON SLOPE LANDS
Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V., Libertsev S.A., Pokusaev P.A. *299*

RESPONSE REACTION OF BARLEY IN ONTOGENESIS FOR POLLUTION BY COPPER
Tsygvintsev P.N., Goncharova L.I., Rachkova V.M. *305*

Earth sciences (25.00.00)

CLIMATE-RELATED TRANSFORMATION OF THE NIVAL-GLACIAL LANDSCAPES
OF WESTERN MONGOLIA AND THEIR CONSEQUENCES
Volkova E.S., Melnik M.A., Borodavko P.S. *311*

AMURSKY HOT SPRINGS (SAKHALIN ISLAND)
Zharkov R.V., Kozlov D.N., Veselov O.V., Ershov V.V., Syrbu N.S., Nikitenko O.A. *317*

MODELING OF CURRENTS IN AN ICE-COVERED LAKE
Zverev I.S., Zdorovennova G.E., Bogdanov S.R., Volkov S.Yu., Gavrilenko G.G., Efremova T.V., Palshin N.I., Zdorovennov R.E., Golosov S.D., Terzhevik A.Yu. *323*

NEW DATA ON LONG-LIVING TECHNOGENIC AND NATURAL
RADIOACTIVE ISOTOPES IN UPPER LAYERS OF SOIL
IN THE NEIGHBORHOOD OF THE SEVERODVINSK INDUSTRIAL AREA
Zykov S.B., Druzinin S.V., Zykova E.N., Yakovlev E.Yu., Pokrovskiy O.S. *328*

STEPPE PHYTOCENOSES OF THE OLKHON ISLAND REQUIRING PRESERVATION
Kasyanova L.N. *334*

CHANGE OF OXIDATIVE ACTIVITY OF CHEMOLITOTROPHIC MICROORGANISMS
UNDER THE IMPACT OF MICROWAVE RADIATION
Kioresku A.V. *343*

RECONNOITRING ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL STATE OF RIVER
WATER AND SOIL COVER OF TOURIST TRACKS IN CONDITIONS
OF THE KERZHENSKY TERRITORY
Kozlov A.V., Korableva O.V., Akafeva D.V., Vorontsova A.A. *348*

THE USE OF A COMPUTER SYSTEM «WEATHER APP» FOR WATER BALANCE
CALCULATIONS TO ASSESS WATER BALANCE ELEMENTS AND CHARACTERISTICS
OF NATURAL HUMIDITY IN THE NORTHERN PART OF KAZAKHSTAN
Kusainova A.A., Mezentseva O.V. *355*

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR CONDITION IN THE AREA OF ACTIVITY
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY THE METHOD OF LICHENOINDICATION
Malyshkin N.G. *361*

TRENDS AND PROBLEMS OF TRANSFORMATION
OF THE TERRITORIAL-FUNCTIONAL STRUCTURE OF EKATERINBURG,
KAZAN AND PERM: GENERAL FEATURES AND DIFFERENCES
Merkushev S.A., Khusnutdinova S.R. *366*

PHYSICO-GEOGRAPHICAL ZONING OF THE SOUTHERN BAIKAL REGION
Nogovitsyna M.A. *372*

EXPERIENCE OF DATA APPLICATION OF REMOTE SENSING
IN STUDIES OF STEPPE FIRES
Pavleychik V.M. *377*

STUDY OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF FROZEN SAMPLES OF HOMOGENEOUS AND DISTURBED STRUCTURE
Panishev S.V., Maksimov M.S., Alkova E.L. *383*

BIODIVERSITY OF VASCULAR PLANTS IN THE OLD-AGE FORESTS IN THE SEVERO-CHUISKIY CENTER OF THE MODERN GLACIATION (ALTAI MOUNTANS)
Timoshok E.E., Timoshok E.N., Rayskaya Yu.G. *389*

THE CALCULATION OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT IN THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA
Tkachev B.P., Zaytseva A.V., Tkacheva T.V. *395*

RESEARCH OF FLUX DENSITY OF RADON IN THE SOIL SURFACE OF YARKOVSKIY, VAGAYSKIY AND TOBOLSK DISTRICTS
Tokareva A.Yu., Alimova G.S., Utkina I.A. *400*

IMMIGRATION OF THE ALIEN CYANOBACTERIAE INTO THE BASINS OF MIDDLE LATITUDE TERRITORIES UNDER CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURE AIR ANOMALIES
Shevyrev S.L., Antsiferova G.A., Rusova N.I. *407*

APPROACHES TO ENGINEERING AND GEOCRYOLOGICAL MAPPING OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)
Shestakova A.A., Spektor V.B., Torgovkin Ya.I. *413*

Scientific review

Earth sciences

INVESTIGATION AND APPLICATION OF POLYMER FLOODING TECHNOLOGY FOR IMPROVEMENT OF PETROLEUM OIL REFINING
Narisu, Erofeev V.I. *420*

THERMOKARST AS THE FACTOR OF DESTRUCTION AND CREATION IN DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS OF THE SOUTH OF MIDDLE SIBERIA AND THE FAR EAST
Skrylnik G.P. *425*

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROCESSES OF GLOBALIZATION AND GLOCALIZATION
Tishkova M.A., Mezhova L.A. *437*

УДК 544.223

ДИНАМИКА РЕШЕТКИ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN) СО СТРУКТУРОЙ ХАЛЬКОПИРИТА

[1,2]Басалаев Ю.М., [2]Дугинов Е.В., [2]Дугинова Е.Б.

[1]Кемеровский государственный университет, Кемерово, e-mail: ymbas@mail.ru;
[2]Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, Кемерово, e-mail: kit.katy@mail.ru

С использованием методов теории функционала плотности DFT (density functional theory), заложенных в программном коде CRYSTAL14, впервые для соединений $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In), кристаллизующихся обычно в орторомбической фазе, рассмотрена гипотетическая структура халькопирита и определены равновесные структурные параметры a и c (в Å): 5.4632 и 8.1464 ($LiBS_2$), 5.6770 и 10.1316 ($LiAlS_2$), 5.6902 и 10.3749 ($LiGaS_2$), 5.8090 и 11.2801 ($LiInS_2$). Для центра зоны Бриллюэна халькопирита моделируемых кристаллов вычислены частоты оптических колебаний, активные в инфракрасном спектре и спектре комбинационного рассеяния света. Проведен теоретико-групповой анализ и установлены вклады колебаний атомов Li, M и S, образующих кристаллы $LiMS_2$, в колебательные моды с симметрией A_1, A_2, B_1, B_2, E. Полученные частотные спектры однозначно идентифицируют кристаллы $LiMS_2$ в структуре халькопирита. Они могут служить ориентиром и быть полезными экспериментаторам при попытке синтезировать модельные образцы, а также при исследовании возможностей фазовых переходов в рассмотренных кристаллах. Вычислены упругие постоянные, фазовые скорости упругих волн, фундаментальные модули упругости, коэффициенты Пуассона, микротвердости и параметры Грюнайзена. Значения упругих постоянных удовлетворяют условиям Борна. Рассмотрен изоэлектронный ряд $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$, отражающий влияние изменения химического состава на закономерное изменение физических и физико-химических свойств в группе кристаллов $LiMS_2$. Установлено, что с ростом атомного номера катионов M уменьшаются прочность, модуль Юнга, модуль всестороннего сжатия, микротвердость и фазовые скорости упругих волн.

Ключевые слова: халькопирит, моды колебаний, $LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$, $LiInS_2$, упругие свойства

LATTICE DYNAMICS AND ELASTIC PROPERTIES OF $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN) WITH A CHALCOPYRITE STRUCTURE

[1,2]Basalaev Yu.M., [2]Duginov E.V., [2]Duginova E.B.

[1]Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: ymbas@mail.ru;
[2]Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo, e-mail: kit.katy@mail.ru

The hypothetical structure of chalcopyrite is considered using the methods of the theory of the functional density theory DFT, embedded in the program code CRYSTAL14, for the first time for $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) compounds, which usually crystallize in the orthorhombic phase, and the equilibrium structural parameters a and c (in Å): 5.4632 and 8.1464 ($LiBS_2$), 5.6770 and 10.1316 ($LiAlS_2$), 5.6902 and 10.3749 ($LiGaS_2$), 5.8090 and 11.2801 ($LiInS_2$). For the center of the Brillouin zone of chalcopyrite of simulated crystals, the frequencies of optical vibrations active in the infrared spectrum and in the spectrum of Raman scattering of light are calculated. The group-theoretical analysis is carried out and the contributions of the vibrations of the Li, M, and S atoms forming $LiMS_2$ crystals to the vibrational modes with symmetry A_1, A_2, B_1, B_2, and E are established. The obtained frequency spectra uniquely identify the $LiMS_2$ crystals in the chalcopyrite structure. They can serve as a reference point and be useful to experimenters when trying to synthesize model samples, as well as when investigating the possibilities of phase transitions in the crystals considered. Elastic constants, phase velocities of elastic waves, fundamental elastic moduli, Poisson's coefficients, microhardness and Grüneisen parameters are calculated. The valuesof the elastic constants satisfy the Born conditions. The isoelectronic series $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$ is considered, which reflects the effect of a change in the chemical composition on the regular change in physical and physicochemical properties in the group of $LiMS_2$ crystals. It has been established that with increasing atomic number of cations M, strength, Young's modulus, the modulus of all-round compression, microhardness and phase velocities of elastic waves decrease.

Keywords: chalcopyrite, vibration modes, $LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$, $LiInS_2$, elastic properties

При моделировании новых, еще не синтезированных кристаллов необходимо удостовериться, что такие кристаллы представляют практический интерес, что они имеют реальные аналоги и, следовательно, могут быть не только получены экспериментально, но также окажутся достаточно прочными, устойчивыми и будут обладать интересными свойствами. Моделирование гипотетических Li-содержащих кристаллов $LiMS_2$ со структурой халькопирита является важной задачей, поскольку они относятся к семейству известных и нашедших широкое применение материалов $LiMX_2$ (M = B, Al, In, Ga; X = O, S, Se, Te) [1], многие из них пригодны для создания оптических приборов и устройств, работающих в среднем и дальнем ИК-диапазоне. О возможности существования у кристаллов $LiMS_2$ структуры, подобной структуре халькопирита, свидетельствуют экспериментальные работы, в которых при разных внешних ус-

ловиях были реализованы тетрагональные фазы халькопирита: при обычных условиях в $LiInTe_2$ [2], $LiAlTe_2$ [3] и $LiGaTe_2$ [4]; при особых условиях, как в случае с $LiInSe_2$ [5], и под высоким давлением при высокой температуре, как в синтезе фазы высокого давления у $LiBO_2$ [6]. Особый интерес к таким Li-содержащим кристаллам [7], наиболее интенсивно разрабатываемым в последние несколько десятилетий, обусловлен не только наличием ряда уникальных свойств, среди которых можно выделить большую ширину запрещенной зоны ($E_g > 2$ эВ), высокий коэффициент теплопроводности и низкую анизотропию линейного теплового расширения, которые делают кристаллы $LiMX_2$ более предпочтительными по сравнению с их кристаллохимическими аналогами, содержащими вместо атомов Li атомы Cu и Ag, но и развитие современных технологий, позволяющих использовать в производстве такие агрессивные материалы, как литий и его соединения. Весьма продуктивно и плодотворно в этом направлении работают в нашей стране исследователи под руководством Л.И. Исаенко [8]. Среди зарубежных публикаций, посвященных успешному выращиванию и изучению физических свойств Li-содержащих халькогенидов, в том числе сульфидов $LiMS_2$, можно выделить работы [9, 10] Теоретическое исследование с использованием современных пакетов прикладных программ, основанных на первопринципном подходе, упругих и колебательных свойств кристаллов $LiMS_2$ в тетрагональной фазе, подобной структуре халькопирита ($CuFeS_2$), до сих пор не выполнено. Такие расчеты для гипотетических кристаллов $LiMS_2$ являются актуальными, поскольку позволят получить необходимые сведения об устойчивости, прочности, свойствах, оптических частотах и, следовательно, о возможности существования и перспективах их синтеза.

Цель исследования: моделирование кристаллической структуры и исследование упругих и колебательных свойств кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) со структурой халькопирита с помощью методов теории функционала плотности и возможностей программного кода CRYSTAL14 [11].

Материалы и методы исследования

Для моделирования структуры халькопирита в избранных кристаллах $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) необходимо определить параметры решетки a, c и координату аниона (атомы S) x. Тогда легко задать координаты восьми основных атомов в элементарной ячейке халькопирита: Li – (0,0,0) (0,½,¼); M – (0,0,½) (0,½,–¼); S – (x,¼,⅛) (–x,¼,⅛) (–¼,x,–⅛) (¼,–x,–⅛), в единицах a(1,1,γ), где отношение $\gamma = c/a$ характеризует тетрагональное сжатие, величина которого, как правило, изменяется в пределах от 1,5 до 2,0, а в отдельных кристаллах может даже превышать значение 2,0 (тетрагональное растяжение). Координата аниона x в кристаллах $LiMS_2$ обычно отличается от идеального значения 0,25, что связано с окружением анионов катионами разного сорта. Для структуры халькопирита характерно тетрагональное расположение атомов относительно друг друга: катионы (Li, M) окружены четырьмя эквивалентными анионами S, а каждый анион S окружен парой атомов Li и парой атомов сорта M. Ближний порядок и химическая связь в структуре халькопирита обеспечиваются взаимодействием между атомами в катионных LiS_4, MS_4 и анионных Li_2SM_2 тетраэдрах.

Постоянные решетки a, c и координата анионов x вычислялись по формулам из работы [12], где за основу берутся радиусы соответствующих атомов. Полученные таким образом значения a, c и x использовались в качестве исходных, для проведения стандартной процедуры оптимизации геометрии кристалла, обеспечивающей приведение его в равновесное состояние с минимальной энергией. Равновесные значения a, c и x для кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Равновесные параметры кристаллической структуры соединений $LiMS_2$

Параметры	a, Å	c, Å	x	γ	$R_{Li\text{-}S}$, Å	$R_{M\text{-}S}$, Å
$LiBS_2$	5,4632	8,1464	0,3249	1,491	2,460	1,954
$LiAlS_2$	5,6770	10,1316	0,2797	1,785	2,478	2,276
$LiGaS_2$	5,6902	10,3749	0,2744	1,823	2,479	2,314
$LiInS_2$	5,8090	11,2801	0,2501	1,942	2,492	2,491

Анализ равновесных параметров показывает, что кристаллическая ячейка должна быть сильно сжатой вдоль тетрагональной оси у трех кристаллов ($LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$). Для них же в равновесном состоянии значения координаты x существенно отличаются от 0,25, что обусловлено различием длин связей Li-S и M-S. Максимальное отличие длин катион-анионных связей получено для $LiBS_2$ (более 20%), что характерно и для других соединений с большим тетрагональным сжатием ($\gamma = c/a << 2$), содержащих в своем составе атомы бора, например, $LiBO_2$ [6] и $CuBS_2$ [13]. Катионные LiS_4, InS_4 и анионные Li_2SIn_2 тетраэдры в кристалле $LiInS_2$ должны быть слабо искажены, поскольку длины связей Li-S и In-S практически совпадают.

Модельные расчеты для кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) были выполнены с помощью методов теории функционала плотности DFT (density functional theory), которые составляют основу программного кода CRYSTAL [11]. Для обеспечения надежности результатов расчетов, кроме оптимизации геометрии кристаллов, был применен гибридный метод B3LYP и разбиение зоны Бриллюэна сеткой из специальных точек 16×16×16, что обеспечивало сходимость по полной энергии не хуже 10^{-3} эВ/атом и по фононным частотам в пределах нескольких десятых долей $см^{-1}$. Все расчеты проводились с использованием полноэлектронного валентно-расщепленного базиса гауссовых орбиталей TZVP (Triple-Zeta Valence), реализуемого в программном коде CRYSTAL14 [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Механические свойства моделируемых кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In), вычисленные из первых принципов, позволяют оценить их устойчивость и прочность. С помощью кода CRYSTAL были получены упругие постоянные, представленные в табл. 2. Там же приведены фундаментальные физические характеристики: модуль Юнга E, модуль сдвига G, модуль всестороннего сжатия K и коэффициент Пуассона v.

Все моделируемые кристаллы $LiMS_2$ являются устойчивыми, поскольку вычисленные упругие постоянные удовлетворяют условиям Борна для тетрагональных кристаллов: диагональные компоненты $C_{ii} > 0$ (i = 1, 3, 4, 6), а между остальными компонентами выполняются соотношения $C_{11} > C_{12}$, $C_{11}C_{33} > C_{13}^2$ и $(C_{11} + C_{12})C_{33} > 2C_{13}^2$. Поскольку в кристаллах $LiMS_2$ отношения $K/G \geq 1{,}75$ и $G/K \leq 0{,}8$, то их можно отнести к прочным и пластичным материалам, у которых ионность связи Li-S много выше ионности преимущественно ковалентных связей M-S.

Вычисленные в модели Зенера показатели анизотропии $A = 2C_{44}/(C_{11}-C_{12})$ превышают 1, что свидетельствует о сильно выраженной анизотропии структуры и свойств моделируемых кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In).

Таблица 2

Упругие постоянные (C_{ij}), модули упругости (E, G, K), микротвёрдость (H) и параметр Грюнайзена (γ_G) (в ГПа), коэффициент Пуассона (ν) и показатель анизотропии (A) кристаллов $LiMS_2$ со структурой халькопирита

$LiMS_2$	$LiBS_2$	$LiAlS_2$	$LiGaS_2$	$LiInS_2$
C_{11}	136,5	68,1	63,4	46,4
C_{12}	30,2	29,9	28,6	27,9
C_{13}	56,5	42,7	39,5	33,4
C_{33}	81,5	59,0	59,8	54,9
C_{44}	58,0	32,7	31,5	25,1
C_{66}	26,5	22,2	21,8	20,9
E	96,4	52,7	52,3	41,4
G	37,9	20,0	20,1	15,8
K	70,3	47,3	44,5	36,9
ν	0,27	0,31	0,30	0,31
K/G	2,11	2,30	2,13	2,01
G/K	0,48	0,43	0,47	0,50
H	4,56	2,58	2,83	2,63
γ_G	1,74	1,84	1,76	1,69
A	1,09	1,68	1,81	2,7

Прочность и устойчивость материала напрямую связаны с его сопротивляемостью внешним механическим нагрузкам, которые характеризуются микротвердостью, определяемой из эксперимента, как правило путем вдавливания в образец алмазных пирамид. Микротвердость кристаллов $LiMS_2$ была вычислена с помощью коэффициента Пуассона (ν) и модуля Юнга (E) по формуле $H = E(1 - 2\nu)/6(1 + \nu)$, взятой из работы [14]. Судя по величине H, в четыре и более раз превышающей микротвердость золота (0,66 ГПа), но много меньшей порогового значения для сверхтвердых материалов (40 ГПа), кристаллы $LiMS_2$ являются достаточно прочными и устойчивыми, что не противоречит выводам, полученным ранее из соотношений модулей сдвига и всестороннего сжатия ($K/G \geq 1{,}75$ и $G/K \leq 0{,}8$).

Параметр Грюнайзена (γ_G) является мерой ангармонизма межатомных взаимодействий в кристаллах, не может превышать величину 4,5 и может иметь среднее значение в пределах от 0,85 до 3,53. Вычисленные по формуле $\gamma_G = 3(1 + \nu)/2(2 - 3\nu)$ из работы [15] значения параметров Грюнайзена для моделируемых кристаллов LiMS$_2$ не противоречат данным требованиям.

В рамках теории функционала плотности был выполнен расчет частот оптических фононов в точке Г зоны Бриллюэна тетрагональных кристаллов LiMS$_2$, значения которых и вкладов колебаний атомов представлены в табл. 3.

Полное преобразование длинноволновых нормальных колебаний (Γ_{total}) по неприводимым представлениям в центре зоны Бриллюэна халькопирита (точка Г) содержит вклады одного двукратного Γ_5 (E) и четырех однократных Γ_1 (A_1), Γ_2 (A_2), Γ_3 (B_1), Γ_4 (B_2) неприводимых представлений. Это преобразование разлагается в ряд: $\Gamma_{total} = A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 4B_2 + 7E$, в котором присутствуют три акустические моды (B_2 и E). Исключая акустические моды, получаем разложение для оптических частот: $\Gamma_{opt} = A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 3B_2 + 6E$. Теоретико-групповой анализ и оценка процентного вклада отдельных атомов в колебания определенной симметрии, позволяют получить полную картину колебаний в равновесном кристалле.

Установлено, что колебания Γ_1 (A_1) и Γ_2 (A_2) на 100 % являются анионными, все смещения происходят в направлении главной оптической (тетрагональной) оси кристалла (ось z) и перпендикулярно к ней. Частоты колебаний убывают в гомологическом ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$.

Таблица 3

Значения частот и вклады колебаний подрешеток для LiMS$_2$

Симметрия	LiBS$_2$				LiAlS$_2$			
D_{2d}^{12}	ω, см$^{-1}$	вклады, %			ω, см$^{-1}$	вклады, %		
		Li	B	S		Li	Al	S
Γ_1 (A_1)	322	0	0	100	271	0	0	100
Γ_2 (A_2)	432	0	0	100	355	0	0	100100
	236	0	0	100	201	0	0	
Γ_3 (B_1)	614	0	96	4	422	7	77	16
	404	17	3	80	360	68	0	32
	225	82	2	16	189	25	23	52
Γ_4 (B_2) TO/LO	560/606	0	53	47	417/472	0	30	70
	319/346	12	7	81	330/347	59	0	41
	210/228	65	7	28	171/173	15	20	65
Γ_5 (E) TO/LO	662/708	0	86	14	437/489	0	80	20
	602/614	0	67	33	428/430	0	35	65
	402/416	72	4	24	357/370	73	2	25
	382/396	82	0	18	355/355	77	1	22
	309/311	21	9	70	192/192	4	31	65
	138/138	4	1	95	114/114	8	4	88
Симметрия	LiGaS$_2$				LiInS$_2$			
D_{2d}^{12}	ω, см$^{-1}$	вклады, %			ω, см$^{-1}$	вклады, %		
		Li	B	S		Li	Al	S
Γ_1 (A_1)	268	0	0	100	262	0	0	100
Γ_2 (A_2)	339	0	0	100	325	0	0	100100
	199	0	0	100	189	0	0	
Γ_3 (B_1)	365	68	0	32	364	82	0	18
	308	19	40	41	290	12	26	62
	149	13	60	27	110	6	74	20
Γ_4 (B_2) TO/LO	347/387	22	8	70	347/392	64	0	36
	331/346	39	9	52	322/335	1	8	91
	137/143	12	20	68	114/123	11	14	75
Γ_5 (E) TO/LO	361/413	43	4	53	347/397	70	0	30
	360/361	70	3	27	340/340	59	2	39
	342/346	9	13	78	325/328	5	9	86
	306/308	20	47	33	275/280	13	33	54
	139/141	4	43	53	120/123	13	29	58
	105/105	7	17	76	79/79	5	56	39

В колебательной моде Γ_3 (B_1) атомы Li и *M* (B, Al, Ga, In) смещаются только вдоль тетрагональной оси (ось z), при этом катионы (атомы Li или *M*) колеблются в противофазе, а анионы (атомы S) смещаются в плоскостях, перпендикулярных оси z. Колебания создают катион-анионные пары (Li-S и *M*-S), изменения вкладов в которые свидетельствуют об ослаблении химической связи в изоэлектронном ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$.

В колебательной моде с симметрией Γ_4 (B_2) катионы Li и *M* (B, Al, Ga, In) смещаются только вдоль тетрагональной оси (ось z), анионы (атомы S) совершают колебания исключительно в плоскостях, содержащих ось z. Колебания создаются катион-анионными парами (Li-S и *M*-S), а наблюдаемые изменения вкладов в них свидетельствует об ослаблении ковалентной составляющей химической связи в ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$.

В колебательной моде с симметрией Γ_5 (E) атомы Li и *M* (B, Al, Ga, In) смещаются только в плоскостях, перпендикулярных тетрагональной оси (ось z), в анионы (атомы S) колеблются в плоскостях, содержащих эту ось. Две верхние моды во всех соединениях $LiMS_2$ содержат преобладающий вклад колебаний легкого катиона (атомы Li) с небольшой долей анионов (атомы S). Для самой низкой частоты вклады от катионной подрешетки Li не превышают 8%, а доля вклада катиона *M* увеличивается с увеличением атомного номера в ряду B→Al→Ga→In, на фоне уменьшения доли вкладов аниона S.

В комбинационном рассеянии (КР) кристаллов $LiMS_2$ со структурой халькопирита активны все моды, кроме A_2. Инфракрасные (ИК) спектры поглощения этих кристаллов содержат полярные моды B_2 и *E*, расщепленные на продольные (LO) и поперечные (TO) составляющие. Основными причинами расщепления являются взаимодействие катионов с анионами и различие масс атомов, заполняющих кристаллические подрешетки: *m*(Li) = 7,0160, *m*(B) = 11,0093, *m*(Al) = 26,9815, *m*(Ga) = 68,9257, *m*(In) = = 114,9041, *m*(S) = 31,9721 (в а.е.м.). В данном случае влияние массы атомов проявляется в амплитудах колебаний отдельных атомов в соответствующих подрешетках (Li, M, S), а также в колебаниях катион-анионных пар (Li-S и *M*-S), отражающих прочность взаимодействия в катионных тетраэдрах LiS_4 и MS_4.

Упругие волны, распространяющиеся в тетрагональных кристаллах со структурой халькопирита, разделяются на три фазовые скорости, из которых две – квазипоперечные (υ_{T1}, υ_{T2}) и одна – квазипродольная (υ_L). Вычисленные для кристаллов $LiMS_2$ значения фазовых скоростей представлены в табл. 4. Из таблицы видно, что значения всех фазовых скоростей уменьшаются в ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$ и имеют максимальное значение в направлениях [101] и [011].

Таблица 4

Распределение фазовых скоростей (в м/с) по волновым векторам в кристаллах $LiMS_2$

Вектор	Скорость	$LiBS_2$	$LiAlS_2$	$LiGaS_2$	$LiInS_2$
[001]	υ_L	6032	5442	4651	4077
	υ_{T1}	5091	4053	3373	2784
	υ_{T2}	5091	4053	3373	2784
[010], [100]	υ_L	7808	5847	4786	3782
	υ_{T1}	5091	4053	3373	2784
	υ_{T2}	3438	3338	2810	2540
[110]	υ_L	7003	5979	4951	4231
	υ_{T1}	5091	4053	3373	2784
	υ_{T2}	4873	3095	2508	1689
[101], [011]	υ_L	7976	6566	5446	4544
	υ_{T1}	4344	3713	3104	2665
	υ_{T2}	3315	2283	1997	1603
[111]	υ_L	7760	6588	5464	4618
	υ_{T1}	4947	3444	2825	2118
	υ_{T2}	3244	2595	2253	1974

Заключение

Полученные равновесные параметры кристаллической структуры и спектры частот оптических колебаний позволяют идентифицировать новые кристаллы $LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$ и $LiInS_2$ в тетрагональной фазе халькопирита с пространственной группой симметрии D_{2d}^{12} (или I-42d, № 122). Эти данные для гипотетических соединений LiMS$_2$ могут служить ориентиром и быть полезными экспериментаторам при попытке синтезировать модельные образцы, а также при исследовании возможностей фазовых переходов в уже синтезированных кристаллах LiMS$_2$ в орторомбической модификации. Вычисленные упругие постоянные всех моделируемых соединений полностью удовлетворяют условиям Борна, что может свидетельствовать об устойчивости тетрагональных фаз кристаллов LiMS$_2$ при условии их успешной реализации. Получены данные об изменении упругих и колебательных свойств при изменении химического состава, что представляет научный и практический интерес, при поиске новых прочных и широкозонных ($E_g > 2$ эВ) материалов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) с полупроводниковыми свойствами.

Список литературы / References

1. Ma Tian-Hui, Zhuang Zhi-Ping, Ren Yu-Lan. First-principles calculations of optical and mechanical properties of $LiBX_2$ (B = Ga, In; X = S, Se, Te). Acta Phys. Sin. 2012. Vol. 61. No. 19. P. 197101. DOI: 10.7498/aps.61.197101.

2. Ma C.-G., Brik M.G. First principles studies of the structural, electronic and optical properties of $LiInSe_2$ and $LiInTe_2$ chalcopyrite crystals. Solid State Communications. 2015. V. 203. P. 69–74. DOI: 10.1016/j.ssc.2014.11.021.

3. Reshak A.H., Khan W. The density functional study of electronic structure, electronic charge density, linear and nonlinear optical properties of single crystal alpha-$LiAlTe_2$. Journal of Alloys and Compounds. 2014. Vol. 592. P. 92–99.

4. Atuchin V.V., Liang Fei, Grazhdannikov S., Isaenko L.I., Krinitsin P.G., Molokeev M.S., Prosvirin I.P. Xingxing Jiang and Zheshuai Lin Negative thermal expansion and electronic structure variation of chalcopyrite type $LiGaTe_2$. RSC Adv. 2018. vol. 8. P. 9946–9955. DOI: 10.1039/C8RA01079J.

5. Li Y., Fan W., Sun H., Cheng X., Li P. First-principles study of the electronic, optical, and lattice dynamics properties of $LiInSe_2$ polymorph. J. Appl. Phys. 2009. vol. 106. P. 033704.

6. Marezio M., Remeika J P. Polymorphism of $LiMO_2$ Compounds and High-Pressure Single-Crystal Synthesis of $LiBO_2$, J. Chem. Phys. 1966. vol. 44. no. 91. P. 3348–3353.

7. Tianhui Ma, Liang Sun, Chao Xu, Yufeng Chen First-principles study of lattice dynamics and thermodynamic properties of $LiInX_2$ (X = S, Se, Te). Journal of Alloys and Compounds. 2011. vol. 509. P. 9733–9741. DOI: 10.1016/j.jallcom.2011.08.006.

8. Isaenko L.I., Yelisseyev A.P. Recent studies of nonlinear chalcogenide crystals for the mid-IR. Semiconductor Science and Technology, 2016. Vol. 31. № 12. DOI: 10.1088/0268-1242/31/12/123001.

9. Tupitsyn E., Bhattacharya P., Rowe E., Matei L., Cui Y., Buliga V., Groza M., Wiggins B., Burger A., Stowe A. Lithium containing chalcogenide single crystals for neutron detection. J. Cryst. Growth. 2014. vol. 393. no. 1. P. 23–27. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2013.10.054.

10. Drebushchak V.A., Isaenko L.I., Lobanov S.I., Krinitsin P.G., Grazhdannikov S.A. Experimental heat capacity of $LiInS_2$, $LiInSe_2$, $LiGaS_2$, $LiGaSe_2$, and $LiGaTe_2$ from 180 to 460 K. J. Therm. Anal. Calorim. 2017. vol. 129. no. 1. P. 103–108.

11. Dovesi R., Orlando R., Erba A., Zicovich-Wilson C.M., Civalleri B., Casassa S., Maschio L., Ferrabone M., De La Pierre M., D'Arco P., Noel Y., Causa M., Rerat M., Kirtman B. CRYSTAL14: A program for the ab initio investigation of crystalline solids. Int. J. Quantum Chem. 2014. vol. 114. no. 19. P. 1287–1326. DOI: 10.1002/qua.24658.

12. Jaffe J.E., Zunger A. Theory of the band-gap anomaly in ABC_2 chalcopyrite semiconductors. Phys. Rev. B. 1984. vol. 29. no. 4. P. 1882–1906. DOI: 10.1103/PhysRevB.29.1882.

13. Басалаев Ю.М., Гордиенко А.Б., Филиппов С.И. Электронная структура кристалла $CuBS_2$ // Физика твердого тела. 2012. Т. 54. № 9. С. 1655–1658.

Basalaev Y.M., Gordienko A.B., Filippov S.I. Electronic structure of the $CuBS_2$ crystal // Physics of the Solid State. 2012. T. 54. № 9. C. 1764–1767. DOI: 10.1134/S1063783412090041.

14. Yousef El-S., El-Adawy A., El-KheshKhany N. Effect of rare earth (Pr_2O_3, Nd_2O_3, Sm_2O_3, Eu_2O_3, Gd_2O_3 and Er_2O_3) on the acoustic properties of glass belonging to bismuth-borate system. Sol. St. Com. 2006. vol. 139. no. 3. P.108–113. DOI: 10.1016/j.ssc.2006.05.022.

15. Беломестных В.Н., Теслева Е.П. Взаимосвязь ангармонизма и поперечной деформации квазиизотропных поликристаллических тел // Журнал технической физики. 2004. Т. 74. № 8. Р. 140–142.

Belomestnykh V.N., Tesleva E.P. Interrelation between anharmonicity and lateral strain in quasi-isotropic polycrystalline solids // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. 2004. Т. 49. № 8. С. 1098–1100. DOI: 10.1134/1.1787677.

УДК 543:665.3

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

Выскубова Е.Н., Баранова Е.И., Бажина Т.П.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: zina_27@bk.ru

Целью настоящей работы было определение ряда кинетических и равновесных характеристик и параметров комплексного процесса массопереноса высших жирных кислот в системах «масло – водно-спиртовые растворы», с реагентами и электролитами различной природы для оптимизации условий косвенного потенциометрического определения кислотного числа растительных масел. На основе предложенных теоретических моделей, описывающих эмульсионную систему «масло (органические кислоты) – водный этанол – реагенты и электролиты (различной химической природы)», дана подробная кинетическая характеристика процесса экстракции и окислительно-восстановительной реакции. Установлены физико-химические закономерности массопереноса жирных кислот из неполярной фазы в полярную на основании автоматической регистрации кинетических кривых «pH – время (t)» (стеклянный электрод) и «потенциал – время». Для различных экспериментальных условий найдены потенциометрические кинетические и равновесные параметры суммарного процесса и отдельных стадий на основе температурной зависимости. Предложены условия, обеспечивающие полноту прохождения окислительно-восстановительной реакции в иодат-иодидной системе с предшествующей стадией экстракции слабых органических кислот в водно-этанольном растворе. Получены научно значимые результаты для таких разделов аналитической химии, как теория окислительно-восстановительных аналитических реакций, косвенные методы анализа в редокс-потенциометрии, автоматические приборные комплексы. Научная ценность рассматриваемых результатов состоит также в расширении возможностей потенциометрического метода для изучения кинетики сложных, многостадийных химических процессов в неводных средах. Возможно непосредственное применение результатов в технохимическом контроле многих пищевых производств, исследовательской деятельности научно-технических организаций и в учебных курсах соответствующих профильных кафедр.

Ключевые слова: растительное масло, жирные кислоты, водный этанол, массоперенос, потенциометрический контроль, кислотное число

OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR ELECTROMETRIC CONTROL OF PROCESSING PRODUCTS OF NATURAL RAW MATERIALS

Vyskubova E.N., Baranova E.I., Bazhina T.P.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: zina_27@bk.ru

The purpose of this work was to determine a number of kinetic and equilibrium characteristics and parameters of the complex process of mass transfer of higher fatty acids in systems «oil – water – alcohol solutions with reagents and electrolytes of various nature to optimize the conditions of indirect potentiometric determination of the acid number of vegetable oils. On the basis of the proposed theoretical models describing the emulsion system «oil (organic acids) – aqueous ethanol – reagents and electrolytes (of different chemical nature)», a detailed kinetic characteristic of the extraction process and the redox reaction is given. The physicochemical regularities of the mass transfer of fatty acids from the non-polar phase to the polar one are established on the basis of the automatic registration of the kinetic curves «pH – time (t)» (glass electrode) and «potential – time». For various experimental conditions, potentiometric kinetic and equilibrium parameters of the total process and individual stages were found on the basis of the temperature dependence. The conditions that ensure the completeness of the redox reaction in the iodate – iodide system with the preceding stage of extraction of weak organic acids in aqueous – ethanol solution are proposed. Received scientifically significant results for such sections of analytical chemistry as the theory of redox analytical reactions, indirect methods of analysis in redox potentiometry, automatic instrument complexes. The scientific value of the results under consideration also consists in expanding the capabilities of the potentiometric method for studying the kinetics of complex, multistage chemical processes in non-aqueous media. It is possible to directly apply the results in the techno-chemical control of many food industries, the research activities of scientific and technical organizations, and in training courses of the relevant specialized departments.

Keywords: vegetable oil, fatty acids, water ethanol, mass transfer, electrometric control, acid number

Разработку и развитие теоретических и прикладных основ инструментальных методов контроля качества пищевых продуктов, включая определение кислотных и пероксидных чисел растительных масел и жиров, следует отнести к актуальным направлениям аналитической химии сегодняшнего дня. Именно к последней проблеме проявляется большой интерес со стороны исследовательских и контрольно-аналитических лабораторий многих стран мира, благодаря той важной биолого-медицинской, потребительской и даже социальной роли, которую играют растительные жиры в жизни современного человека [1, с. 332–336]. Вместе с тем в этой научно-технической области, прежде всего аналитического и технохимического контроля, еще остается много нерешенных вопросов, связанных с развитием теоретических

и методологической базы аналитического контроля, а также методов и средств измерений показателей качества таких трудных для анализа объектов, как растительные масла. В частности, необходимость применения неводных или смешанных водно-органических растворителей делает проблематичным долговременное использование стеклянного электрода с Н-функцией в косвенных pH-метрических методах определения кислотного числа растительных жиров [2, с. 42–44]. В основу развития данной проблематики положена и другая аналитическая реакция (окислительно-восстановительное взаимодействие в иодад-иодидной системе с переносом протона), и другой способ измерения аналитического сигнала (редокс-потенциометрия в эмульсионных водно-спиртовых растворах) без применения трудоемкого титрования.

Целью настоящей работы было определение ряда кинетических и равновесных характеристик и параметров комплексного процесса массопереноса высших жирных кислот в системах «масло – водно-спиртовые растворы» с реагентами и электролитами различной природы (хлорид натрия, иодид калия, $KI + KIO_3$, гексаметилентетрамин, ацетат натрия) для оптимизации условий косвенного потенциометрического определения кислотного числа растительных масел.

Материалы и методы исследования

Для повышения качества и надежности pH- и редокс-потенциометрических измерений собственно аналитического сигнала и производных от него параметров, определяющих физико-химические (кинетические и термодинамические) характеристики соответствующих гетерогенных и гомогенных реакций использовались современные информационные технологии [3, с. 92–93]. Особенно важным представляется автоматическая регистрация на основе созданного программно-технического комплекса «иономер – ЭВМ» таких кинетических зависимостей, как «pH – время» и «потенциал – время» с начальным шагом в одну секунду. Предлагаемый аппаратный комплекс состоит из потенциометрической ячейки, устройства сопряжения и персонального компьютера с соответственным программным обеспечением. Все измерения проводились с использованием иономера И-130, блока индикаторных платинового ЭПВ-1 и стеклянного ЭСЛ-43-07 электродов и хлорид серебряного электрода сравнения ЭВП 1 М3.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обоснования оптимальных условий косвенного редокс-потенциометрического анализа в автоматическом режиме регистрировались кинетические потенциометрические зависимости «потенциал (E) – время (t)» (реакция по продукту) и «pH – время (t)» (реакция по исходному реагенту). На основании этих зависимостей оценивались эффективные значения начальной потенциометрической скорости:

$$V_0(E) = (1/S)(dE/dt)_{t=0}, \quad (1)$$

$$V_0(H) = (dpH/dt)_{t=0} \quad (2)$$

в растворе 60 %-ного этанола, содержащем, 0,2 моль/л иодида калия и 0,01 моль/л иодата калия. Некоторые значения этих величин представлены в табл. 1. В качестве равновесной характеристики использовались значения разностного потенциометрического сигнала [4, с. 1110]:

$$\Delta pH_r = pH_r - pH_0, \quad (3)$$

$$\Delta E_r = E_r - E_0. \quad (4)$$

Таблица 1

Эффективные значения начальных скоростей $V_0^E = (1/S)(dE/dt)_{t=0}$ и $V_0^H = (dpH/dt)_{t=0}$ в растворе 60 %-ного этанола, содержащем 0,2 М иодид калия и 0,01 иодат калия

Масло	X, мг KOH	m, г	t, °C	pH_0	V_0 (E), c^{-1}	$V_0(H)$, $c^{-1}\,10^{-3}$	$V_0(H)_{эк}$, $c^{-1}\,10^{-3}$
Оливковое	0,33	0,23	30	6,87	$4{,}69\,10^{-3}$	–	–
Кукурузное	0,55	0,20	30	6,83	$6{,}25\,10^{-3}$	6,5	6
Подсолнечное рафинированное	0,70	0,20	30	6,55	$7{,}50\,10^{-3}$	10	50
Сливовое	0,88	0,18	30	6,60	$8{,}94\,10^{-3}$	6,8	6
Подсолнечное	3,10	0,47	30	5,81	$3{,}44\,10^{-2}$	150	210
Соевое	3,65	0,22	40	5,98	$1{,}6\,10^{-2}$	30	50
Подсолнечное	7,60	0,19	55	5,75	$3{,}12\,10^{-2}$	94	80
Рапсовое	8,20	0,20	55	5,66	$8{,}28\,10^{-2}$	110	77

Измеряемый потенциометрический аналитический сигнал в системе «масло (высшие жирные кислоты R_iCOOH) – водно-спиртовой раствор реагента ($IO_3^- + I^-$)» определяется комплексной реакционной схемой [5, с.75]:

$$\begin{array}{ccccc} (R_jCOOH)_{0il} & & & & (I_2)_{0il} \\ I\uparrow\downarrow & II & & & (IO_3^- + I^-)_{sln} \quad IV\uparrow\downarrow \\ & & & & I^- \end{array}$$

$$(R_jCOOH)_{sln} \rightarrow (R_jCOO^-)_{sln} + H_{sln}^- \rightarrow I_{2,s} \rightarrow (I_3^-)_{sln}, \quad (5)$$

III

где стадия I отвечает экстракции свободных жирных кислот из неполярной фазы (масло – индекс «oil») в полярную фазу (водный этанол – индекс «sln»); стадия II – равновесие протонизации – дипротонизации органических карбоновых кислот в указанном водно-спиртовом растворе, стадия III – суммарная окислительно-восстановительная реакция с участием ионов IO_3^-, I^- и H^+. Ионы H^+_{sln} в растворе выступают, особенно при избытке KIO_3 и KI, как скорость-определяющий реагент. Схема позволяет изучить равновесные и кинетические характеристики путем раздельного введения компонентов (экстракция в иодиде калия) и реакция после добавки иодата калия. В отличие от растительных пищевых масел, при смешении доз эфирных масел и водно-спиртового раствора указанного реагента, образовывалась микроэмульсионная система без видимого разделения полярной и неполярной фаз.

Для сравнения с редокс-схемой (5) приведена также схема кислотно-основного химического взаимодействия, включающая наряду с экстракцией стадию взаимодействия жирных кислот с реагентом – слабым основанием взятом в избытке [5, с. 79]:

$$\begin{array}{ccccc} (R_iCOOH)_{0il} & & R_{0il} & & RH_{0il} \\ I\uparrow\downarrow & & III\uparrow\downarrow & II & IV\uparrow\downarrow \end{array}$$

$$(R_iCOOH)_s + R_s(R^-)_s \rightarrow (R_iCOO^-)_s + (RH)_sRH^+_s. \quad (6)$$

Для приведенной схемы 1 из кинетических зависимостей pH – t получены опытные значения $V_0(H)$ с кислотно-основным реагентом (0,2М уротропин + 0,2М хлористый натрий; $pH_0 = 8,9$), которые в первом приближении согласуются с кинетическим уравнением

$$V_0(H)_{ex} = k'_{ef} \cdot C_k^0 \ (pH_0 = const), \quad (7)$$

где k'_{ef} – эффективная константа скорости; C_k – общая концентрация кислоты, в том числе суммы органических кислот из растительных масел исходной иодат-иодидной смеси.

В гомогенных модельных системах состава ≈ 60% этанол + 0,2М иодид калия + (6×10^{-3} – 1×10^{-2}М) иодат калия + жирные (уксусная, олеиновая) кислоты из наклона линейных зависимостей $\lg V_0$ (по изменению pH) и $\lg V_0$ (по изменению потенциала) – pH_0, $\lg V_0$ (по изменению pH) и $\lg V_0$ (по изменению потенциала) – $\lg C_K$ был найден общий порядок сложной окислительно-восстановительной реакции по ионам водорода, участвующим в иодат-иодидном взаимодействии, а также формальный порядок по общему содержанию жирных кислот (C_K). При исследовании масел вместо C_K в уравнения можно подставить величины навески m, кислотного числа X или (mX).

Между найденными кинетическими параметрами и содержанием жирных кислот в образцах масел имеют место соотношения

$$\lg V_0(H) \cong const^I - pH_0', \quad (8)$$

$$\lg V_0(H) \cong const^{II} + \lg(mX), \quad (9)$$

$$\lg V_0(E) \cong const^{III} + 0,7 \lg(mX), \quad (10)$$

$$\lg V_0(E) \cong const^{IV} - pH_0', \quad (11)$$

$$\lg V_0(H)_{ex} \cong const^V + \lg(mX). \quad (12)$$

Такая же зависимость была получена для масел с различными кислотными числами или для данного кислотного числа от количества масла (табл. 2).

С учетом известных из литературы математических моделей потенциометрической кинетики выражения (8), (10) формально указывают на возможный второй порядок процесса по ионам водорода при значительном избытке других реактантов (IO_3^-, I^-, R). Хотя из выражения (9) формально следует более высокий порядок по ионам H^+, если только в данной среде не образуется буфер

(жирная кислота и ее соль). В то же время из соотношения (11) вытекает первый порядок измеряемой скорости реакции по ионом H^+. Это кажущееся противоречие обусловлено тем, что на параметр начальной скорости по изменению потенциала по сравнению с начальной скоростью по изменению pH большее влияние по-видимому, оказывает возможное торможение на промежуточной стадии образования ионной пары йодноватой кислоты. Аналогичные кинетические характеристики были получены и в случае добавок в иодат-иодидный этанольный раствор доз исследуемых эфирных масел. На основе кинетического уравнения (8) определены приближенные значения приведенной эффективной константы скорости.

В качестве примера в табл. 3 приведены кинетические и равновесные найденные параметры $V_0(H)_{ex}$ и $\Delta pH_r (\Delta E_r/S)$, в различных по составу растворах для образца подсолнечного масла с кислотным числом около 3 мг КОН/г. Свод измеряемых на опыте потенциометрических значений Δ pH реакции и Δ E реакции описывается уравнением

$$\lg K_r = A + 6\,(\Delta E_r / S) + 12\,\Delta pH_r, \quad (13)$$

где K_r – смешанно-концентрационная константа равновесия.

Логарифм константы скорости линейно зависит от Δ pH реакции с наклоном, близким к 6, а от Δ E реакции с наклоном, близким к 12 в определенном интервале температур (15–30), что подтверждает уравнение

$$(\lg K_r/6) - (\Delta E_r / S) = 2\,\Delta pH_r. \quad (14)$$

Представлены закономерности по влиянию состава полярной фазы на $V_0\,(H)_{ex}$ (экстракции) в интервале 25–30 °C (NaAc) ≥ (NaCI + уротропин) > (NaCl), (KI + KIO_3) < (KI), (NaCl) < (KI); по влиянию на ΔpH_r: (NaCI + уротропин) > > (NaAc) > (NaCl), (KI + KIO_3) < (KI), (NaCl) << (KI) для 25 °C и (NaAc)< (NaCI + + уротропин) < (NaCl), (KI + KIO_3) < (KI), (NaCl) << (KI) для 35 °C. Общую суммарную реакцию можно описать уравнением

$$V_0\,(E)_{ex} = k'''_{ef} \cdot C_k^{\,0}. \quad (15)$$

Вместе с тем однозначно оценить начальную скорость редокс-потенциометрического экстракционного процесса стадия III схема (6) (комплексный реагент KI + KIO_3) особенно для масел с низким кислотным числом достаточно трудно, так как на этот параметр, кроме кислотного числа, заметно влияет природа (консистенция) растительного масла [6, с. 173–176].

Таблица 2

Влияние кислотного числа и природы масла на параметр V_0 (e); 20 °C

Масло	Кислотное число, мг КОН/ г масла	$V_0(E)$
Оливковое	0,33	10^{-4}
Кукурузное	0,55	$3\cdot10^{-3}$
Подсолнечное (рафинированное)	0,70	$9\cdot10^{-3}$
Сливовое	0,88	$5\cdot10^{-3}$
Подсолнечное	3,10	$(0,3 – 3)\cdot10^{-2}$
Рапсовое	8,20	$(2\text{-}3)\cdot10^{-2}$

Таблица 3

Влияние состава раствора (содержание этанола, реагента и/или электролита) на равновесие процесса ΔpH_r (ΔE_r) и начальную скорость экстракции $V_0\,(H)_{ex}$ жирных кислот из подсолнечного масла с кислотным числом 3,10 мг КОН/г m_{oil} = 0,5 г

Состав раствора	$V_0\,(H)_{ex}$, $c^{-1}\Delta$		$\Delta pH_r (\Delta E_r/S)$	
	25 °C	30 °C	25 °C	30 °C
96 % этанол; 0,1 M NaAc	0,25	0,26	0,93	0,97
67 % этанол; 0,2 M NaCl	0,10	0,13	0,61	1,59
67 % этанол; 0,2 NaCl; 0,2 M уротропин	0,23	0,25	1,13	1,21
58 % этанол; 0,2 M NaCl	0,16	0,26	0,72	1,55
58 % этанол; 0,2 NaCl; 0,2 M уротропин	0,29	0,51	1,08	1,32
58 % этанол; 0,2 M KI	0,48	0,70	1,72	1,81
58 % этанол; 0,2 M KI + 0,01M KIO_3	0,34	0,58	0,66 (1,12)	0,69

В соответствии с линейными зависимостями ΔpH_r (ΔE_r) – T^{-1}, lg V_0 (H) – (T^{-1}) и lg V_0 (E) – (T^{-1}) найдены значения кажущейся теплоты реакции и значения эффективной теплоты активации, как отдельных стадий, так и суммарного процесса. Стадия собственно экстракции жирных кислот из масла в полярную фазу является эндотермической реакцией, тогда как объемная окислительно-восстановительная реакция $I^- + IO_3^- + H^+$ (R_j COOH) является экзотермической. Кажущаяся теплота стадии экстракции в 58 % этаноле возрастает в ряду реагентов (электролитов) (KI + KIO_3) < (NaCI + уротропин) ≅ (NaAc) ≅ (NaCI) < (KI), а эффективная теплота активации экстракции, следовательно, в ряду(NaAc) < (KI) < (NaCI) < (NaCI + + уротропин) < (KI + KIO_3).

Изменения теплоты активации в зависимости от химической природы реагента и состава испытуемого раствора происходят несимбатно соответствующим значениям теплоты процесса экстракции. Определение физико-химических параметров сложного экстракционного процесса, представленного на схеме (6), позволило оптимизировать условия редокс-потенциометрического определения кислотного числа. Результаты косвенных потенциометрических определений кислотного числа растительных масел с различными по природе реагентами удовлетворительно согласующиеся с отраслевыми нормативами погрешности и сходимости, свидетельствуют о практически полной экстракции высших жирных кислот из масла в водно-спиртовые растворы за 0,5–3 мин (в зависимости от величины дозы масла и кислотного числа).

Заключение

Получены научно значимые результаты для таких разделов аналитической химии, как теория окислительно-восстановительных аналитических реакций, косвенные методы анализа в редокс-потенциометрии, автоматические приборные комплексы. Научная ценность рассматриваемых результатов состоит также в расширении возможностей потенциометрического метода для изучения кинетики сложных, многостадийных химических процессов в неводных средах. Возможно непосредственное применение результатов в технохимическом контроле многих пищевых производств, исследовательской деятельности научно-технических организаций и в учебных курсах соответствующих профильных кафедр.

Список литературы

1. Owolarafe O.K., Osunleke A.S., Odejobi O.A., Ajadi S.O., Faborode M.O. Mathematical modelling and simulation of the hydraulic expression of oil from oil palm fruit. Biosystems Engineering. 2008. Vol. 101. № 3. P. 331–340. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.08.007.

2. Пилипенко Т.В., Нилова Л.П., Пилипенко Н.И. Возможность использования электрофизических методов для идентификации и контроля качества растительных масел // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. № 2. С. 41–49.

Pilipenko T.V., Nilova L.P., Pilipenko N.I. Possible use of electrophysical methods for identification and control of vegetable oils quality // Bulletin of South Ural State University Series «Food and Biotechnology». 2014. Vol. 2. № 2. P. 41–49 (in Russian).

3. Пилипенко Т.В., Астафьева В.В., Степанов Н.Ю. Изучение качественных характеристик растительных масел различными методами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 90–97.

Pilipenko T.V., Astafyeva V.V., Stepanov N.Yu. Study of quality descriptions of vegetable oils by different methods // News of the St. Petersburg state agricultural university. 2015. № 39. P. 90–97 (in Russian).

4. Турьян Я.И. Косвенный редокс-потенциометрический метод определения антиоксидантного числа с применением модифицированных расчетных уравнений // Электрохимия. 2013. Т.49. № 10. С. 1110–1111. DOI: 10.7868/S0424857013100150.

Turyan I.I. Indirect redox-potentiometric method for determining the antioxidant number using modified calculation equations // Electrochemistry. 2013. T.49. № 10. P. 1110–1111 (in Russian).

5. Выскубова Е.Н. Электрохимические методы определения кислотного числа растительных пищевых и эфирных масел на основе иодат – иодидной окислительно-восстановительной системы: дис. … канд. хим. наук. Краснодар, 2000. 178 с.

Vyskubova E.N. Electrochemical methods of definition of acid number of vegetable edible and essential oils on a basis iodate – iodidny okislitelno-recovery system: yew. … Cand.Chem. Sci. Krasnodar, 2000. 178 p. (in Russian).

6. Турьян Я.И. Теория косвенного потенциометрического определения кислотного числа с применением однокомпонентного реагента без титрования // Электрохимия. 2015. Т. 51. № 2. С. 171–177. DOI: 10.7868/S0424857015020164.

Turyan I.I. Theory of indirect potentiometric determination of the acid number using a one-component reagent without titration // Electrochemistry. 2015. V. 51. № 2. P. 171–177 (in Russian).

УДК 66.096.2:582.29

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ХИТИН-СОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТАЛЛОМОВ ЛИШАЙНИКОВ МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

[1]Жильцов Д.В., [1]Бровко О.С., [1,2]Ивахнов А.Д., [1,2]Боголицын К.Г., [1]Бойцова Т.А., [1]Паламарчук И.А.

[1]Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: dnorton.usa@gmail.com;

[2]Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск

Проведены исследования по выделению хитин-содержащего комплекса из талломов лишайников родов *Peltigera* и *Cladonia* методом сверхкритической флюидной экстракции диоксидом углерода и влиянию условий экстракции (продолжительность, температура и давление) на сорбционную способность полученных комплексов по отношению к ионам ртути. Выявлена зависимость сорбционной емкости хитин-содержащего комплекса от продолжительности экстракции, при этом давление и температура не оказывают на нее значительного влияния. Показана высокая сорбционная емкость по отношению к ионам ртути и красителю метиленовому голубому и конго красному (123,6; 67,6 и 18,0 мг/г для хитин-содержащего комплекса, выделенного из таллома лишайника рода *Cladonia*; 136,5; 172,4 и 46, 0 мг/г для хитин-содержащего комплекса из лишайника рода *Peltigera* соответственно) при оптимальных условиях выделения сорбента (продолжительность экстракции 20 минут, температура 40 °С, давление 100 атм), что свидетельствует о перспективности применения хитин-содержащих комплексов из лишайников в качестве сорбентов тяжелых металлов и органических красителей. Методом ИК-спектроскопии выполнена идентификация кубового остатка после экстракции, которая показала схожесть хитин-содержащего комплекса лишайников с хитином рачка гаммаруса. Сравнение хитин-содержащего комплекса таллома лишайников рода *Peltigera* и *Cladonia* с другими сорбентами природного и полусинтетического происхождения установило высокие показатели по удельной площади поверхности первого относительно адсорбентов природного происхождения, но уступает по этому показателю полусинтетическим угольным сорбентам. Главное преимущество хитин-содержащего комплекса перед угольными сорбентами заключается в наличии групп кислотного и основного характера. Полиамфолитная природа получаемых хитин-содержащих комплексов из талломов лишайников позволяет использовать их в качестве сорбентов широкого профиля.

Ключевые слова: лишайники, сверхкритическая флюидная экстракция, сорбционные свойства, хитин-содержащий комплекс

SORPTION PROPERTIES OF CHITIN-CONTAINING COMPLEXES ISOLATED FROM THE LICHEN THALLI BY THE SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION METHOD

[1]Zhiltsov D.V., [1]Brovko O.S., [1,2]Ivakhnov A.D., [1,2]Bogolitsyn K.G., [1]Boytsova T.A., [1]Palamarchuk I.A.

[1]N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, e-mail: dnorton.usa@gmail.com;

[2]Northern (Arctic) Federal University named after Lomonosov, Arkhangelsk

We obtained the chitin-containing complex from the genus *Peltigera* and *Cladonia* lichens' thalli by using method of supercritical fluid extraction with carbon dioxide. We studied the effect of extraction conditions (i.e., extraction duration, temperature and pressure) on the obtained complexes' sorption capacity for mercury ions. The dependence of the chitin-containing complex sorption capacity on the extraction duration was discovered, while the pressure and temperature were revealed to not affect it significantly. High sorption capacity for mercury ions and methylene blue dye and congo red (123,6; 67,6 and 18,0 mg/g for the chitin-containing complex isolated from the *Cladonia* lichen thallus; 136,5; 172,4 and 46,0 mg/g for the chitin-containing complex isolated from *Peltigera* lichen thallus, respectively) was demonstrated under optimal sorbent release (duration of extraction – 20 minutes, temperature – 40 °C, pressure – 100 atm). These findings indicate the use of chitin-containing complexes obtained from lichens as sorbents for heavy metals and organic dyes being promising. The IR-spectroscopy was used to identify the vat residue after extraction and has shown the similarity between lichens' chitin-containing complex and crustacean Gammarus chitin. *Peltigera* and *Cladonia* chitin-containing thallus has high specific surface area in comparison with sorbents of natural origin but is inferior on this indicator when compared with semi-synthetic coal sorbents. The main advantage of the chitin-containing complex over coal sorbents is the presence of acidic and basic groups. The polyampholytic nature of chitin-containing complexes obtained from lichen thalli allows them to be used as broad profile sorbents.

Keywords: lichens, supercritical fluid extraction, sorption properties, chitin-containing complex

Лишайник – уникальный организм, сочетающий в себе два компонента: гриб (микобионт) и одноклеточную зелёную водоросль и/или цианобактерию (фикобионт), которые симбиотически зависят друг от друга. Присутствие фотосинтезирующего компонента превращает грибной гетеротрофный организм в автотрофную ассоци-

ацию, для существования которой необходимы лишь вода, воздух, минеральные соли и субстрат для прикрепления.

Физиология гриба и водоросли в талломе лишайника отличается от физиологии свободноживущих компонентов. Грибной мицелий служит для водоросли защитной оболочкой, предохраняющей ее от высыхания и позволяющей ей беспрепятственно получать необходимые для фотосинтеза воду и углекислый газ. Сам гриб, не способный синтезировать органические вещества, питается продуктами ассимиляции водоросли [1].

Компонентный состав лишайников весьма разнообразен и характеризуется наличием хитина, прочно связанного с глюканом, белковыми веществами, моносахарами (так называемый хитин-содержащий комплекс – ХСК), и специфическими лишайниковыми веществами, синтезируемыми водорослями. Показано, что ХСК проявляет себя как комплексообразователь – биодетоксикант, способный прочно связывать и легко транспортировать через мембраны экзогенные и эндогенные токсины, в том числе катионы тяжёлых металлов, радионуклиды, токсичные альдегиды и кетоны, канцерогены, шлаки. Эти свойства связаны в первую очередь с развитой поверхностью и доступностью функциональных групп ХСК (карбоксильных -COOH и OH-групп кислотного характера и ацетамидной группы -$NHCOCH_3$, NH_2-группы основного характера).

ХСК из лишайников традиционно выделяют методами кислотно-щелочного гидролиза [2], при этом извлечение комплекса проходит в жёстких условиях и часть ХСК гидролизуется из-за разрыва связей между хитином и связанными с ним компонентами. Для извлечения лишайниковых кислот из талломов лишайников применяют методы экстракции органическими растворителями, а также метод сверхкритической флюидной экстракции (СКФЭ) диоксидом углерода [3, 4], при этом ХСК остается в кубовом остатке. Метод СКФЭ, основанный на принципах «зеленой химии», позволяет извлекать ХСК из слоевищ лишайников в малоизмененном виде, не разрушая ковалентные связи и сохраняя нативную структуру комплекса. Исследования биополимеров клеточной стенки грибов, в основном хитина [2], легли в основу разработки новой отрасли биотехнологии – получение этого аминополисахарида не из панцирей ракообразных, а на основе клеточных стенок мицелиальных грибов. Поскольку в талломах лишайников клеточная стенка грибного компонента составляет основную долю (90–98 %) клеточной стенки таллома, выделение ХСК из слоевищ лишайников и исследование их сорбционных свойств является актуальным.

Целью исследования явилось изучение влияния условий сверхкритической флюидной экстракции хитин-содержащего комплекса из талломов лишайников на его сорбционные свойства.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были выбраны наиболее распространенные в биотопах Северо-западного региона России лишайники *Peltigera* и *Cladonia*, отобранные в ходе экспедиции на о. Русский Кузов в акватории Белого моря. Эти лишайники характерны для данного региона и являются доминирующими видами и участвуют в формировании мохово-лишайникового покрова лесных сообществ.

Для выделения из них ХСК образцы подвергались СКФЭ с помощью системы MV-10ASFE (Waters, USA). Навеску образца (~2 г) помещали в автоклав объемом 10 мл и обрабатывали CO_2 при скорости потока 93,6 мг/мин в течение заданного времени (20–60 минут). В ходе эксперимента варьировали температуру (40–80 °C) и давление (100–350 атм). Выход кубового остатка (ХСК) определяли высушиванием при 50 °C до постоянной массы.

Идентификацию ХСК (таблетки в KBr) проводили методом ИК-спектроскопии, спектры регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IRAffinity-1 («Shimadzu», Япония) в диапазоне частот 400–4000 $см^{-1}$, число сканирований 50, разрешение 4 $см^{-1}$.

В табл. 1 представлены характеристические полосы поглощения хитина животного происхождения (рачок гаммарус) и хитин-содержащего комплекса растительного происхождения, выделенного из талломов лишайников родов *Peltigera* и *Cladonia.*

Область 1700–800 $см^{-1}$ (рис. 1, спектр 1, 2), называемая «отпечатками пальцев», имеет все пики, характерные для мономера хитина, а именно: 1655 $см^{-1}$– N-H-связь (1637; 1645), 1554 $см^{-1}$– C=O связь (1560; 1566), в области 900–1100 $см^{-1}$ два пика поглощения, которые соответствуют эфирным связям в кольце и β-глюкозидной связи, соединяющей пиранозные кольца. Кроме того, присутствуют слабые полосы поглощения при 890–880 и 800–790 $см^{-1}$, ответственные за деформационные колебания группы C–H и пульсационные колебания пиранозного кольца в β-сахарах. В целом

ИК-спектроскопическое исследование образцов ХСК, полученных из лишайников родов *Peltigera* и *Cladonia,* показало схожесть их химической структуры с хитином рачка гаммаруса (табл. 1, рис. 1).

Применение диоксида углерода в сверхкритическом состоянии позволяет полностью и в щадящем режиме отделять ХСК от экстракта в противовес классическим методам, при этом выход ХСК достигает 96%. Методом сканирующей электронной микроскопии были охарактеризованы морфологические особенности ХСК, выделенного методом СКФЭ (рис. 2). На микрофотографии ХСК отчетливо видны элементы клеточной стенки лишайников.

Таблица 1

ИК-спектры хитина и ХСК, выделенных из талломов лишайников

Тип колебаний	Характеристические полосы поглощения, $см^{-1}$		
	Хитин рачка гаммаруса [5]	*Peltigera*	*Cladonia*
$-NH_2$	3447	3404	3400 сл*
OH…O (связ.)	3300	3387	3381
NH (связ.)	3041	2922	2910
NH (деформ.)	1583	1560	1566
Протонированные аминогруппы NH_3^+	1622	1629	1635
CH_2-, CH_3-	1433	1430 сл*	1429 сл*
C-O-H	1419	1425	1417
O-H (деформ.)	1373	1377	1373
O-H	1320	1319	1317
-C=O	1258	1265	1260
C-N (вал.)	1247	1207	1219
C–O	1153	1168 сл*	1168 сл*
C–O–C	1066	1072	1072
C_1-H (деформ.) в β-сахарах	893	889	891

Примечание. * – слабовыраженные полосы.

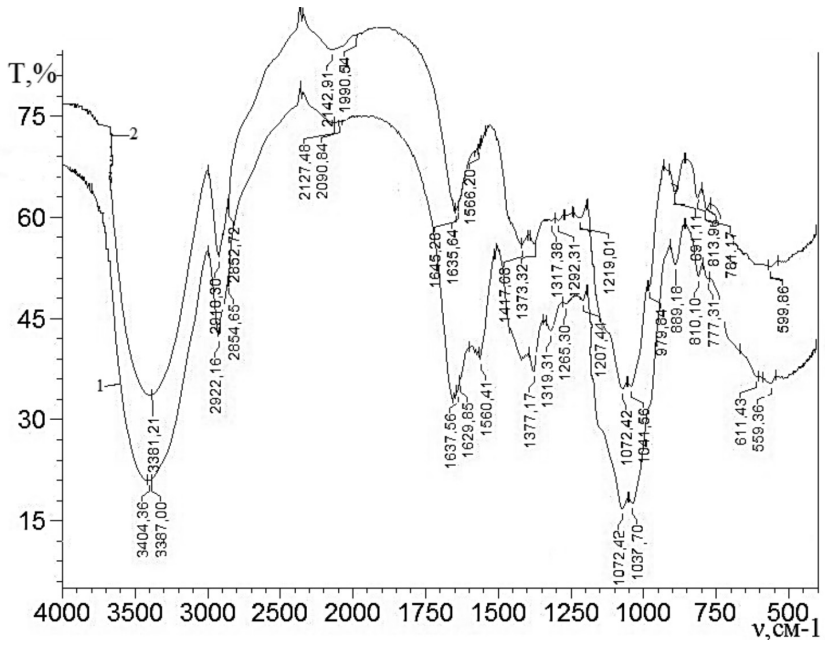
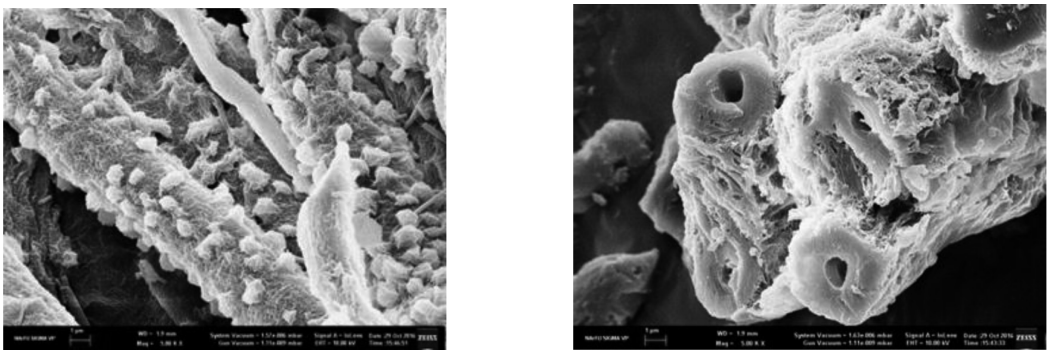


Рис. 1. ИК-спектры ХСК, выделенных из лишайников родов: 1 – Peltigera, 2 – Cladonia



а) *б)*

Рис. 2. Электронные микрофотографии: а) ХСК, выделенный из лишайника Cladonia, б) ХСК, выделенный из лишайника Peltigera

Определение остаточного содержания метиленового голубого (МГ) и конго красного (КК) после их адсорбции на ХСК проводили колориметрическим методом на спектрофотометре UV-1800 Shimadzu (Япония), а катионов ртути – методом комплексонометрического титрования с роданидом калия [6]. Адсорбционную емкость ХСК (СЕ, сорбционная емкость, мг/г) находили по формуле

$$CE = \frac{(C - C_{\text{равн.}}) \cdot V}{m},$$

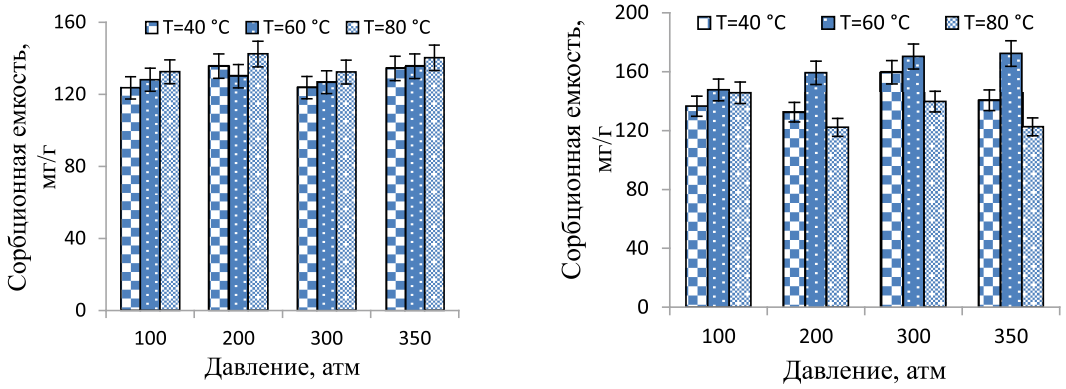
где C – концентрация адсорбтива в исходном растворе, мг/л;
$C_{\text{равн.}}$. – равновесная концентрация адсорбтива в растворе, мг/л;
V – объем раствора адсорбтива, взятого для контактирования с ХСК, л;
m – масса ХСК, г.

Результаты исследования и их обсуждение

Увеличение продолжительности СКФЭ с 10 до 20 мин (350 атм и 80 °С) влияет на сорбционную способность ХСК, что приводит к возрастанию СЕ комплекса на 11,4%. Дальнейшее увеличение продолжительности экстракции до 30, 40 и 60 мин не приводит к изменению сорбционных свойств ХСК (сорбционная емкость 136–138,2 мг/г). Таким образом, для дальнейших экспериментов, в которых варьировались температура и давление СКФЭ, продолжительность процесса составляла 20 мин. Показано (рис. 3), что сорбционная емкость ХСК существенно не зависит от температуры и давления СКФЭ, сорбент с хорошими сорбционными характеристиками с экономической точки зрения целесообразно получать при температуре 40 °С и давлении 100 атм.

Установлено, что ХСК, выделенный из лишайников рода *Peltigera*, обладает более высокими сорбционными характеристиками в сравнении с выделенным из лишайника рода *Cladonia,* что, вероятно, обусловлено присутствием в его составе пигмента меланина, однако в ИК-спектре ХСК не обнаружены полосы поглощения основных групп пигмента (-COOH, -OH, N-H в гетероцикле) в области спектра от 400 до 4000 $см^{-1}$, что, возможно, связано с их перекрыванием полосами поглощения других функциональных групп ХСК.

Проведены исследования по адсорбции красителей на поверхности ХСК, выделенных СКФЭ из талломов лишайников родов *Cladonia* и *Peltigera*. Полученные комплексы проявляют высокую адсорбционную активность по отношению как МГ, так и КК. Положительно заряженный ион МГ адсорбируется на электроотрицательных (кислотного характера) адсорбентах, а КК – на электроположительных адсорбентах. Катионообменные свойства ХСК определяются присутствием двух типов функциональных групп: карбоксильных -COOH прочносвязанных аминокислот, а также OH-групп кислотного характера. Для ХСК, выделенного из таллома лишайника рода *Cladonia*, сорбционная емкость по МГ составила 67,6, а по КК – 18 мг/г. Для лишайника рода *Peltigera* эти показатели выше и составили 172,4 и 46,0 мг/г соответственно. Таким образом, ХСК имеет полиамфолитную природу. Одной из важнейших характеристик сорбента, влияющих на эффективность сорбции, является адсорбционная поверхность. В табл. 2 приведены сравнительные данные удельной поверхности различных сорбентов по отношению к МГ.



а) *б)*

Рис. 3. Влияние давления и температуры экстракции ХСК, выделенных из лишайников родов Cladonia (а) и Peltigera (б) на их сорбционные свойства по отношению к катионам ртути (II) (продолжительность экстракции 20 мин)

Таблица 2

Удельная поверхность ($м^2/г$) сорбентов различной природы (сорбат – МГ)

Литературные данные [7]						Экспериментальные данные	
Акт. углерод. сорбент (УВС – А)	Акт. уголь «Медисорб»	Водорослевая клетчатка		Хитин краба	МКЦ	ХСК, выделенные из лишайников	
		L. digitata	F. vesiculosus			Peltigera	Cladonia
723	160,0	50	21,0	7,23	1,4	310,3	121,0

ХСК, выделенный СКФЭ диоксидом углерода из талломов лишайников родов *Cladonia* и *Peltigera*, имеет достаточно высокую удельную поверхность в сравнении с другими сорбентами природного происхождения, но уступает по этому параметру полусинтетическим угольным сорбентам. Необходимо отметить, что ХСК имеет преимущество перед активированным углем, которое заключается в наличии дополнительных функциональных групп как кислотного, так и основного характера, следовательно, ХСК имеет полиамфолитную природу.

Заключение

Проведенное исследование показывает перспективность использования сверхкритической флюидной экстракции для выделения хитинсодержащих комплексов из талломов лишайников. Экспериментально подобраны условия экстракции ХСК из лишайников диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии. Установлено, что продолжительность экстракции 20 мин, температура 40 °С и давление 100 атм являются оптимальными для выделения ХСК, обладающих высокими сорбционными свойствами относительно ионов ртути и органических красителей МГ и КК.

Работа выполнена в рамках научного проекта УрО РАН «Полифункциональные биологически активные материалы на основе компонентов растительного сырья» АААА-А18-118012390228-9 с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ и ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА РАН).

Список литературы / References

1. Заварзин Г.А. Эволюция прокариотной биосферы: «Микробы в круговороте жизни». 120 лет спустя: Чтение им. С.Н. Виноградского / Под ред. Н.Н. Колотилова. М.: Макс Пресс, 2011. 144 с.

Zavarzin G.A. Evolution of the prokaryotic biosphere: «Microbes in the cycle of life». 120 years later: Reading them. S.N. Vinogradsky / ed. N.N. Kolotilova. M.: Max Press, 2011. 144 p. (in Russian).

2. Ившина Т.Н., Артамонова С.Д., Ившин В.П., Шарнина Ф.Ф. Выделение хитин-глюканового комплекса из плодовых тел шляпочных грибов // Прикладная биохимия и микробиология. 2009. Т. 45. № 3. С. 348–353.

Ivshina T.N., Ivshin V.P., Sharnina F.F., Artamonova S.D. Isolation of the chitin-glucan complex from the fruiting bodies of mycothallus // Applied Biochemistry and Microbiology. 2009. Т. 45. № 3. С. 313–318.

3. Бровко О.С., Ивахнов А.Д., Паламарчук И.А., Бойцова Т.А. Сверхкритическая флюидная экстракция усниновой

кислоты из лишайника рода Cladonia // Сверхкритические флюиды: Теория и практика. 2017. Т. 12. № 1. С. 41–49.

Brovko O.S., Ivakhnov A.D., Palamarchuk I.A., Boytsova T.A. Supercritical fluid extraction of usnic acid from lichen of the genus Cladonia // Supercritical fluids: Theory and Practice. 2017. Vol. 12. № 1. P. 41–49 (in Russian).

4. Бровко О.С., Паламарчук И.А., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г., Вальчук Н.А., Ивахнов А.Д. Сравнительный анализ традиционных и современных методов экстракции усниновой кислоты из лишайникового сырья // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–4. С. 659–663.

Brovko O.S., Palamarchuk I.A., Boitsova, T.A., Bogolitsyn K.G., Valchuk N.A., Ivakhnov A.D. Comparative analysis of traditional and modern methods of extraction of usnic acid from lichen raw materials // Fundamental research. 2015. № 11–4. P. 659–663 (in Russian).

5. Шарнина Ф.Ф. Хитин подмора пчел и хитин-глюкановый комплекс высших грибов, произрастающих в Республике Марий Эл – как возможный источник получения d(+)-глюкозамина гидрохлорида // Вестник Марийского государственного университета. 2012. № 8. С. 32–38.

Sharnina F.F. Chitin podmor bees and chitin-glucan complex of higher fungi growing in the Republic of Mari El – as a possible source of d (+) – glucosamine hydrochloride // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 8. P. 32–38 (in Russian).

6. Пршибил Р. Аналитические применения этилендиаминтетрауксусной кислоты и родственных соединений. М.: Мир, 1975. 534 с.

Prshibil R. Analytical applications of ethylenediaminetetraacetic acid and related compounds. M.: Mir, 1975. 534 p. (in Russian).

Каплицин П.А. Особенности химического компонентного состава, структуры и свойств биомассы арктических бурых водорослей: автореф. канд. хим. наук. Архангельск, 2017. 18 с.

Kaplitsin P.A. Features of the chemical composition, structure and properties of the biomass of arctic brown algae: avtoref. kand. khim. nauk. Arkhangelsk, 2017. 18 p. (in Russian).

УДК 544.421:544.72.02

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И КИНЕТИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ МЕТАНА В МОДЕЛЬНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

[1]Портнягин А.С., [1]Корякина В.В., [1,2]Иванова И.К.

[1]ФГБУН «Институт проблем нефти и газа» СО РАН, Якутск, e-mail: al220282@mail.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: iva-izabella@yandex.ru

В статье приведены результаты исследований процессов образования гидратов метана в модельной пористой среде при синтезе в изотермических условиях в камерах высокого давления. В качестве гидратообразующей среды выступала модельная система, состоящая из слоя донных отложений м. Лаптевых и верхнего слоя из просеянного речного песка, пропитанных дистиллированной водой в количестве 30 мас.%. Данные синтеза гидратов были обработаны согласно уравнению Аврами – Ерофеева – Колмогорова и получены кинетические параметры гидратообразования в исследуемых системах, а именно: параметр n, обуславливающий механизм процесса кристаллизации, и константы скорости процесса гидратообразования. Установлено, что в дистиллированной воде процесс образования гидрата метана протекает в области с высоким вкладом диффузионной составляющей, а во влажном грунте – в высококинетической области со скоростью в 2–2,5 раза более высокой, что свидетельствует об усложнении механизма гидратообразования в пористой среде за счет в том числе развитой удельной поверхности порового пространства. Показано, что формирование плотных, монолитных гидратов метана характеризуется низкими значениями скорости гидратообразования. Также была исследована морфология образующихся гидратов метана в пористой среде. Установлено, что прослеживается корреляция кинетических показателей с формируемой морфологией гидратов метана: при протекании гидратообразования с высокими значениями параметра n формирование гидрата происходит как внутри грунта в виде вкраплений, так и на поверхности модельной системы в виде рыхлых, инейобразных структур. При низких значениях параметра n формируются плотные гидраты льдоподобной структуры, преимущественно внутри влажного грунта в виде вкраплений, линз и крупных жил.

Ключевые слова: гидрат метана, гидратообразование, кинетика, константа скорости, степень конвертации в гидрат, морфология

RESEARCH OF MORPHOLOGY AND KINETICS OF METHANE HYDRATES FORMATION IN A MODEL POROUS MEDIUM

[1]Portnyagin A.S., [1]Koryakina V.V., [1,2]Ivanova I.K.

[1] Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, e-mail: al220282@mail.ru;
[2]M.K. Ammosov's North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: iva-izabella@yandex.ru

The article presents the results of studies of methane hydrate formation in a model porous medium during the synthesis under isothermal conditions in high-pressure chambers. The hydrate-forming medium was a model system consisting of a layer of bottom sediments of the Laptev Sea and an upper layer of river sand saturated with distilled water in an amount of 30% by weight. The hydrate synthesis data was processed according to the Avrami-Erofeev-Kolmogorov equation and the kinetic parameters of hydrate formation were obtained, namely, the parameter n, which determines the mechanism of the crystallization process, and the rate constants of the hydrate formation process. It was established that in distilled water, the formation of methane hydrate occurs in areas with a high contribution of diffusion process, and in moist soil in a high-kinetic area with a speed of 2-2.5 times higher, which indicates that the mechanism of hydrate formation in the porous medium becomes more complicated, besides, due to the developed specific surface area of the pore space. It is shown that the formation of dense, monolithic methane hydrate morphology is characterized by low values of the hydrate formation rate. The morphology of the formed methane hydrates in a porous medium was also investigated. It is established that a correlation of kinetic parameters with the formed morphology of methane hydrates is observed: when hydrate formation occurs with high values of n, hydrate formation occurs both inside the soil as impregnations and on the surface of the model system in the form of friable, frost-like structures. At low values of the parameter n, dense hydrates of an ice-like structure are formed, mostly inside moist soil in the form of inclusions, lenses and large veins.

Keywords: methane hydrate, hydrate formation, kinetics, rate constant, degree of conversion into hydrate, morphology

Гидраты газов – нестехиометрические супрамолекулярные ансамбли молекул воды и различных газов, формируемые при низких температурах и высоких давлениях. Они являются объектами пристального внимания ученых вот уже более полувека, начиная с момента их открытия в природе [1], что связано прежде всего с проблемами техногенного гидратообразования, а также возможностями их потенциального использования в сфере нефтегазового дела [2]. Кроме того, осознание их распространенности и роли в природе объективно подтверждает существование экологической опасности, сопряженной с неконтролируемым выбросом в атмосферу парниковых газов при разложении природных газогидратов [3, 4].

Сегодня известно, что в зонах вечной мерзлоты и морского шельфа сосредоточено колоссальное количество углерода в форме

газогидратов, по предварительным оценкам превышающим все известные запасы ископаемого топлива в два раза [3]. Если на материке скопления газогидратов стабильны за счет низкотемпературного режима мерзлотных почв, то в шельфовой зоне эти скопления формируются ниже 200 м уровня моря, где толща воды над ними создает давление, достаточное для их стабильного существования.

Современные исследования газогидратов имеют широкий охват, начиная от наблюдений за гидратами газов в природе, заканчивая математическим моделированием процессов гидратообразования и разложения на молекулярном уровне, среди которых отдельным блоком можно выделить экспериментальное изучение гидратов природных газов в лабораторных установках, имитирующих природные условия их образования и существования.

С точки зрения полученной информации, раскрывающей закономерности процессов формирования гидратов в природе, наиболее ценными являются результаты, описывающие этот процесс в поровом пространстве как наиболее распространенной среды гидратонакопления в зоне вечной мерзлоты и морского шельфа. Этим вопросам посвящено множество работ [5–7]. Так, например, в работе [6] предложен механизм формирования гидратов метана в пористом пространстве, в [7] показано, что гидраты газов размещаются в породе либо в поровом пространстве, либо в виде образований различного размера, замещающих минеральные частицы.

Исследований, посвященных изучению кинетических параметров гидратообразования в пористой среде, достаточно много [8, 9]. В этих работах кинетика процесса гидратообразования рассматривается с позиций изменения p,T-параметров в ходе гидратонакопления в камерах-реакторах и связывается с такими показателями пористой среды, как свободный объем порового пространства, гранулометрический состав и водонасыщенность используемого грунта.

Изучения взаимосвязи кинетики образования гидратов с их морфологическими характеристиками в литературе очень мало, так, например, в работе [10] показано, что морфология гидрата метана, синтезированного из дистиллированной воды, коррелирует с его газонасыщенностью. Однако более детального анализа с кинетическими характеристиками процесса гидратообразования в работе не дается.

Таким образом, целью настоящей работы являлось изучение кинетики образования и ее влияние на морфологические особенности гидратов метана, формируемых в модельной пористой среде.

Материалы и методы исследования

Синтез гидратов осуществляли в специально разработанной установке, основные элементы которой приведены на рис. 1.

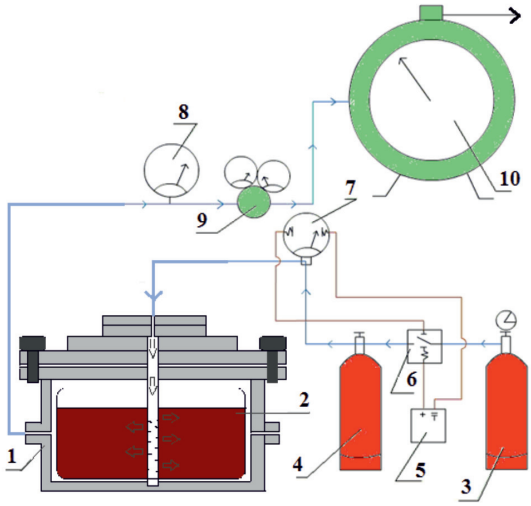


Рис. 1. Схема установки для наработки гидратов газа в камере высокого давления (пояснения в тексте)

Рост и накопление гидратов производили в камере высокого давления (1), которая представляла собой герметичную металлическую емкость объемом 3675 см^3 цилиндрической формы. Толщина стенок и крышки камеры составляла 20 мм. Внутри камеры был расположен дополнительный контейнер с перфорированной трубкой из нержавеющей стали (2), которая предназначалась для распределения потока газа внутри гидратообразующей среды. Линия подачи газа состояла из баллона с газом-гидратообразователем (3), ресивера (4), электроклапана (6) и контактного манометра (7), подключенных к источнику питания (5). Линия отвода газа состояла из манометра (8), предназначенного для контроля над давлением внутри камеры, газового редуктора (9) – для понижения давления газа на выходе из камеры до 10 кПа, и газового счетчика (10) – для измерения объема газа, профильтрованного через гидратообразующую среду.

В качестве газа-гидратообразователя был использован метан (99,98 об.%). В ка-

честве гидратообразующей среды выступала модельная система, состоящая из слоя донных отложений м. Лаптевых толщиной 5–6 см и верхнего слоя из просеянного речного песка толщиной 3–4 см, таким образом, масса модельной системы составляла 2,4 кг. Всю модельную систему пропитывали дистиллированной водой в количестве 30 мас.%. В герметизированную камеру через перфорированную трубку нагнетали газ-гидратообразователь из баллона под давлением, до достижения значения давления синтеза, после чего камеру охлаждали в холодильнике-инкубаторе. Температура во время всего синтеза выдерживалась при –4 °С при начальном давлении в 45 атм, и при –2 °С при начальном давлении газа в 90 атм.

Также для сравнительного анализа были проведены эксперименты по синтезу гидратов метана из дистиллированной воды: при этом температура выдерживалась при +4 °С, а начальное давление составляло 85–90 атм.

На основании данных по изменению давления в камерах синтеза при гидратообразовании были построены кривые степени конвертации газа в гидрат (α) согласно соотношению

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_0}, \qquad (1)$$

α_i – текущее значение степени превращения газа в гидрат,
P_i – текущее давление газа в ходе гидратообразования,
P_0 – давление газа до гидратообразования.

Кривые степени конвертации газа в гидрат были обработаны согласно уравнению Ерофеева – Колмогорова – Аврами, используемого для описания формальной кинетики топохимических реакций и в том числе для описания процессов гидратообразования в пористых средах [11]:

$$\alpha_i = 1 - e^{-kt^n}, \qquad (2)$$

где t – время,
n – показатель Аврами, характеризующий природу зародышеобразования и роста кристалла,
k – кинетический фактор, пропорциональный константе реакции K согласно формуле Саковича:

$$K = nk^{1/n}. \qquad (3)$$

Экспериментально показатель Аврами и кинетическую константу находят путем построения логарифмической анаморфозы, представляющей собой прямую линию, получаемую из уравнения (2) путем двойного логарифмирования:

$$\ln[-\ln(1-\alpha)] = \ln K + n\ln t. \qquad (4)$$

Результаты исследования и их обсуждение

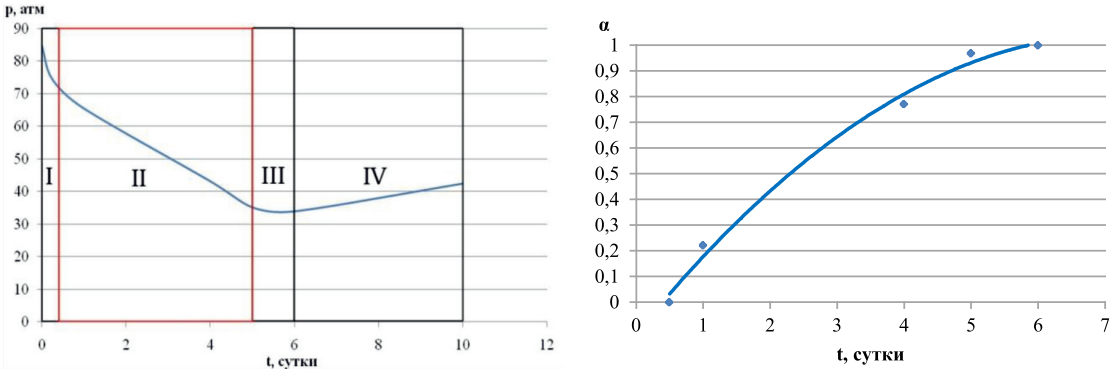
На рис. 2 слева (рис. 2, а) представлена кривая изменения давления в камере при синтезе из дистиллированной воды объемом 1000 см^3 и начальном давлении 85 атм, на которой можно выделить несколько интервалов: I – падения давления за счет охлаждения газа, II – падения давления за счет гидратообразования, III – стабилизации давления в камере при достижении системой равновесия. Видно, что процесс гидратообразования происходит непосредственно после охлаждения газа без какого-либо индукционного периода и длится около 4 суток, после которого рост гидратов замедляется и прекращается.

Путем анализа кривой падения давления метана в камере была построена кинетическая кривая степени конвертации газа в гидрат (рис. 2, б). Установлено, что кривая степени конвертации метана в гидрат имеет параболическую форму с периодом полупревращения около 2,3 суток, при этом полное превращение метана в гидрат достигается на 6 сутки.

Установлено, что в результате синтеза из 1000 см^3 дистиллированной воды и при начальном давлении газа в 85 атм образуется гидрат метана с рыхлой, инейподобной морфологией (рис. 3). Известно, что подобные структуры гидратов образуются в результате роста гидратов из газовой фазы, либо при наросте гидратных кристаллов друг на друга путем подпитки зон роста водой при ее осмотическом подъеме [12].

Установлено, что при синтезе гидратов метана из дистиллированной воды объемом 1500 см^3 и начальном давлении газа 90 атм кривая падения давления (рис. 4, а) имеет аналогичный характер, на которой можно выделить два этапа, во-первых, резкого снижения давления за счет роста гидратов, во-вторых, замедления процесса их роста. Однако, как видно, период замедления гидратообразования наступает гораздо раньше, уже на 2 сутки, после которого гидратообразование происходит уже с гораздо меньшей скоростью. Кривая степени конвертации газа в гидрат (рис. 4, б) также имеет параболическую форму, но с более резким подъемом и имеет разницу в дли-

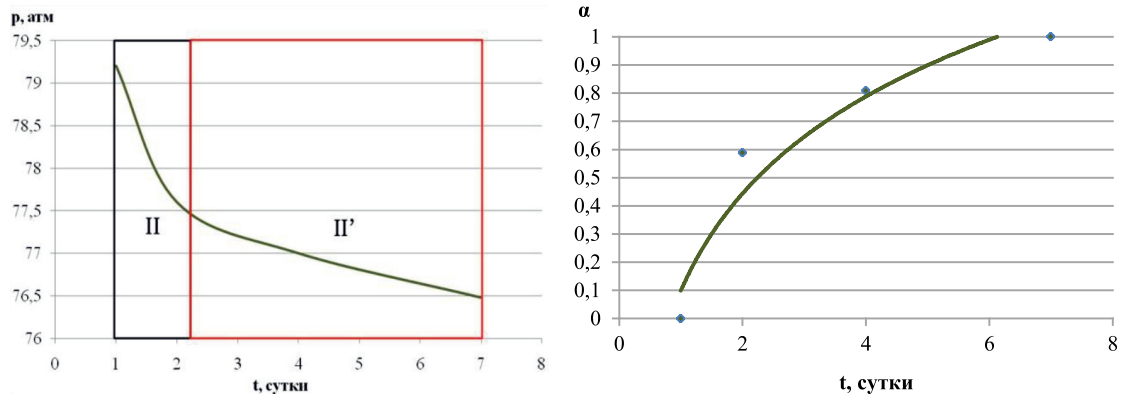
нах периодов – так, период полупревращения составляет 2,1 сутки, а на вторые сутки уже составляет 0,6, тогда как в предыдущем эксперименте аналогичная степень конвертации достигается только на третьи сутки.



а) *б)*

Рис. 2. Синтез гидратов метана из дистиллированной воды объемом 1000 см³ и начальном давлении 85 атм: а) Кривая изменения давления в камере, интервалы: I – охлаждения газа, II – роста гидрата, III – прекращения роста гидрата, IV – разложения гидрата; б) кривая степени конвертации в гидрат

Рис. 3. Фотографии гидрата метана, полученного из дистиллированной воды объемом 1000 см³ при начальном давлении 85 атм



а) *б)*

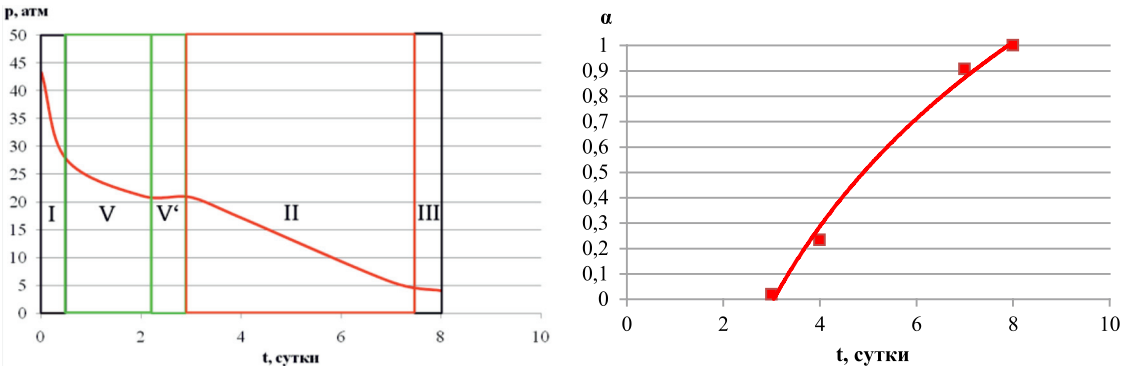
Рис. 4. Синтез гидратов метана из дистиллированной воды объемом 1500 см³ при начальном давлении 90 атм: а) кривая изменения давления в камере, интервалы: II – роста гидрата, II' – замедления процесса роста гидрата; б) кривая степени конвертации в гидрат

Установлено, что в данном эксперименте образуется смесь льда и гидрата метана, который имеет желтовато-белесый цвет и плотную структуру (рис. 5), при этом гидратосодержащая смесь поддерживает горение, что подтверждает высокую степень гидратонасыщенности.

На следующем этапе исследований были получены гидраты метана в пористой среде, эксперимент был проведен при двух различных значениях начального давления газа: 45 атм и 90 атм. Установлено, что при начальном значении давления метана в 45 атм кривые падения газа (рис. 6, а) имеют иной характер в отличие от кривых синтеза гидрата метана из дистиллированной воды. Так, на кривой падения давления (рис. 6, б) помимо периодов охлаждения газа (I), роста гидрата (II) и прекращения гидратообразования (III) присутствуют два дополнительных периода – растворения газа в грунтовой воде до насыщения (IV) и последующий за ним индукционный период (IV'), при котором не происходит заметных изменений. Показано. что процесс гидратообразования начинается на третьи сутки синтеза, при этом половина всего количества гидрата метана образуется на 5 сутки, а полное превращение достигается на 8 сутки (рис. 6, б).

На рис. 7 представлены фотографии синтезированных гидратов метана, синтезированных в грунте с водонасыщенностью 30 мас.% и начальном давлении 45 атм. Видно, что большая часть гидрата сформирована на поверхности грунта и представляет собой пористую, снегообразную массу, в самом же песчаном грунте наблюдаются мелкие вкрапления гидратных кристаллов белого цвета, которые распределены в грунте равномерно, кроме того, на дне грунта также зафиксирована плотная белая линза гидрата метана.

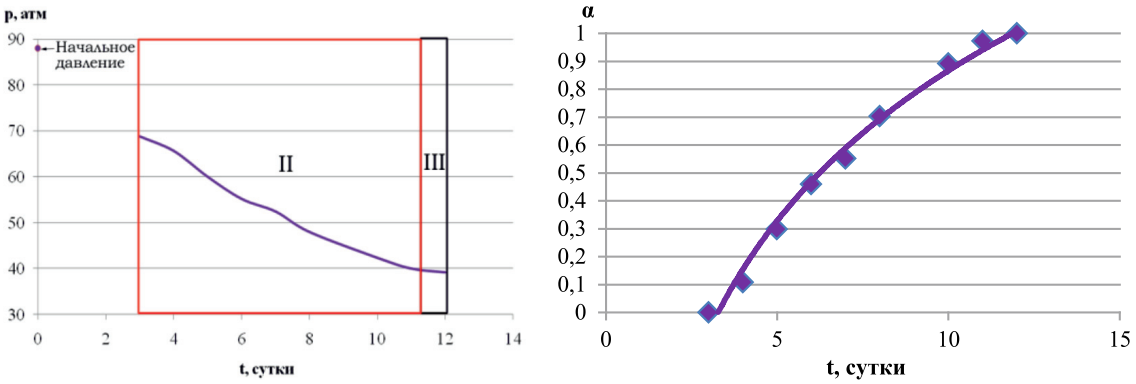
Рис. 5. Фотографии гидрата метана, полученного из дистиллированной воды объемом 1500 см³ при начальном давлении 90 атм



а) *б)*

Рис. 6. Синтез гидратов метана в грунте с водонасыщенностью 30 мас.% при начальном давлении 45 атм: а) кривая изменения давления в камере, интервалы: I – охлаждения газа, II – роста гидрата, III – прекращения гидратообразования, V – насыщение грунтовой воды газом, V' – индукционный период; б) кривая степени конвертации в гидрат

Рис. 7. Фотографии гидрата метана, синтезированного в грунте с водонасыщенностью 30 мас. % при начальном давлении 45 атм



а) *б)*

Рис. 8. Синтез гидратов метана в грунте с водонасыщенностью 30 мас. % при начальном давлении 90 атм: а) кривая изменения давления в камере, интервалы: II – роста гидрата, III – прекращения гидратообразования; б) кривая степени конвертации в гидрат

Рис. 9. Фотографии гидрата метана, синтезированного в грунте с водонасыщенностью 30 мас. % при начальном давлении 90 атм

При синтезе гидрата в грунте при начальном давлении метана 90 атм гидратообразование происходит на третьи сутки и продолжается по одиннадцатые сутки (рис. 8, а), половина всего количества гидрата метана при этом синтезируется на 6 сутки (рис. 8, б). установлено, что при этом гидрат формируется преимущественно внутри грунта в виде крупных плотных скоплений и жил (рис. 9).

По полученным кривым степени конвертации гидратов метана в дистиллированной воде и пористой среде были рассчитаны кинетические показатели гидратообразования в дистиллированной воде и влажных донных отложениях м. Лаптевых с прослойкой крупнозернистого песка (таблица).

Кинетические показатели гидратообразования и морфология гидратов метана, полученных в дистиллированной воде и во влажных донных отложениях м. Лаптевых с прослойкой крупнозернистого песка (*n* – показатель Аврами, К – константа скорости процесса гидратообразования)

Среда получения	*n*/механизм	К, сут$^{-1}$	Морфология
Дистиллированная вода	1,5/кинетический	0,6	Рыхлая, игольчатая
	0,9/диффузионно-кинетический	0,4	Плотная, монолитная
Влажный грунт	5,5/высококинетический	0,9	Снегообразная на поверхности грунта, вкрапления
	2,1/кинетический	0,5	Плотная на поверхности грунта, жилы

Видно, что в дистиллированной воде процесс образования гидрата метана протекает с относительно низкими значениями показателя *n*, близкими к единице (0,9 и 1,5), что свидетельствует о протекании процесса кристаллизации гидрата метана в области с высоким вкладом диффузионной составляющей. Наличие песка повышает показатель *n* в 2–5 раз, а константы скорости в 2–2,5 раза, что свидетельствует об усложнении механизма процесса гидратообразования с его интенсификацией, вероятно, за счет наличия дополнительных центров кристаллизации в виде частиц песка и за счет, в том числе, развитой удельной поверхности порового пространства.

Установлено, что в случае протекания реакции в высококинетической области образуются гидраты с рыхлой, инейобразной, снегоподобной морфологией, а чем ниже показатель *n*, тем плотнее формируемая гидратом морфология. Установлено, что процесс формирования плотной монолитной структуры гидрата метана характеризуется низкими значениями скорости гидратообразования.

Заключение

Таким образом, проведены исследования кинетики образования и морфологии гидратов метана, полученных в дистиллированной воде и модельной системе из донных отложений м. Лаптевых в камере высокого давления. Показано, что существует корреляция между кинетическими показателями процесса гидратообразования и морфологией полученных синтетических гидратов метана. Установлено, что гидраты со снегоподобной морфологией формируются в случае протекания реакции гидратообразования в высококинетической области, а чем ниже показатель Аврами реакции *n*, тем плотнее формируемая гидратом морфология. Установлено, что формирование плотных, монолитных гидратов метана характеризуется низкими значениями скорости гидратообразования.

Работа выполнена в рамках Госзаказа № 0377-2016-003, при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Саха (Якутия) (Проект № 18-45-140035), а также со стороны Минобрнауки России в рамках выполнения базовой части государственного задания (Проект 10.7697.2017/ВУ «Организация проведения научных исследований»).

Список литературы / References

1. Ruppel C.D., Kessler J.D. The interaction of climate change and methane hydrates. Reviews of Geophysics. 2017. Vol. 55. P. 126–168. DOI: 10.1002/2016RG000534.

2. Frozen heat: a global outlook on methane gas hydrates / Ed. by Beaudoin Y.C., Dallimore S.R., Boswell R. United Nations Environment Programme. GRID-Arendal. 2014. Vol. 2. 96 p.

3. Makogon Yu.F. Natural gas hydrates – A promising source of energy. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2010. Vol. 2. Issue 1. P. 49–59. DOI: 10.1016/j.jngse.2009.12.004.

4. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf. Science. New Series. 2010. Vol. 327. No. 5970. P. 1246–1250. DOI: 10.1126/science.1182221.

5. Advances in the Study of Gas Hydrates / Ed. by C.E. Taylor and J.T. Kwan. Springer Science + Business Media, Inc. New York, Kluwer Academic Publishers, 2004. 254 p.

6. Чувилин Е.М., Гурьева О.М. Экспериментальное изучение образования гидратов CO_2 в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 3. С. 70–79.

Chuvilin E.M., Guryeva O.M. Experimental investigation of CO_2 gas hydrate formation in porous media of frozen and freezing sediments // Kriosfera Zemli. 2009. Vol. 13. №. 3. P. 70–79 (in Russian).

7. Манаков А.Ю., Дучков А.Д. Лабораторное моделирование гидратообразования в горных породах (обзор) // Геология и геофизика, 2017. Т. 58. № 2. С. 290–307. DOI: 10.15372/GiG20170208.

Manakov A.Yu., Duchkov A.D. Laboratory modeling of hydrate formation in rocks (review) // Geology and Geophysics. 2017. Vol. 58. №. 2. P. 290–307 (in Russian).

8. Livio Ruffine. Exploring methane-hydrate formation and dissociation in geologic materials through laboratory experiments: Kinetic behavior and morphology. Fuel. 2015. Vol. 141. P. 173–184. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.10.041.

9. Rempel A.W., Buffett B.A. Formation and Accumulation of Gas Hydrate in Porous Media. Journal of Geophysical Research. 1997. Vol. 102. № B5. P. 10151–10164. DOI: 10.1029/97JB00392.

10. Семенов М.Е., Шиц Е.Ю. Изучение процесса получения гидратов метана в статических условиях // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 5. С. 457–467.

Semenov M.E., Shits E.Yu. Studying the process of obtaining methane hydrates in static conditions // Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoye delo». 2012. № 5. P. 457–467 (in Russian).

11. Palodkar A.V., Mandal S., Jana A. Modeling Growth Kinetics of Gas Hydrate in Porous Media: Experimental Validation. Energy&Fuels. 2016. Vol. 30. № 9. P. 7656–7665. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01397.

12. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. М.: Недра, 1980. 296 с.

Byk S.Sh., Makogon Yu.F., Fomina V.I. Gas hydrates. M.: Nedra, 1980. 296 p. (in Russian).

УДК 546-328

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДИЦИТРАТОБОРАТА ГЛИЦИНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Осина М.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет» Московский энергетический институт, Москва, e-mail: lana-2001@yandex.ru

Получено новое комплексное соединение на основе борной, лимонной и аминоуксусной кислот. Разработана методика синтеза комплексной соли. Используя современные физико-химические методы исследования, изучена структура и свойства данного комплекса. Доказано, что новое вещество относится к классу комплексных соединений на основе бора, находящегося в тетракоординации с лимонной кислотой во внутренней сфере и глицина, образующего внешнюю сферу. Предложена предполагаемая структура соли – дицитратобората глициния (ДЦБГли), дана химическая формула нового соединения. Определена плотность дицитратобората глициния. На основе данных термогравиметрического метода и метода дифференциально-сканирующей калориметрии проведен анализ процесса термической деструкции ДЦБГли. Обнаружен ярко выраженный эндотермический пик в области невысоких температур с выбросом летучих продуктов CO_2, NH_3, CO и H_2O, что не наблюдалась в ранее синтезированных ацидокомплексах бора. Изучены ИК-спектры молекул нового комплексного соединения, доказано наличие у атома бора тетракоординации. Рентгенодифракционные исследования позволили изучить структуру синтезированного комплекса и доказать присутствие глицина во внешней сфере. Предполагаемая область применения комплексного соединения связана с его антимикробными и противогрибковыми свойствами, а также ярко выраженным эндотерическим эффектом, не наблюдаемым у ранее синтезированных аналогов. Рассмотрено применение нового комплексного соединения в качестве экологически безопасных антипиренов, ингибиторов коррозии комбинированного действия при невысоких температурах, а также веществ, обладающих биоцидными свойствами по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям.

Ключевые слова: борная кислота, лимонная кислота, аминоуксусная кислота, дицитратоборат глициния, синтез, плотность, ИК-спектроскопия, рентгеновская дифракция, биоцидная активность

THE STUDY OF THE STRUCTURE OF DINITROTOLUENE WISTERIA USING PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS

Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Osina M.A.

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, e-mail: lana-2001@yandex.ru

A new complex compound based on boric, citric and aminoacetic acids was obtained. The method of synthesis of complex salt is developed. Using modern physical and chemical research methods, the structure and properties of this complex are studied. It is proved that the new substance belongs to the class of complex compounds based on boron, which is in tetracoordination with citric acid in the inner sphere and glycine, forming the outer sphere. Proposed the proposed structure of salt – dinitrotoluene Wisteria (Ccbpi), given the chemical formula of the new compounds. Determined the density of dinitrotoluene Wisteria. On the basis of the thermogravimetric method and the method of differential scanning calorimetry analysis of the thermal degradation process Ccbpi. Discovered a pronounced endothermic peak in the region of low temperature with release of volatile products CO2, NH3, co and H2O, which was not observed in the previously synthesized acidogenic forest. The IR spectra of molecules of a new complex compound were studied and the presence of tetracoordination in the boron atom was proved. X-ray diffraction studies allowed to study the structure of the synthesized complex and to prove the presence of glycine in the external sphere. The intended scope of the complex compounds is related with its antimicrobial and antifungal properties, as well as pronounced endocervicosis effect not observed in previously synthesized analogs. The application of a new complex compound as environmentally safe flame retardants, corrosion inhibitors of combined action at high temperatures, as well as substances with biocidal properties in relation to gram-positive and gram-negative bacteria is considered.

Keywords: boric acid, citric acid, aminoacetic acid, glycine dicitratoborate, synthesis, density, IR spectroscopy, x-ray diffraction, biocidal activity

Изучение влияния строения комплексных соединений на изменение их физико-химических характеристик является актуальным направлением координационной химии. Особую роль играют комплексы, имеющие в своем составе органо-неорганические компоненты. Область применения координационных соединений, в состав которых входят борная, аминоуксусная и лимонная кислоты, достаточна широка. Комплексные соединения на основе бора используются в качестве нетоксичных антипиренов, твердых электролитов, ингибиторов коррозии металлов, антиоксидантов и др. [1, 2]. Авторами модифицирована методика синтеза бидентатных координационных соединений на основе тетракоординированного бора, выделено в кристаллическом состоянии и изучено новое комплексное соединение дицитратоборат глициния (ДЦБГли). Результаты термогравиметрического анализа дают ка-

чественную характеристику соединению, позволяют сделать вывод о влиянии аминокислоты в качестве внешней сферы на характер химической деструкции изучаемых ацидокомплексов бора и скорость процесса разложения. Показано, что новое комплексное соединение устойчиво при высоких температурах, а при дальнейшем нагревании происходит образование большого объема негорючих газов с наличием значительного эндотермического эффекта. При исследовании ранее синтезированных комплексов, относящихся к данному типу координационных соединений, данного эффекта не наблюдалось, поэтому авторами сделан вывод о специфическом влиянии глицина на процесс термического разложения тетракоординированного комплекса. Используя сравнительный анализ инфракрасных спектров нового комплексного соединения ДЦБГли и других комплексов бора, было подтверждено предположение о нахождении атома бора в тетракоординированном состоянии. Метод ИК-спектроскопии позволил доказать наличие симметрии в молекуле дицитратобората глициния. Амины известны как летучие ингибиторы коррозии металлов [1, 3], поэтому соли комплексов бора с аминокислотами могут быть перспективны для использования в качестве ингибиторов коррозии комбинированного действия при невысоких температурах (выше 100 °С). Предположительная область применения дицитратобората глициния в качестве антипирена основана на выделении при сжигании большого объема негорючих газов (H_2O, NH_3, CO_2).

Материалы и методы исследования

В работе использовали реактивы: борная кислота «ХЧ», содержание основного компонента более 99 %, L-α-глицин (аминоуксусная кислота) «Ч» ГОСТ 5860-75, лимонная кислота безводная мелкогранулированная «ЧДА» Е 330.

Для создания метастабильной системы были использованы пересыщенные растворы кислот, которые вступали во взаимодействие в молярных соотношениях: 0,05 моль (3,09 г) борной кислоты, 0,1 моль (21,03 г) лимонной кислоты и 0,1 моль (7,5 г) L-α-глицина. Для создания определенного индукционного периода кристаллизации борную кислоту растворяли в 30 мл дистиллированной воды при постоянном перемешивании на водяной бане при температуре 50–60 °С. Раствор медленно охлаждали и добавляли лимонную кислоту. Полученную смесь повторно поместили на водяную баню при той же температуре для получения пересыщенного раствора смеси двух кислот. В медленно охлажденный раствор добавляли аминоуксусную кислоту, не прекращая перемешивание системы. Мольное соотношение компонентов составляло 1:2:1 соответственно. Образовавшиеся кристаллы выдерживали в растворе в течение нескольких суток, затем отделяли фильтрованием на воронке Бюхнера, промывали диэтиловым эфиром и сушили в эксикаторе [4].

ИК-спектры регистрировали на спектрометре с преобразованием Фурье Nicolet IR200 (Thermo Scientific) с использованием приставки внутреннего отражения с элементом НПВО – нарушенное полное внутреннее отражение (ATR) из ZnSe с углом падения 45°. Разрешение 4 $см^{-1}$, число сканов равно 20. Исследования особенностей термической деструкции ДЦБГли проводили на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA-449 F1Jupiter в интервале температур 20–950 °С в среде аргона. Рентгенодифракционные исследования проводили на дифрактометре SMART APEX DUO CCD (MoKα-излучение, графитовый монохроматор, ω-сканирование). Структура расшифрована прямым методом и уточнена МНК в анизотропном полноматричном приближении по F^2_{hkl}. Атомы водорода ОН и NH_3 групп и молекулы воды найдены из фурье-синтеза и уточнены изотропно, остальные атомы водорода помещены в геометрически рассчитанные положения и включены в уточнение в модели «наездника» с $Uiso(H) = 1,2U_{eq}(C)$. Все расчеты проведены по комплексу программ SHELX версии 2014/1#. Плотность ДЦБГли по гелию измеряли на автоматическом пикнометре ACCU Pic 1340 при температуре 22 °С [4].

При изучении бактерицидной активности новых субстанций в качестве тест-микроорганизмов использовали: *Pseudomonas aeruginosa* (штамм АТСС 27853) – для оценки бактерицидной активности в отношении грамотрицательных бактерий; *Staphylococcus aureus* (штамм 906) – для оценки бактерицидной активности в отношении грамположительных бактерий. Минимально подавляющую концентрацию соединения исследовали по МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам» (методом серийных разведений в мясопептонном бульоне).

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что глицин в кислой среде ионизируется до катиона [5] и может образовывать внешнюю сферу комплексной соли. Тогда реакцию образования ДЦБГли можно представить схемой (рис. 1).

$$H_3BO_3 + 2(HOOCCH_2)_2C(OH)COOH \rightarrow H[B(C_6H_6O_7)_2]\cdot H_2O + 2H_2O \text{ (а)}$$

$$H[B(C_6H_6O_7)_2]\cdot H_2O + H_2NCH_2COOH \rightarrow H_3NCH_2COOH^+ [B(C_6H_6O_7)_2]^- \cdot H_2O \text{ (б)}$$

Рис. 1. Механизм синтеза дицитратобората глициния: а) образование дилимоноборной кислоты; б) получение дицитратобората глициния

Синтезированный комплекс представляет собой устойчивое на воздухе твердое соединение, растворимое в воде и практически не растворимое в органических растворителях. Для подтверждения индивидуальности синтезированного комплексного соединения проводили ИК-спектрометрию индивидуальных веществ, использованных при синтезе, и полученного соединения. На рис. 2 представлены ИК-спектры нового комплексного соединения – дицитротобората глициния. Анализируя полученную информацию, можно сделать вывод, что в ДЦБГли атом бора находится в тетракоординированном состоянии, аналогично ранее синтезированным соединениям данного класса, что подтверждается наличием полос в области 1189 $см^{-1}$ и 1195 $см^{-1}$ соответственно [5]. Особенностью нового комплексного соединения является наличие не только валентных колебаний связи B–O в боркислородном тетраэдре, что подтверждается полосой поглощения при 943 $см^{-1}$, но и наблюдаемый высокочастотный сдвиг по сравнению с поглащением валентного колебания B–O, что доказывает более прочный характер связи N–B_4. Полосы поглощения 1720–1780 $см^{-1}$ обусловлены валентными колебаниями C=O связи в карбоксильной группе, связанной с атомом бора и свободной соответственно. Смещение относительно соответствующей полосы в спектре исходного реагента в область коротких волн на 35 $см^{-1}$ связано с образованием связи C–O–B. Полосы поглощения в области 2980 $см^{-1}$ и 1410–1430 $см^{-1}$ отвечают валентным колебаниям связи O-H в карбоксильной группе и деформационным колебаниям связи C-H соответственно [4, 5]. Валентные колебания связи C-O обусловливают появление максимумов при 1060 и 1130 $см^{-1}$. Полоса поглощения при 1320 $см^{-1}$ относится к валентным колебаниям связей C-N во фрагменте глициния NH3+. Полоса при 1510 $см^{-1}$ принадлежит деформационным колебаниям связи N-H, а 3570 $см^{-1}$ – к валентным колебаниям связи N-H в $NH3^+$ [3]. Структура синтезированного комплекса изучена методом РСА. Анализ базы Кембриджского центра кристаллографических данных (the Cambridge Crystallographic Data Center (CCDC)) позволяет утверждать, что синтезировано новое комплексное соединение с глицином во внешней сфере. Структурными единицами кристаллов является дицитратоборатанион, катион глицина и молекула воды. Идентификация и нумерация неводородных атомов соединения приведена на рис. 3. Дицитратоборатанион с тетраэдром BO_4 в центре образован путем бидентатой координации атома бора с двумя молекулами лимонной кислоты через атомы кислорода центральной карбоксильной и α-гидроксильной групп.

Он имеет псевдоось симметрии, которая проходит через атом бора и делит пополам ребра тетраэдра O(1) – O(8) и O(2) – O(9). Различие двух функциональных групп определяет неоднородность связей B-O и искажение тетраэдра BO_4. Связи B-O(1) и B-O(8) от гидроксильных групп (1,44 – 1,44 Å) короче связей B-O(2) и B-O(9) от карбоксильных групп (1,507–1,510 Å). Сопряженные с ними связи C(sp^3) – O (C(1)-O(1) и C(7) – O(8)) длиннее (1,421–1,426 Å) связей C(sp^2) – O (C(2) – O(2) и C(8) – O(9)) (1,313 – 1,319 Å). Два валентных угла O-B-O, включенных в пятичленные борогетероциклы (O(1)BO(2) 105, 1 Å и O(9)BO(9) 104,2), меньше остальных четырех углов (ср. 111,9 ± 3,3). В ходе образования дицитратоборатанионов наибольшие изменения в длинах связей наблюдаются в карбоксильных группах молекул лимонной кислоты (по сравнению с чистым веществом).

Внешняя сфера комплексного соединения представлена катионом глициния и одной молекулой кристаллизационной воды Определение плотности ДЦБГли было про-

ведено по методике выполнения измерений МИ 0200851-313-2007 на автоматическом пикнометре Accu Pic 1340 (Micromeritics, США) при температуре 220 °С. Плотность ДЦБГли, рассчитанная теоретически по данным РСА анализа, составила 1,674 г/см^3 и мало отличается от значения, полученного с помощью пикнометрического анализа – 1,66 г/см^3 (по гелию).

Исследования особенностей термической деструкции ДЦБГли проводили на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA-449 F1Jupiter в интервале температур 200–9500 °С в среде аргона (рис. 4). Наблюдаемый первый пик в области температур 1450 °С характеризует процесс отщепления молекулы кристаллизационной воды [5, 6]. При термическом разложении дицитратобората глициния в интервале температур 170–2100 °С в среде аргона происходит вулканизация с выбросом навески образца из тигля. Данного процесса не наблюдалось при термической деструкции ранее полученных соединений подобного класса.

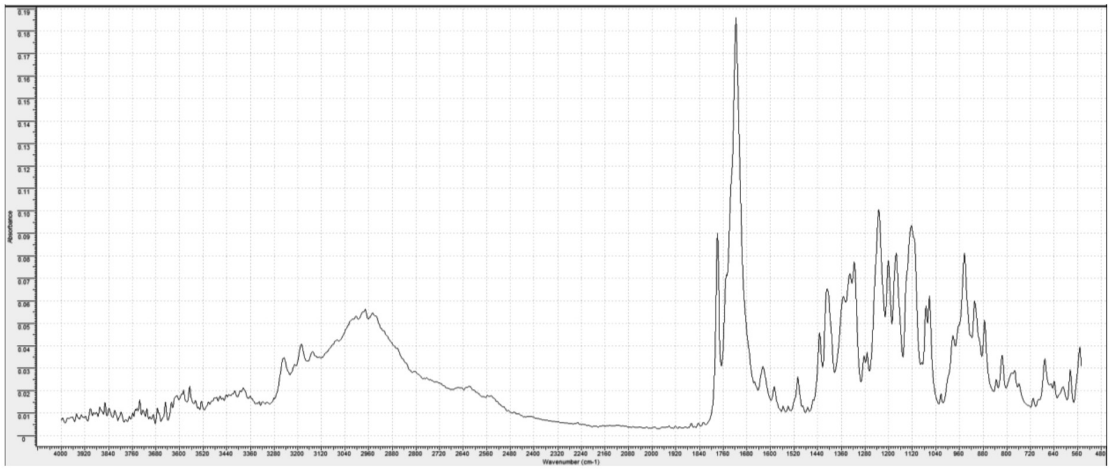


Рис. 2. ИК-спектры дицитратобората глициния (ДЦБГли)

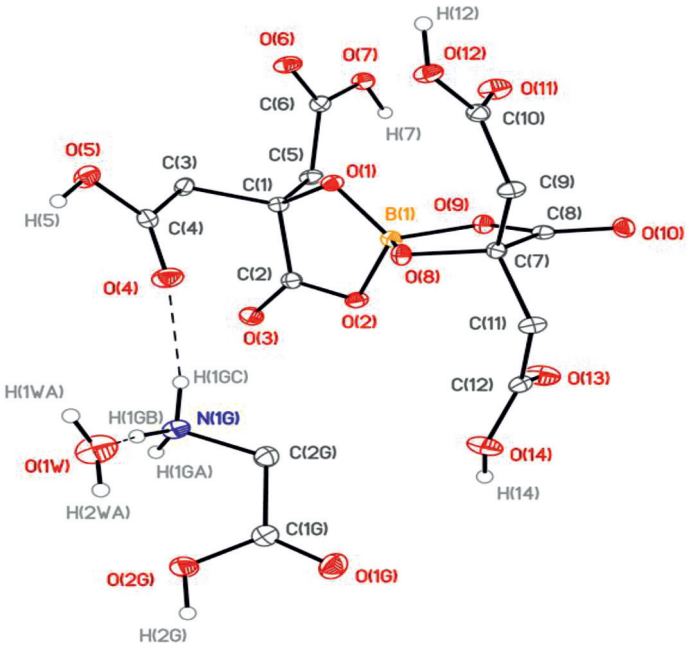


Рис. 3. Общий вид структурных элементов кристаллов ДЦБГли с обозначением и нумерацией атомов (за исключением атомов водорода алифатических цепочек (p = 50%)

Процесс разложения глицина при воздействии на него высоких температур протекает в две стадии [6, 7], первая стадия характеризуется резкой потерей массы вещества за счет образования газообразных продуктов. Происходит одновременно два процесса – декарбоксилирование и термическая деструкция, что и способствует наблюдаемому мощному эндотермическому эффекту. На полученной дериватограмме ДЦБГли имеется пик при температуре 2100С, что соответствует процессу разложения глицина, находящегося в стадии ионизации, при этом образуются летучие продукты CO_2, NH_3, CO в большом объеме. Таким образом, механизм и результаты продуктов термической деструкции зависят от характера аминокислоты, находящейся во внешней сфере соединения. Благодаря ярко выраженному процессу образования негорючих газов, дицитратоборат глициния можно использовать как антипирен при защите изделия от процессов возгорания.

Дополнительно был проведен анализ тест-культур для определения антимикробной активности дицитратобората глициния. Для исследования на биоцидную активность брали следующие микроорганизмы: грамположительные бактерии – *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *B. pumilus* NCTC 8241, *B. mycoides* 537, *Micrococcus luteus* NCTC 8340, *Leuconostoc mesenteroides* VKPM B-4177, *Staphylococcus aureus* INA 00761, *S. aureus* FDA 209P, *Mycobacterium smegmatis* VKPM Ac 1339, *M. smegmatis* mc2 155, грамотрицательные бактерии – *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Comamonas terrigena* VKPM B-7571 и грибы – *Aspergillus niger* INA 00760, *Saccharomyces cerevisiae* RIA 259. *Pseudomonas aeruginosa* – грамотрицательная бактерия, является одним из основных возбудителей гнойно-воспалительных процессов.

Распространена повсеместно, чему способствует высокая устойчивость этих бактерий к неблагоприятным условиям внешней среды, выраженная антагонистическая активность и резистентность к широкому спектру природных биологически активных веществ и антимикробных средств, применяемых в медицинской практике. Экологическая безопасность синтезированной соли обеспечивается ингредиентами, входящими в ее состав, а наличие термического разложения дицитратобората глициния в интервале температур 170–210 °С с образованием большого объема летучих продуктов CO_2, NH_3, CO и выделением воды в парообразном состоянии позволяет расширить область применения в направлении улучшения эффективности огнезащиты, а также получения препаратов комбинированного действия, которые могут защитить объект от биоразрушений и при этом остаются экологически безопасны для человека [5, 7]. Помимо этого, амины применяют в качестве ингибиторов коррозии металлов, следовательно, соли комплексов бора, в состав которых входят соединения с аминогруппой, могут быть перспективны для использования в качестве ингибиторов коррозии при невысоких температурах.

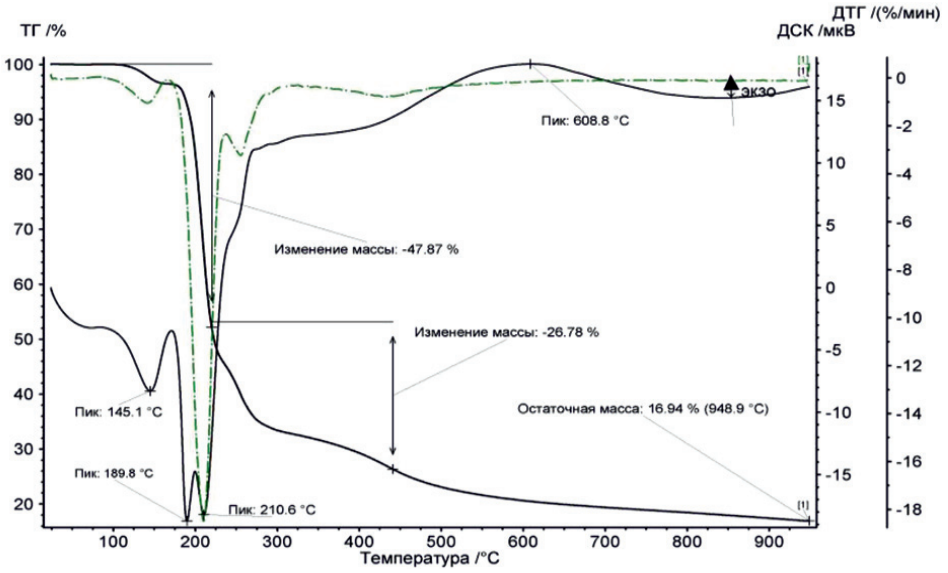


Рис. 4. Термограмма дицитратобората глициния

Заключение

Усовершенствована методика получения нового комплексного соединения на основе борокислородного тетраэдра – дицитратобората глициния с брутто-формулой $C_{14}H_{20}BNO_{17}$ и молекулярной массой 485,12 г/моль. Представлена эмпирическая формула нового соединения, а также рассмотрен механизм протекания реакции получения дицитратобората глициния. Предложена область применения синтезированной комплексной соли в качестве экологически безопасного соединения, относящегося к группе антипиренов. Рассмотрен вопрос о возможном использовании дицитратобората глициния как ингибитора коррозии комбинированного действия при невысоких температурах, а также вещества, обладающего биоцидными свойствами по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям. Определена пикнометрическая плотность ДЦБГли по гелию, которая составила 1,66 г/см^3. Строение и состав соединения подтверждены данными рентгеноструктурного анализа.

Список литературы / References

1. Morgan A.B., Jurs J.I., Tour J.M. Synthesis, flame-retardancy testing, and preliminary mechanism studies of nonhalogenated aromatic boronic acids: A new class of condensed-phase polymer flame-retardant additives for acrylonitrile–butadiene–styrene and polycarbonate. J. Appl. Polym. Sci. 2000. V. 76. № 8. P.1257–1268. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(20000523)76:8<1257::AID-APP6>3.0.CO;2-#.

2. Алекперов Э.Р., Резник А.М. Комплексы бора: синтез, применение. М.: МГУ, 2000. 208 с.

Alekperov E.R., Reznik A.M. Boron Complexes: synthesis, application. M.: MGU, 2000. 208 p. (in Russian).

3. Сергеева Г.С. Ди(L-малато)бораты щелочных металлов и аммония // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2011. Т. 54 № 9. С. 18–21.

Sergeeva G.S. Di (L-malate) borates of alkaline metals and ammonium // News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2011. V. 54. № 9. P. 18–21 (in Russian).

4. Тютрина, С.В., Юргенсон Г.А., Осина М.А., Мясникова Н.В. Физико-химические свойства и особенности кристаллообразования комплексных соединений на основе борной кислоты // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. № 7. С. 840–847.

Tyutrina S.V., Yurgenson G.A., Osina M.A., Myasnikova N.V. Physicochemical properties and specific features of crystal formation for complex compounds based on boric acid // Russian Journal of Applied Chemistry. 2017. V. 90. № 7. P. 1055–1061. DOI: 10.1134/S1070427217070059.

5. Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Осина М.А., Григорьева О.Ю., Кузнецова Н.С. Изучение физико-химических свойств и структуры кристаллов дилимонноборной кислоты // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 21–27.

Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Osina M.A., Grigor'eva O.Yu., Kuznetsova N.S. The study of the physico-chemical properties and structure of crystals demimondaines acid // Advances in current natural sciences. 2017. № 12. P. 21–27 (in Russian).

6. Chowdhry B.Z., Dines T.J., Jabeen S., Withnall R. Vibrational Spectra of r-Amino Acids in the Zwitterionic State in Aqueous Solution and theSolid State: DFT Calculations and the Influence of Hydrogen Bonding. J. Phys. Chem. A. 2008. V. 112. No 41. P. 10333– 10347. DOI: 10.1021/jp8037945.

7. Perlovich, G.L., Hansen, L.K., Bauer-Brandl, A. The Polymorphism of Glycine. Thermo-chemical and structural aspects. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2001. V. 66. Issue 3. P. 699–715.

УДК 546.73:550.72:579.66

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРЫ АЦИДОФИЛЬНЫХ ХЕМОЛИТОТРОФОВ, АДАПТИРОВАННЫХ К ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КОБАЛЬТА

Хомченкова А.С.

ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: bioleaching@yandex.ru

В последние двадцать лет проявляется всё больший интерес к исследованиям взаимодействий микроорганизмов с металлами. Существует множество вариантов металл-микробных отношений, но из-за их сложности многие из этих механизмов всё еще изучаются. Исследуя метаболические стратегии микробного противостояния токсическому воздействию металлов, человек может создать улучшенные штаммы микроорганизмов и использовать их в биотехнологии при добыче ценных компонентов из руд и отходов горной промышленности. В технологии бактериально-химического выщелачивания (БХВ) используют сообщества микроорганизмов, эволюционно приспособленных к присутствию металлов во внешней среде. Но концентрации металлов в пульпах выщелачивания способны угнетать метаболизм даже устойчивых штаммов, в связи с этим необходимо проводить адаптацию микробных сообществ, а также осуществлять подбор штаммов перед их использованием в промышленных условиях. Статья описывает опыт адаптации смешанной культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов (в её составе идентифицированы *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Sulfobacillus spp*.), полученных из сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатский край, Россия), к высоким концентрациям ионов кобальта (12, 14, 16, 18, 20 г/л) в питательной среде 9 К с железом; рост культуры сохранялся при всех вариантах концентраций кобальта, превышая показатели роста в контроле (в среде без ионов кобальта). Наблюдение за таким важным фактором жизнедеятельности микроорганизменного сообщества, как окислительная активность, провели для образца, адаптированного к 20 г/л ионов кобальта. Скорость окисления железа адаптированной культурой была приблизительно в два раза выше, чем контрольной.

Ключевые слова: хемолитотрофные микроорганизмы, кобальт, окисление железа, устойчивость, бактериально-химическое выщелачивание, сульфидные руды

THE OXIDATION ACTIVITY OF ACIDOPHILIC CHEMOLITHOTROPHIC CULTURE, ADAPTED TO HIGH COBALT CONCENTRATION

Khomchenkova A.S.

Scientific Research Geotechnological Centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Science, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: bioleaching@yandex.ru

In the past twenty years, there has been an increasing interest in research on the interactions of microorganisms with metals. There are many options for metal-microbial relationships, but because of their complexity, many of these mechanisms are still being studied. By studying the metabolic strategies of microbial resistance to the toxic effects of metals, a person can create improved strains of microorganisms and use them in biotechnology while extracting valuable components from ores and mining waste. In the technology of bacterial-chemical leaching (BCL), communities of microorganisms evolutionarily adapted to the presence of metals in the environment are used. ut metal concentrations in leaching pulps are able to inhibit the metabolism of even resistant strains; therefore, it is necessary to adapt microbial communities, as well as to select strains before using them in industrial conditions. The article describes the experience of adaptation of a mixed culture of acidophilic chemolithotrophic microorganisms (in its composition Acidithiobacillus ferrooxidans, Sulfobacillus spp.), obtained from the sulfide cobalt-copper-nickel ore of the Shanuch deposit (Kamchatka Krai, Russia) to high concentrations of cobalt ions (12, 14, 16, 18, 20 g/l) in the nutrient medium 9K with ferrous; the growth of the culture persisted in all cobalt concentrations, exceeding growth in the control (in a medium without cobalt ions). Observation of such an important factor in the vital activity of the microorganism community, as oxidative activity, was carried out for a sample adapted to 20 g/l of cobalt ions. The rate of iron oxidation by the adapted culture was approximately twice that of the control culture.

Keywords: chemolithotrophic microorganisms, cobalt, ferrous oxidation, resistance, bacterial-chemical leaching, sulphide ores

Помимо антропогенного внесения, металлы присутствуют в природных средах в постоянном фоновом количестве. Микроорганизмы различного обитания способны выживать в присутствии металлов, однако именно металл-толерантные микроорганизмы отличаются особой устойчивостью к токсическому воздействию металлов. Такие организмы хорошо приспособлены и к широкому диапазону температур, pH, окислительно-восстановительному потенциалу участка, это связано с экстремальными условиями их естественных резервуаров: места залежей руд, гидротермальные источники, близость к действующим вулканам [1, 2].

Молекулярные механизмы, используемые микроорганизмами для выживания в богатых металлами средах, могут быть полезны человеку в различных областях

биотехнологии, таких как биоремедиация загрязненных почвы и воды, добыча и обогащение полезных ископаемых. Например, применение металл-толерантных микроорганизмов в бактериально-химическом выщелачивании (БХВ) позволяет извлекать ценные компоненты из низкосортных, бедных руд или отходов горной добычи [3, 4].

В пульпах чанового БХВ концентрации ионов металлов могут превышать природные (например, в рудных месторождениях), они способны как ингибировать активность микробной популяции, угнетая её метаболизм, так и способствовать выработке микроорганизмами устойчивости к повышенным уровням металлов. Используя генетическую и метаболическую основы природных механизмов резистентности к металлам, учёные могут получить улучшенные штаммы биотехнологически значимых микроорганизмов [1, 4].

Большая продолжительность процессов БХВ является существенным недостатком и ставит перед учёными вопрос об интенсификации этих процессов. К вариантам решения данной проблемы относят повышение биоактивности микроорганизмов. Селекция наиболее активных смешанных и чистых культур, адаптированных к условиям протекания БХВ, позволит повысить эффективность извлечения ценных компонентов из сырья [5].

Задачей описанного в статье эксперимента являлась адаптация сообщества аборигенных микроорганизмов сульфидной кобальт-медно-никелевой руды к высоким «промышленным» концентрациям ионов кобальта в питательной среде и наблюдение за окислительной активностью адаптированной культуры. Стояла цель выявить, обладают ли клетки исследуемой культуры микроорганизмов, полученной из рудного месторождения, природными механизмами резистентности к токсическому воздействию кобальта.

Материалы и методы исследования

Эксперимент был проведен с использованием смешанной культуры мезофильных ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов (по данным ПЦР-диагностики НИГТЦ ДВО РАН в составе культуры идентифицированы *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Sulfobacillus* spp.). Источником культуры служила окисленная сульфидная кобальт-медно-никелевая руда (месторождение Шануч, Камчатский край, Россия). Для данной руды характерно содержание 60–90 % рудных минералов, где основной минерал – пирротин (60–75 %), менее выражены пентландит (20–25 %), виоларит (до 10 %), халькопирит (до 5 %), пирит (3–5 %); содержание Ni 3,9–4,2 %, Co 0,1 %, Cu 0,6–1,0 % (по данным рентгенофлуоресцентного анализа ЗАО НПК «Геотехнология»).

Количественный учёт клеток проводили прямым подсчетом под микроскопом в 10 полях зрения (микроскоп «Микромед-3», увеличение 1000х). Количество клеток в 1 мл среды рассчитывали по формуле

$$X = N_m \cdot 7{,}56 \cdot 10^6, \quad (1)$$

где X – число клеток в 1 мл, N_m – среднее арифметическое число в m полях зрения, $7{,}56 \cdot 10^6$ – коэффициент, рассчитанный с учетом объема анализируемой пробы (2 мкл), площади покровного стекла (576 мм^2) и площади поля зрения (0,0132 мм^2). В поле зрения микроскопа были видны морфологически однородные полупрозрачные одиночные подвижные палочки.

За окислительной активностью культуры наблюдали путём определения концентраций Fe^{2+} и Fe^{3+} в растворах питательной среды методом трилонометрического титрования трилоном Б. Методика определения Fe^{3+}: в коническую колбу объемом 100 мл приливали 30 мл индикаторного раствора (смесь 20 % сульфосалициловой кислоты и 20 % соляной кислоты в дистиллированной воде) и вносили 1 мл анализируемой среды; нагревали до 70 °С на плитке и титровали раствором трилона Б до перехода окраски из красно-фиолетовой в лимонно-желтую и от одной избыточной капли в бесцветную (1 капля = 0,015 мл). Концентрацию Fe^{3+} (г/л) вычисляли по формуле

$$C_{Fe3+} = (V_{ТБ} \cdot (0{,}025 \cdot 55{,}84) \cdot 1000) : V_{пробы}, \quad (2)$$

где $V_{ТБ}$ – мл израсходованного на титрование раствора трилона Б, 0,025 – молярность трилона Б, 55,84 – атомная масса Fe.

Методика определения Fe^{2+}: раствор, в котором оттитровано трехвалентное железо, вновь нагревали до 70 °С, добавляли 50 мг пероксодисульфата аммония (надсернокислого аммония), кипятили в течение 1 мин. Раствор изменял окраску на красно-фиолетовую, после чего его вновь титровали раствором трилона Б до перехода окраски в лимонно-желтую и от одной избыточной капли в бесцветную.

Добавляли несколько кристаллов надсернокислого аммония для проверки полноты окисления (стабильность окраски). Концентрацию Fe^{2+} вычисляли по той же формуле, что и концентрацию Fe^{3+}.

Адаптация к высоким содержаниям ионов кобальта

Высокие концентрации ионов кобальта были достигнуты добавлением $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ в состав минеральной питательной среды 9К [6], содержащей $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Был получен ряд концентраций: 12, 14, 16, 18, 20 г/л Со.

В колбы Эрленмейера, где была питательная среда (с) с указанными выше концентрациями ионов кобальта, произвели посев культуры (к) ($N_{кл.} = 1{,}2 \cdot 10^8$ кл/мл) в соотношении к:с = 1:10. В том же соотношении культура была внесена в контрольную колбу (К), где содержалась «чистая» среда 9К без ионов кобальта. pH всех сред до посева и культивирования – 1,6.

Посевы культивировали в термостате при 29 °С в течение 5 суток, аэрацию среды осуществляли постоянным перемешиванием с помощью качалки (≈ 110 об/мин). Затем в течение 10 суток культивировали статично (без перемешивания) при комнатной температуре.

Окислительная активность культуры

Окислительную активность исследуемой культуры микроорганизмов рассматривали для образца, адаптированного к 20 г/л ионов Со. На момент окончания адаптации и пересева культуры в «чистую» питательную среду 9К, количество клеток в ней составляло $5{,}6 \cdot 10^7$ кл/мл. Источник железа в среде – $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. В колбы Эрленмейера произвели посев в соотношении к:с = 1:10, в трех повторениях (Со I, Со II, Со III).

Культивировали в течение 7 суток в термостате (29 °С), аэрацию среды осуществляли перемешиванием на качалке (≈ 110 об/мин) в 0–3 и 6–7 сутки эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

Адаптация к высоким содержаниям ионов кобальта

Присутствие ионов кобальта в питательной среде 9К в каждой установленной концентрации (12, 14, 16, 18, 20 г/л) не оказало губительного воздействия на рост культуры микроорганизмов; сохранение жизнеспособности указывает на наличие в клетках природных механизмов резистентности к токсическому воздействию кобальта. С ростом культуры первоначальный pH среды повысился с 1,6 до 2,1–2,3 и оставался таким на протяжении всего периода адаптации.

По данным табл. 1 можно видеть, что ионы кобальта ингибировали рост культуры только в начале или первой половине периода адаптации (1 сутки для концентраций Со 12 и 14 г/л; 1–5 сутки для концентраций Со 16 и 18 г/л; 1–9 сутки для концентрации Со 20 г/л) в сравнении с контрольным ростом в чистой питательной среде. Затем численность клеток в адаптируемых образцах превосходила численность контроля.

Таблица 1

Численность клеток культуры в период адаптации к высоким концентрациям ионов кобальта в питательной среде

Концентрация ионов Со, г/л	Количество клеток, $\cdot 10^7$ кл/мл							
	1 сутки	3 сутки	5 сутки	7 сутки	9 сутки	11 сутки	13 сутки	15 сутки
К (0)	2,1	4,2	4,6	4,6	4,8	4,8	5,2	5,1
12	0,45	4,6	5,0	5,3	5,9	6,2	6,7	7,0
14	1,7	5,7	5,6	5,9	6,2	6,3	6,8	6,8
16	1,5	1,9	2,6	4,6	4,6	5,1	5,6	5,5
18	0,98	1,9	3,1	4,7	5,2	5,8	5,9	6,3
20	1,1	0,98	2,3	3,1	4,4	5,2	5,6	6,5

Таблица 2

Численность клеток адаптированной культуры в «чистой» питательной среде 9К

Сутки	Количество клеток, $\cdot 10^7$ кл/мл			
	К	Со I	Со II	Со III
1	0,68	0,60	0,30	0,30
2	0,50	0,50	0,83	0,50
3	0,84	2,19	1,82	1,63
6	1,74	3,34	1,52	2,12
7	4,02	3,41	2,58	1,90

Для дальнейшего хода исследования (наблюдения за окислительной активностью микроорганизмов) был выбран образец, адаптированный к 20 г/л ионов Co, как устойчивый к самой высокой заявленной концентрации.

Окислительная активность культуры

В «чистой» питательной среде 9К адаптированная культура показывала медленный рост по сравнению с контролем в первые и вторые сутки эксперимента, уже к третьим суткам рост превысил контрольные показатели. К окончанию эксперимента (7 сутки) численность клеток контрольной культуры превосходила численность адаптированной (табл. 2, рис. 1). Показатель pH сохранялся в пределах 2,1–2,3.

Результаты измерений концентраций Fe^{3+} и Fe^{2+} представлены на рис. 2 и 3 соответственно; скорость окисления железа адаптированной культурой значительно превышала скорость окисления контрольной, вероятно, это связано с лучшим ростом клеток в первом случае. Однако для образца Co III характерно небольшое увеличение количества клеток в 3–7 сутки эксперимента, в то же время скорость окисления выше, чем у всех остальных образцов.

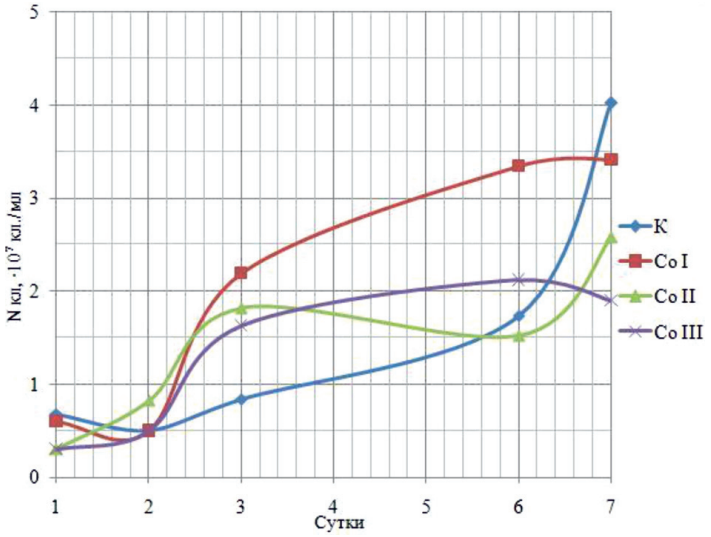


Рис. 1. Численность клеток адаптированной культуры в «чистой» питательной среде в сравнении с контролем

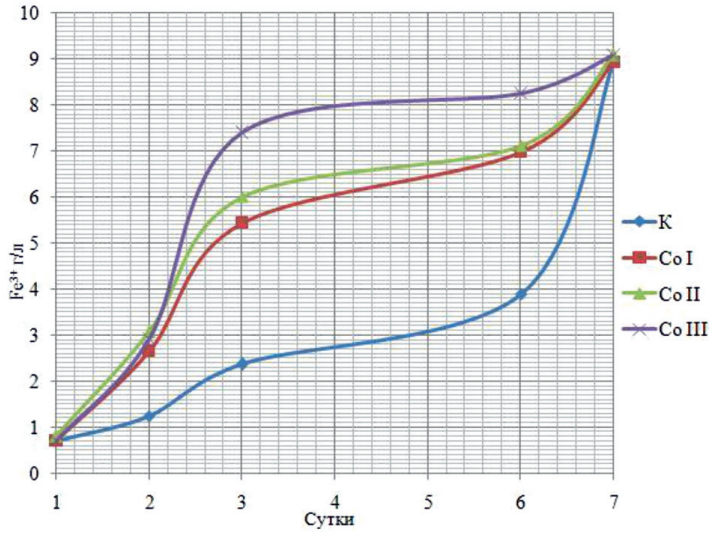


Рис. 2. Изменения концентрации Fe^{3+} (г/л) в питательной среде с адаптированной культурой в сравнении с контролем

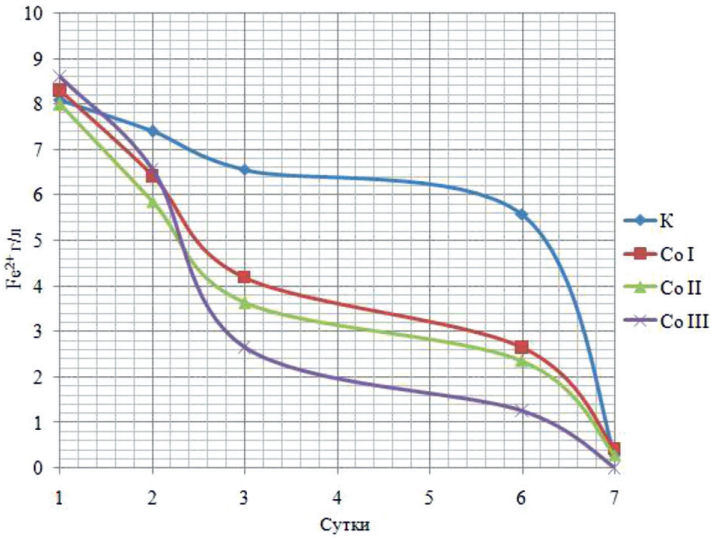


Рис. 3. Изменения концентрации Fe^{2+} (г/л) в питательной среде с адаптированной культурой в сравнении с контролем

Необходимо отметить: несмотря на разницу в скоростях окисления адаптированной и контрольной культурами, железо питательного раствора (Fe^{2+}) было окислено (до Fe^{3+}) полностью или почти полностью к седьмым суткам эксперимента (рис. 3).

Заключение

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

– исследованная смешанная культура мезофильных ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов (включающая *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Sulfobacillus* spp.) оставалась жизнеспособной и сохраняла рост в среде с добавлением ионов кобальта в диапазоне концентраций 12–20 г/л, вероятно клетки данной культуры обладают природными механизмами резистентности к токсическому воздействию кобальта в высоких концентрациях;

– в период адаптации к присутствию ионов кобальта в питательной среде культурой не была утрачена или ослаблена способность к окислению железа, напротив, скорость окисления такой культурой была выше контрольной, не подвергавшейся воздействию высоких концентраций ионов кобальта;

– несмотря на меньшую численность клеток на протяжении почти всего эксперимента и более низкую скорость окисления в сравнении с адаптированной культурой, контрольная культура «завершила» окисление всего доступного железа питательного раствора к седьмым суткам эксперимента, одновременно с адаптированной культурой.

Необходимо продолжать исследования полезного биотехнологического потенциала адаптированной культуры, интересным представляется опыт использования данной культуры в качестве биологического компонента чанового БХВ, потенциально интенсифицирующего биовыщелачивание металлов.

Список литературы / References

1. Das S., Dash H. R. Handbook of Metal-microbe Interactions and Bioremediation. CRC Press, 2017. 813 p.

2. Хомченкова А.С. Исследование влияния различных концентраций солей тяжелых металлов на рост культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № S31. С. 217–222.

Khomchenkova A.S. Study of effect of various concentration salts of heavy metals on growth acidophilic chemolithotrophic microorganisms crop // Mining informational and analytical bulletin. 2016. № S31. P. 217–222 (in Russian).

3. Abhilash, Pandey B.D., Natarajan K.A. Microbiology for minerals, metals, materials and the environment. CRC Press, 2015. 590 p.

4. Хомченкова А.С. Тяжелые металлы и выщелачивающие микроорганизмы (обзор) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № S12. С. 228–236. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-32-228-236.

Khomchenkova A.S. The heavy metals and leaching microorganisms (a review) // Mining informational and analytical bulletin. 2017. № S32. P. 228–236 (in Russian).

5. Norris P.R., Burton N.P., Foulis N.A. Acidophiles in bioreactor mineral processing. Extremophiles. 2000. Vol. 4. № 2. P. 71–76.

6. Каравайко Г.И., Росси Дж., Агате А. и др. Биогеотехнология металлов. Практическое руководство. М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. 375 с.

Karavaiko G.I., Rossi J., Agate A. et al. Biogeotechnology of metals. M.: Centr mezhdunarodnikh proektov GKNT, 1989. 375 p. (in Russian).

УДК 630*232:633.877.2

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Галдина Т.Е.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: invitro11@bk

В статье представлены результаты обследования опытных объектов, заложенных в 1950-е гг. с целью изучения интродукции различных видов лиственниц в условиях Воронежской области. Лиственница издавна привлекает внимание лесоводов как быстрорастущая, устойчивая, декоративная порода, обладающая к тому же высокими физико-механическими свойствами древесины. Большой отечественный опыт лесовыращивания и озеленения свидетельствует, что в зоне смешанных лесов и лесостепи одной из наиболее продуктивных древесных пород является лиственница. Лиственница, произрастая в условиях лесостепи, отличается быстрым ростом, высокими техническими качествами древесины, устойчивостью против вредных климатических влияний и повреждений грибами и насекомыми, резко выраженными водоохранными и защитными свойствами, декоративностью, чем и вызывает особый интерес у лесопромышленников и лесоводов. Географические культуры лиственницы, заложенные Р.И. Дерюжкиным в 1954 г., служат инструментом для детального изучения адаптационной способности данной лесообразующей породы. Изучение особенности произрастания лиственницы в геокультурах служит инструментом для разработки рекомендаций по повышению биоразнообразия и его сохранения в условиях Центральной лесостепи, являются важным резервом повышения продуктивности и устойчивости вновь создаваемых лесов в данном регионе. В статье представлены результаты обследования различных видов лиственницы в условиях $Д_2$ и $В_2$. Даны рекомендации по использованию наиболее перспективных для лесовосстановления в условиях Воронежской области вида и географического происхождения лиственниц. Опираясь на полученные результаты обследования 60-летних геокультур лиственницы различного происхождения, можно твердо утверждать о целесообразности внедрения в лесные культуры, а также для полезащитного лесоразведения в Центральной лесостепи лиственницы сибирской происхождения из Хакассии, Иркутской и Красноярской областей (55–56^0 с.ш.), лиственницы Сукачева из Прибалтики (57–59^0 с.ш.), а также лиственицы европейской из Прибалтики. Внедрение лиственницы в лесостепные условия позволит значительно обогатить видовой состав лесного фонда, повысить их производительность, защитные функции, а соответственно, и устойчивость к условиям данного региона.

Ключевые слова: лиственница, продуктивность лесных культур, географические культуры, сохранность лиственницы в геокультурах, интродукция лиственницы

PECULIARITIES OF LARCH GROWTH IN THE PROVENANCE TRIAL PLANTATIONS OF CENTRAL FOREST-STEPPE

Galdina T.E.

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: invitro11@bk

The article presents the results of experimental objects survey laid in the 1950s with the goal of studying the introduction of various species of larch in the conditions of the Voronezh Region. Larch has attracted the attention of foresters for a long time as one of the fast-growing, stable, decorative species, which also has high physical and mechanical properties of wood. Wide domestic experience of forest growing and gardening shows that larch is one of the most productive tree species in mixed forests and forest-steppe zones. Larch growing in forest-steppe conditions is characterized by rapid growth, high technical qualities of wood, resistance against harmful climatic influences and damage by fungi and insects, sharply expressed water protective properties, ornamentality, which is of interest to timber industry representatives and foresters. Provenance trial plantations of larch, laid by R.I. Deryuzhkin in 1954, serve as a tool for detailed study of the adaptive ability of this forest-forming species. The study of the peculiarities of larch growth in provenance trial plantations serves as a tool to develop recommendations for increasing biodiversity and its preservations in the Central Forest Steppe; it is an important reserve for increasing productivity and sustainability of newly created forests in this region. The article presents the results of inspection of various species of larch under D_2 and B_2 conditions. Recommendations on the use of species which are most promising for reforestation in the Voronezh Region and geographical origin of larches are given. Based on the results of a survey of 60-year-old geocultures of larch of various origins, it is possible to affirm positively the advisability of introducing Siberian larch of Khakassia, Irkutsk and Krasnoyarsk regions` origin (55-560 N) into forest cultures, as well as for field protection of afforestation in the Central forest-steppe, Sukachev's larch from the Baltic (57-590 N), as well as larch of the European from the Baltics. The introduction of larch in the forest-steppe conditions will significantly enrich the species composition of the forest fund, increase their productivity, protective functions, and, accordingly, resistance to the conditions of this region.

Keywords: larch, productivity of forest plantations, provenance trial plantation, larch conservation in trial plantation, introduction of larch

Повышение эффективности лесовосстановления является сегодня важнейшей проблемой лесной отрасли, а также остро актуальной в связи с переходом лесного хозяйства на такую новую ступень развития, как биоэкономика.

Задача лесоводственной науки сводится к тому, чтобы, основываясь на ре-

зультатах научных изысканий и обобщения многолетнего опыта, предоставить производству рекомендации, основанные на репродуктивном решении поставленных целей.

Интродукция древесных растений относится к числу наиболее актуальных проблем лесной отрасли и является одним из слагаемых повышения производительности лесных площадей. Использование существующих в различных лесорастительных районах продуктивных древесных пород приводит к 1,5–2-кратному увеличению продуктивности и сокращению оборотов рубки. Однако неграмотное, без испытания переселение таких же продуктивных древесных пород может привести к такому обратному эффекту, как ослабление древостоя, и как следствие, гибель лесных культур полностью, а значит, снижение лесистости, продуктивности и товарной продукции по программе биоэкономика.

Опыты по испытанию интродуцентов, а именно инорайонных семян при проведении лесохозяйственных работ с целью повышения качества лесного фонда характеризуются столетним периодом [1–3]. В начале двадцатого столетия была проведена целая программа международного масштаба, согласно которой были созданы уникальные объекты географических культур сосны обыкновенной, березы повислой, дуба черешчатого, лиственницы.

Многолетние наблюдения за особенностью роста лиственницы в различных природно-климатических условиях позволили отметить высокую степень вариабельности данного вида, связанной как с происхождением семян, так и самой биологией [4–6].

Цель исследования: провести оценку состояния коллекционно-географических культур лиственницы и представить рекомендации для внедрения в лесокультурную практику Центральной лесостепи с целью обогащения видового состава, а также повышения устойчивости и продуктивности лесного фонда данного региона.

Материалы и методы исследования

Объектом изучения послужили коллекционно-географические культуры лиственниц УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, заложенные под руководством М.М. Вересина с проф. Р.И. Дерюжкина в Правобережном лесничестве 54 квартале и кв. 7 [2]. Опытные объекты закладывались по определенной схеме, каждый вид и происхождение высаживали на отдельном участке 1,5х0,5 м. Опытные объекты закладывали в различных условиях местопроизрастания, с целью определения влияния среды на особенность произрастания.

Данный объект расположен в лесостепной зоне, характеризующейся более теплым, сухим и континентальным климатом. Для этой лесорастительной зоны характерна контрастность элементов климата, а также неустойчивость увлажнения, проявляющаяся в чередовании влажных и засушливых лет. С пятилетней периодичностью наблюдаются одна сильная и одна средняя засухи. Годовое количество осадков примерно в пределах от 600 до 300 мм. Большая часть лесостепной зоны лежит в области преобладания западных ветров – влажных и теплых зимой, влажных и относительно прохладных летом.

Многолетняя среднемесячная относительная влажность воздуха равна 73,7%. Лесостепь – единственная зона умеренного пояса, где климатические условия позволяют существовать одновременно лесу и степи. Однако и леса, и степи лесостепной зоны разнообразны и неповторимы, так как первые имеют мало общего с лесами лесной зоны, вторые – со степями степной ландшафтной зоны.

На отобранных объектах (рис. 1, 2) в 2015 г. (60 лет – биологический возраст) проводили сплошной перечет культур с подробным описанием по определенной форме и учет пустых посадочных мест. Определили сохранность культур. Измеряли у каждого дерева диаметр на высоте груди с точностью до 1 см.

В наиболее характерных рядах измеряли высоту у 25 деревьев. Полученные материалы обрабатывали с использованием статистических программ.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты обследования коллекционно-географических культур позволяют отметить, что на особенность произрастания в тех или иных условиях особое влияние оказывает биология вида, а также прослеживается и влияние происхождения семян (табл. 1 и 2).

Приведенные результаты статистически обработанного материала опытного объекта в квартале 54 свидетельствуют о том, что в условиях центральной лесостепи очень хорошо произрастает лиственница Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.). Она характеризуется

высокими показателями сохранности и продуктивности. На втором месте – лиственница сибирская (*L. sibírica*), которая совсем немного уступает по устойчивости и продуктивности лиственницы Сукачева. Лиственница европейская (*L. decídua*) заняла третью ступень. Совершенно нельзя рекомендовать для внедрения в лесокультурную практику лиственницу Даурскую. Устойчивость лиственницы Даурской (*L. dahurica*) к условиям центральной лесостепи очень слабая.

а) *б)*

Рис. 1. Лиственница в кв. 54 Правобережного лесничества УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова: а) Лиственница Сукачева (Laxix sukaczewii Djil. L.), б) Лиственница сибирская (Lárix sibírica L.)

а) *б)*

Рис. 2. Лиственница в кв. 7 Животиновского лесничества УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова: а) Лиственница Сукачева (Laxix sukaczewii Djil. L.), б) Лиственница сибирская (Lárix sibírica L.)

Таблица 1

Таксационная характеристика лиственниц произрастающих в 54 кв. Правобережного лесничества УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

Происхождение (область, район)	Координаты, С.Ш.	Таксационные показатели на момент обследования										
		Сохранность, %	Диаметр, см						Средняя высота, м	Бонитет	Колич. стволов на 1 га, шт	Запас, м³/га
			min	max	μ_{CP}	±m	$c = \frac{\sigma}{\mu_{CP}}$	$t = \frac{\mu_{CP}}{\pm m}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Лиственница сибирская (*Lárix sibírica* L.)												
1. Иркутская	56–59⁰	10	11	34	18,8	0,68	0,26	27,65	24,7	1а	1275	409
2. Иркутская	54–56⁰	9	12	29	19,1	0,47	0,22	40,64	22,3	1	1157	345
3. Иркутская	52–54⁰	10	12	26	18,2	0,38	0,20	47,89	21,9	1	1371	369
4. Алтай	49⁰	6	10	33	20,5	1,07	0,30	19,16	24,0	1а	800	297
5. Хакассия	53–55⁰	9	12	27	19,4	0,56	0,22	34,64	23,1	1	1180	387
6. Тувинский	51–52⁰	8	9	33	20,6	1,08	0,31	18,15	23,4	1	1033	358
7. Красноярск	55–56⁰	10	10	32	18,6	0,59	0,28	31,53	22,7	1	1267	395
8. Хакассия (горно-степной)		8	12	29	21,1	1,17	0,25	18,03	20,3	1	1000	392
9. Хакассия (горно-травяной)		11	12	29	19,7	0,68	0,23	28,97	19,9	1	1467	491
10. Хакассия (травяной)		14	9	29	18,3	0,64	0,26	28,59	20,4	1	1900	579
Лиственница Сукачева (*Laxix sukaczewii* Djil. L.)												
1. Архангельская	61–64⁰	8	11	31	20,1	0,79	0,26	25,44	21,3	1	1075	401
2. Свердловская		10	11	34	18,4	0,47	0,25	39,15	22,3	1	1371	419
3. Ивановокалинин	57–58⁰	10	12	41	19,9	0,72	0,27	27,64	21,5	1	1375	480
4. Прибалтика	57–59⁰	9	10	38	21,3	0,89	0,32	23,93	22,6	1	1140	505
5. Львовская и Челябинская	55⁰	9	12	39	21,4	0,85	0,24	24,0	22,7	1	1133	449
Лиственница европейская (*Lárix decídua* L.)												
Львовская и Прибалтика		10	9	43	21,1	0,67	0,31	31,49	23,3	1	1371	577
Лиственница Даурская (*Larix dahurica* L.)												
Бурят-Монголия		2	9	28	18,5	1,92	0,36	9,64	19,8	1	200	63

Анализируя влияние происхождения на особенности произрастания в Центральной лесостепи в условия свежей дубравы (табл. 1), следует отметить, что высокой сохранностью характеризуется лиственница сибирская (*L. sibírica*) происхождения из Хакассии (53⁰–55⁰ с.ш.), Иркутска (54⁰–56⁰ с.ш.) и Красноярска (55⁰–56⁰ с.ш.) (сохранность составляет 10–14%), плохо сохранилась лиственница из Алтая (сохранность – 6%). Высокими показателями продуктивности характеризуются происхождения из Тувинской области, из Хакассии и Алтая (D = 21,0 см, запас на 1 га 491–579 м³).

Лиственница Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.) характеризуется следующими параметрами: лучшие показатели по сохранности отмечены у происхождений из Свердловской области и Иванова (12%). По среднему диаметру высокими показателями характеризуются происхождения из Прибалтики (57–59⁰ с.ш.) и Челябинской области (55⁰) ($d_{ср}$ = 21,3 и 21,4 см соответственно). Худшие показатели для данного региона отмечены у лиственницы Сукачева (*L. sukaczewii* Djil. L.) происхождения из Архангельска (61⁰–64⁰ с.ш.). Наибольшим запасом на 1 га характеризуется лиственница Сукачева (*L. sukaczewii* Djil. L.) из Прибалтики (505 м³).

У лиственницы европейской (*L. decídua*) Прибалтийского происхождения, произрастающей в условиях Центральной лесостепи Воронежской области, отмечены высокие показатели по устойчивости и продуктивности (табл. 1).

Таблица 2

Таксационная характеристика лиственниц произрастающих в 7 кв. Животиновского лесничества УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

Происхожде-ние (область, район)	Коор-дина-ты, СШ	Таксационные показатели на момент обследования										
		Сохран-ность, %	Диаметр, см						Средняя высота, м	Бонитет	Колич. стволов на 1 га, шт	Запас, м³/га
			min	max	μ_{CP}	±m	$c = \frac{\sigma}{\mu_{CP}}$	$t = \frac{\mu_{CP}}{\pm m}$				
Лиственница сибирская (*Lárix sibírica*)												
1. Иркутская	56–59⁰	5	11	36	22,4	1,25	0,29	17,92	21,2	1а	650	319
2. Иркутская	54–56⁰	4	13	40	23,8	1,0	0,28	23,8	22,5	1а	550	284
3. Хакассия	53–55⁰	7	10	34	21,7	1,02	0,28	21,28	21,8	1а	875	404
4. Хакассия (горно-степной)		2,5	14	36	23,6	2,06	0,32	11,46	20,8	1	325	176
5. Красноярск	55–56⁰	3	12	53	22,6	2,68	0,48	8,43	21,2	1а	400	220
Лиственница Сукачева (*Laxix sukaczewii* Djil.)												
1. Архангельская	61–64⁰	2	12	34	22,6	2,63	0,33	8,59	20,6	1	200	92
2. Молотовская	57–58⁰	8	9	39	20,6	1,11	0,36	18,56	21,1	1а	1125	455
3. Свердловская		7	12	44	21,0	0,96	0,29	21,88	20,1	1	975	375
4. Прибалтика	57–59⁰	7	10	45	25,6	1,64	0,39	15,61	22,4	1а	975	612

Лиственница Даурская (*L. dahurica*) из Бурят-Монголии, произрастая в условиях Центральной лесостепи, характеризуется низкими таксационными показателями (табл. 1). На всей пробной площади сохранилось не более 2% экземпляров.

Таким образом, на рост и продуктивность лиственниц различного вида существенное влияние оказывают видовая принадлежность и географическое положение материнского насаждения, с которого собраны семена для посева. По полученным показателям в комплексе можно отметить, что наилучшие результаты среди лиственниц, произрастающих в Правобережном лесничестве в условиях свежей дубравы, дали экотипы лиственницы Сибирской (*L. sibírica*) из Иркутской области 56–59° с.ш. – сохранность – 10%, $d_{ср}$ = 18,8 см, $H_{ср}$ = 24,7 м, М = 409 м³ , из Хакассии (травяной) (сохранность – 14%, $d_{ср}$ = 18,3 см, $H_{ср}$ = 20,4 м, М = 579 м³), лиственницы европейской из Львовской области и Прибалтики (сохранность 10%, $d_{ср}$ = 21,1 см, $H_{ср}$ = 23,3 м, М = 577 м³). Однако неплохие результаты имеет и лиственница сибирская (*L. sibírica*) Хакасского, Красноярского происхождения, а также лиственница Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.) из Прибалтики 57–59° с.ш. (сохранность 9%, $d_{ср}$ = 21,3 см, $H_{ср}$ = 22,6 м, М = 505 м³).

Из табл. 2 также видна разница в таксационных показателях. У сибирской лиственницы (*L. sibírica*) лучший результат отмечен у экотипа из Хакассии (сохранность 7%, $d_{ср}$ = 21,7 см, $H_{ср}$ = 21,8 м, М = 404 м³) и Иркутской области 56–59° с. ш. (сохранность 5%, $d_{ср}$ = 22,4 см, $H_{ср}$ = 21,2 м, М = 319 м³), так как эти виды отличаются большим отпадом, и как следствие, большим диаметром и высотой. Менее продуктивной оказалась лиственница из Хакассии (горно-степной тип леса) – сохранность составила 2,5%, $d_{ср}$ = 23,6 см, $H_{ср}$ = 20,8 м, М = 176 м³. Среди лиственниц Сукачева (L. sukaczewii Djil.) лучшей является лиственница из Прибалтики (сохранность 7%, $d_{ср}$ = 25,6 см, $H_{ср}$ = 22,4 м, М = 612 м³) и Молотовской области (сохранность 8%, $d_{ср}$ = 20,6 см, $H_{ср}$ = 21,1 м, М = 455 м³). Самые низкие показатели у лиственницы Архангельского происхождения (сохранность 2%, $d_{ср}$ = 22,6 см, $H_{ср}$ = 20,6 м, М = 92 м³), имеющей очень маленькую сохранность в данных условиях.

Таким образом в Животиновском лесничестве условиях свежей субори лучшими явились экотипы лиственницы Сукачева (L. sukaczewii Djil.) происхождением из Прибалтики 57–59° с.ш. – сохранность 7%, $d_{ср}$ = 25,6 см, $H_{ср}$ = 22,4 м, М = 612 м³. Также следует отметить лиственницу сибирскую из Иркутской области 56–59° с.ш. и Хакассии 53–55° с ш., имеющих запас 319 и 404 м³/га.

Сравнивая продуктивность разных видов лиственниц, произрастающих в различных условиях произрастания, можно отметить,

что лиственница сибирская происхождением из Иркутской области 56–59° с.ш. в условиях и $Д_2$ и $В_2$ показала хорошие результаты. Также неплохие результаты в указанных условиях дал экотип из Хакассии.

Необходимо отметить и лиственницу Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.) происхождением из Прибалтики и Молотовской области, тоже показавшим достойные результаты. Резко отличаются показатели лиственницы Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.) из Архангельской области. В Животиновском лесничестве в условиях $В_2$ этот вид дал не очень хорошие результаты (сохранность – 2%, $d_{ср}$ = 22,6 см, $Н_{ср}$ = 20,6 м, М = 92 м^3).

Выводы

Лесные культуры закладываются на многие десятилетия, и допущенная при закладке ошибка не может быть исправлена в течение одного или даже двух поколений человеческой жизни. Поэтому существенно важно обосновать выбор культивируемых древесных пород.

Для пополнения и обогащения видового состава, повышения функционального значения древесных насаждений в Центральной лесостепи и повышения их продуктивности следует внедрять в лесокультурное производство такие древесные породы, которые характеризуются наилучшими показателями продуктивности, а также высокой устойчивостью к почвенно-климатическим условиям данного региона [2]. Лиственница, произрастая в условиях Центральной лесостепи, характеризуется достаточно высокими показателями, как по быстроте роста, так и по устойчивости к условиям произрастания данного региона, что подтверждает ценность внедрения этого вида древесной породы для лесовосстановления в лесостепных условиях.

Опираясь на полученные результаты обследования 60-летних геокультур лиственницы различного происхождения, можно твердо утверждать о целесообразности внедрения в лесные культуры, а также для полезащитного лесоразведения в Центральной лесостепи лиственницы Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.), лиственницы сибирской (*L. sibírica*).

С учетом географического происхождения рекомендуется завозить семена для создания искусственных насаждений в центральной лесостепи лиственницы сибирской (*L. sibírica*) из Хакассии, Иркутской и Красноярской областей (55–56^0 с.ш.), лиственницы Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.) из Прибалтики (57–59^0 с.ш.), а также лиственницы европейской (*L. decídua*) из Прибалтики.

Геогультуры лиственниц Сукачева (*L. sukaczewii* Djil.), сибирской (*L. sibírica*), европейской (*L. decídua*), Даурской (*L. dahurica*), произрастающие в условиях Центральной лесостепи отражают общую картину обособления видовой популяции как следствие длительной эволюции. Популяции лиственниц различаются биологическими и экологическими свойствами и хозяйственно ценными признаками, которые строго сохраняются при интродуцировании за пределами естественного ареала.

Список литературы / References

1. Галдина Т.Е., Романова М.М. Исследование особенности роста географических культур сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. URL: http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/60.pdf (дата обращения: 31.10.2018). DOI: 10.21515/1990-4665-127-060.

Galdina T.E., Romanova M.M. Studying the Growth Characteristics of Pine Geographical Cultures in the Central Forest-Steppe // Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2017. № 127. URL: http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/60.pdf (date of address 31.10.2018) (in Russian).

2. Галдина Т.Е., Токорева М.О. Современное состояние географических культур лиственницы в Центральной лесостепи // Лесотехнический журнал. 2012. № 1. С. 95–99.

Galdina T.E., Tokoreva M.O. The present state of geographical cultures of larch in the central forest-steppe // Lesotekhnichesky zhurnal. 2012. № 1. P. 95–99 (in Russian).

3. Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182.

Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Melnik P.G. Growing geographic trial provenances of the Scots pine in Serebryany Bor forestry // Lesovedenie. 2017. № 3. P. 176–182 (in Russian).

4. Пак Л.Н. Географические культуры как объект сохранения биологического разнообразия лиственницы в Забайкальском крае // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 61–65.

Pak L.N. Geographic cultures as an object of conservation of the biological diversity of larch in the Transbaikalian Territory // Advances in current natural sciences. 2017. № 5. P. 61–65 (in Russian).

5. Пак Л.Н., Бобринев В.П. Географические культуры лиственницы 1980 года посадки в Забайкальском крае // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 1 (21). С. 44–52. DOI: 10.12737/18726.

Pak L.N., Bobrinev V.P. Geographical cultures of larch of 1980 planting in Transbaikalian edge // Lesotekhnichesky journal. 2016. V. 6. № 1 (21). P. 44–52 (in Russian).

6. Филатов В.Н., Кабанов С.В., Заигралова Г.Н. Рост и состояние видов лиственницы в географических культурах Базарно-Карабулакского лесничества Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2016. № 5. С. 35–40.

Filatov V.N., Kabanov S.V., Zaigralova G.N. Growth and condition of larch species in the geographical cultures of the Bazarno-Karabulaksky forestry of the Saratov region // Agrarian scientific journal. 2016. № 5. P. 35–40 (in Russian).

УДК 633.72:631.4:631.8:631.6(470.621)

СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ЧАЙНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ АДЫГЕИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Добежина С.В.

ФГБНУ ВНИИ цветоводства и субтропических культур, Сочи, e-mail: svetlanadob@yandex.ru

Использование мелкодисперсного орошения на чайных плантациях в условиях Адыгеи показало высокую эффективность этого метода. Под влиянием полива урожайность чайных насаждений возросла в среднем за три года на 65% и составила 56,25 ц/га, тогда как без полива – 34,09 ц/га. Влажность почвы поддерживалась в оптимальном диапазоне (72–84,7% от наименьшей влагоемкости), тогда как без полива установлен дефицит влаги у растений чая (влажность почвы снизилась до 47,6% от наименьшей влагоемкости). На основе агрохимического обследования установлено, что почва опытного участка – бурая лесная слабоненасыщенная, сформированная на делювиальных суглинках. По степени кислотности входит в разряд среднекислых (pH kcl 4,30 ± 0,21…4,67 ± 0,55), степень насыщенности основаниями увеличивается с глубиной (14,36…52,26%). До закладки опыта почва имела низкую обеспеченность азотом, фосфором и калием. Внесение минеральных удобрений повысило уровень обеспеченности элементами питания в начале листосборного периода в слое 0–20 см до среднего: $N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$ 29,22…31,15 мг/100 г почвы; подвижного фосфора 20,25…28,09 мг/100 г почвы; подвижного калия 12,37…13,34 мг/100 г почвы. Результаты дисперсионного анализа показали, что до поливов (май, июль) различий между вариантами не выявлено. После поливов в конце листосборного периода происходит существенное снижение подвижных соединений фосфора (Fфакт = 16,34 > Fтабл. = 4,49) и калия (Fфакт = 11,86 > Fтабл. = 4,49). Значительное снижение, по сравнению с контролем, содержания минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы также отмечено в конце листосборного периода, что обусловлено более интенсивным выносом этого элемента при возросшей массе урожая.

Ключевые слова: почвы, Адыгея, элементы питания (N, P, K), чай, удобрения, мелкодисперсное орошение

CONTENTS OF MAIN NUTRITION ELEMENTS IN SOIL UNDER TYPICAL TEA PLANTINGS OF ADYGEA UNDER IRRIGATION CONDITIONS

Dobezhina S.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi, e-mail: svetlanadob@yandex

The use of fine irrigation on tea plantations in Adygea showed its high efficiency. Under the influence of irrigation, the tea yield increased by 65% over three years and amounted to 56.25 centner / ha, whereas without irrigation it was 34.09 centner / ha. The soil moisture was maintained in the optimal range (72-84.7% of the lowest moisture capacity), whereas without irrigation a water deficit in tea plants was observed (soil moisture decreased to 47.6% of lowest moisture capacity). Agrochemical survey showed that the soil of the experimental plot is brown forest, slightly unsaturated, formed on talus loams. According to the degree of acidity, it belongs to medium-acid soils (pH kcl 4.30 ± 0.21 ... 4.67 ± 0.55), the degree of saturation with bases increases with its depth (14.36 ... 52.26%). Before starting the experiments, the soil was low in nitrogen, phosphorus, and potassium. The application of mineral fertilizers increased the level of nutrients supply at the beginning of the leaf-collecting period in the 0-20 cm layer to the average: N-NO3 + N-NH4 29,22 ... 31,15 mg / 100 g soil; mobile phosphorus 20.25 ... 28.09 mg / 100 g of soil; mobile potassium 12.37 ... 13.34 mg / 100g of soil. The results of ANOVA test showed that before irrigation (May, July) no differences were found between the variants. After irrigation, at the end of the harvesting period, there was a significant decrease in mobile phosphorus (F fact = 16.34> F tab. = 4.49) and potassium (F fact = 11.86> F tab. = 4.49) contents. A significant decrease of mineral forms of nitrogen in the root zone in comparison with the control was also observed at the end of the harvesting period due to the intensive removal of this element with an increased yield mass.

Keywords: soil, Adygea, macroelements (N, P, K), tea, fertilizers, fine-dispersed irrigation

Современное агротехническое и мелиоративное состояние почв под чайными насаждениями в Республике Адыгея свидетельствует о недостаточно рациональном подходе к решению проблем, возникающих при использовании земельных и водных ресурсов, что ведет к низкой по зоне урожайности (20 ± 5 ц/га). Одним из основных приемов интенсификации чаеводства в Республике Адыгея является орошение и внесение минеральных удобрений. В условиях дефицита водных и энергетических ресурсов требуется разработка современных ресурсосберегающих экологически безопасных технологий [1, 2].

Научные исследования и практика показывают, что на некоторых мелиоративных системах происходит развитие процессов, ухудшающих физические свойства почвы, потеря комковато-зернистой структуры, развитие слитизации, увеличение удельной и объемной плотности, снижение влагонакопительной способности и аэрации. При орошении большими поливными нормами часто происходит вымывание подвижных питательных элементов, органических кис-

лот и минеральных коллоидов в нижележащие горизонты, снижение гумуса в почвах [3–5]. По данным Кудеярова (1984), с 1 мм смытой почвы с гектара выносится 10–20 кг азота, 10 кг фосфора и 100–200 кг связанного углерода [6].

Чайные плантации Адыгеи размещены на склонах гор и в холмистой местности, поэтому важно при выборе способа орошения учитывать фактор ирригационной эрозии.

Наиболее перспективным ресурсосберегающим способом полива является мелкодисперсное орошение. Мелкодиспергированная вода увлажняет приземный слой воздуха, надземную часть растений и частично поверхность почвы. При этом способе значительно снижается норма полива, полностью отсутствует поверхностный сток и глубинная фильтрация, сохраняется структура и физические свойства почвы [7]. Создается благоприятный микроклимат в экосистеме чайного куста: понижается температура воздуха на уровне чайной шпалеры до оптимальных значений 23–25 °С, увеличивается относительная влажность воздуха на 15–30 %, влажность почвы поддерживается в диапазоне 77,8–82,3 % от наименьшей влагоемкости, при котором корневая система растений не испытывает недостатка влаги [8].

Цель исследования: изучить влияние мелкодисперсного способа полива на продуктивность культуры чая и питательный режим в агроценозе чайной плантации в предгорных условиях Адыгеи.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в 2015–2018 гг. в Майкопском районе на базе Адыгейского филиала ФГБНУ ВНИИЦиСК на полновозрастных чайных плантациях сорта-популяции «Кимынь». Схема опыта наложена в 2016 г. и включала следующие варианты:

Вариант I – контроль (без орошения) + N250 P100 K100 кг/га д.в.

Вариант II – мелкодисперсное орошение с разовой поливной нормой 20 м^3/га + + N250 P100 K100 кг/га д.в.

Схема посадки 1,5×0,33 м. Опытные делянки по 15 растений (5 погонных метров) в трёхкратной повторности.

Удобрения внесены согласно методическим указаниям по технологии возделывания чая [9]: перед началом вегетации (в апреле) внесено 60 % азота, 100 % фосфора и калия с заделкой в почву, подкормка (40 % азота) проведена в июне. В качестве удобрения использовалась нитроаммофоска с добавлением аммиачной селитры при основном внесении. Дозы удобрений установлены после агрохимического обследования почвы опытного участка с учётом урожайности плантации и уровня обеспеченности элементами питания перед закладкой опыта, согласно существующим рекомендациям [9, 10].

Мелкодисперсный полив (МДП) осуществлялся с помощью снегогенератора (снежной пушки) (рис. 1), возможности которого заключаются не только в производстве снега зимой, но и мелкодисперсном орошении летом, при котором корректируются параметры окружающей среды (температура воздуха, относительная влажность воздуха и почвы).

Рис. 1. Снегогенератор (снежная пушка) модель ESG-305 в работе

В критические для чайного растения периоды (июль, август), сопровождающиеся высокими температурами воздуха (30…38 °С) и отсутствием осадков, был проведен мелкодисперсный полив продолжительностью по 10 мин каждый час с интервалом 50 мин с 11 до 16 ч.

До закладки опыта и внесения удобрений на опытном участке в 2015 г. проведено почвенное обследование, отобраны образцы почвы на глубину 0–20, 20–40, 40–60 см с 15 точек, в которых определены следующие свойства: pHkcl – потенциометрическим методом; гумус – по Тюрину в модификации Орлова и Гриндель; подвижный фосфор и калий − по Ониани; гидролитическую кислотность (Нг) – по Каппену; сумму обменных оснований (S) – по Каппену и Гильковицу; степень поглощенных оснований (V) – расчетным методом [11]. Водно-физические свойства почвы определены по разрезу: гранулометрический состав почвы – по Качинскому; наименьшую влагоемкость – методом рам, объемную массу – методом колец [12].

Для изучения влияния орошения на динамику содержания основных элементов питания (N, P, K) на опытном участке в 2016–2018 гг. по вариантам опыта отобраны почвенные образцы на глубину 0–20, 20–40, 40–60 см в течение листосборного периода май, июль, сентябрь. В почвенных образцах определяли: нитратный азот – дисульфофеноловой кислотой; аммиачный азот – реактивом Несслера; подвижный фосфор – по Ониани; подвижный калий – по Ониани [11]. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом. Образцы почвы отбирали на глубину корнеобитаемого слоя 0,6 м, послойно через 0,1 м на стационарных площадках до и после поливов, а также в течение листосборного сезона в зависимости от метеоусловий года [12]. Сбор и учет урожая проводили с мая по сентябрь согласно методическим указаниям по технологии возделывания чая [9]. Анализ метеорологических показателей проведен по данным метеостанции Майкопской опытной станции (МОС) ВИР. Обработка результатов исследований проведена с применением пакета программ Statistika-6.0 и Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате почвенного обследования опытного участка установлено, что почва – бурая лесная слабоненасыщенная, малогумусная, сформированная на делювиальных суглинках. В табл. 1 приведены средние статистические показатели кислотно-основных свойств, содержания гумуса и подвижных форм питательных элементов в почве до закладки опыта.

Исследуемая почва по степени кислотности входит в разряд среднекислых, степень насыщенности основаниями увеличивается с глубиной, что позволяет отнести ее к подтипу бурых лесных слабоненасыщенных. По гранулометрическому составу она классифицируется до глубины 50 см как легкосуглинистая, и среднесуглинистая ниже 50 см. По степени плотности почва характеризуется как рыхлая (объемная масса увеличивается с глубиной 1,0–1,27 г/см^3).

В соответствии с ориентировочными градациями обеспеченности почв основными элементами питания почва имела низкую обеспеченность фосфором и калием на всю глубину корнеобитаемого слоя 0–60 см [9, 10].

Содержание подвижных форм питательных элементов в почвах изменяется в течение вегетационного периода под влиянием минеральных удобрений и орошения. Основным критерием эффективности этих агротехнических мероприятий является прибавка урожая.

До закладки опыта в 2015 г. средняя урожайность чайной плантации без полива и внесения удобрений составила 24,03 ± 0,80 ц/га.

Исследования 2016–2018 гг. показали, что мелкодисперсное орошение на фоне внесения минеральных удобрений в дозах N250 P100 K100 кг/га д.в. существенно увеличило продуктивность чайной плантации. В среднем за 3 года прибавка урожая составила 65 % (табл. 2).

Таблица 1

Агрохимические свойства бурой лесной почвы опытного участка, 22.05.2015 г.

Глубина, см	pH kcl	Гумус,%	P_2O_5	K_2O	Hг	S	V, %
			по Ониани, мг/100 г		мг-экв/100 г почвы		
0–20	4,30 ± 0,21	2,92 ± 0,61	17,42 ± 3,85	8,24 ± 2,20	12,28 ± 0,53	2,06 ± 0,95	14,36
20–40	4,63 ± 0,45	1,76 ± 0,30	12,70 ± 0,95	5,45 ± 0,99	4,87 ± 0,34	2,57 ± 0,86	34,54
40–60	4,67 ± 0,55	0,46 ± 0,40	9,32 ± 0,61	5,24 ± 3,04	4,33 ± 0,19	4,74 ± 0,74	52,26

Таблица 2

Урожайность чайной плантации, ц/га, 2016–2018 гг.

Вариант	Урожай, ц/га			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Средний за 3 года
Контроль	39,5 ± 0,90	34,87 ± 0,31	27,62 ± 0,73	34,09
Полив	71,4 ± 0,25	46,24 ± 0,56	51,12 ± 0,99	56,25
% к контролю	180	133	185	165
Сумма осадков за период вегетации, в мм	704	476	395	

Примечание. $НСР_{05}$ = 9,04.

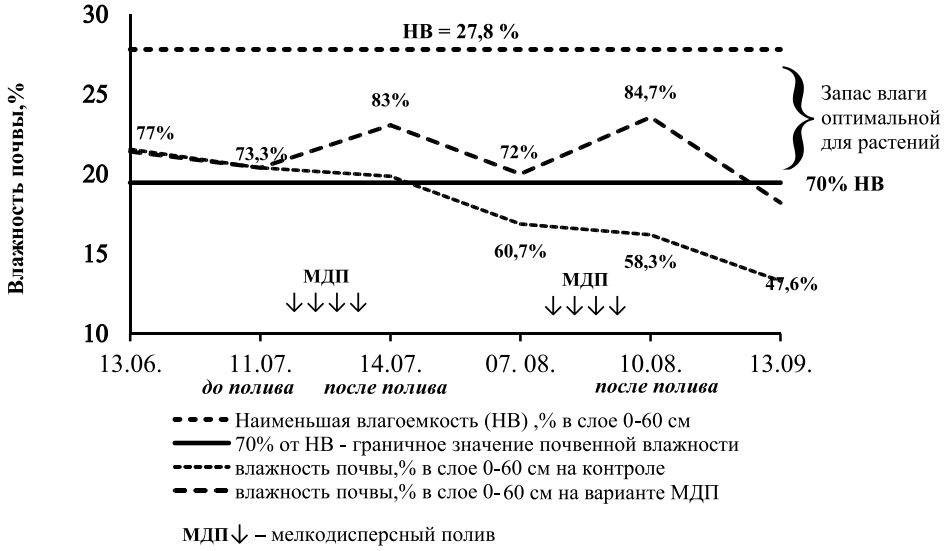


Рис. 2. Влияние мелкодисперсного полива на влажность почвы (данные 2017 г.)

Результаты дисперсионного анализа данных урожайности за три года показали, что между вариантами есть существенные различия, о чем свидетельствуют коэффициент Фишера фактический, значение которого выше табличного (Fфакт = 27,05 > Fтабл = 4,49).

Между урожайностью на контроле и количеством осадков выявлена тесная корреляционная связь (r = 0,989).

Установлено влияние мелкодисперсного полива на влажность почвы в корнеобитаемом слое растений чая (0–60 см) (рис. 2 на примере 2017 г.).

Оптимальной для большинства растений является влажность почвы в диапазоне от 70 до 100% наименьшей влагоемкости (НВ). Влажность почвы ниже 70% от НВ – это граничное значение влажности, при которой начинается угнетение ростовых процессов и снижение урожайности.

Своевременный мелкодисперсный полив растений чая способствовал поддержанию запасов почвенной влаги в оптимальном диапазоне (72–84,7% от НВ), тогда как без полива влажность почвы с середины июля опустилась ниже граничного значения (70% НВ) и достигла минимума в сентябре 47,6% от НВ.

В табл. 3, 4 представлены данные по содержанию подвижных форм фосфора и калия в динамике листосборного периода чая по вариантам опыта.

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению уровня обеспеченности подвижным фосфором и калием в верхнем слое (0–20 см) в начале листосборного периода до среднего (уровень обеспеченности по методу Ониани: фосфор подвижный 15–30 мг/100 г почвы; калий подвижный 10–15 мг/100 г почвы [9]).

Дисперсионный анализ данных не выявил существенных различий между вариантами по содержанию фосфора до полива в мае (Fфакт = 0,13 < Fтабл. = 4,49) и июле (Fфакт = 0,01 < Fтабл. = 4,49). К концу листосборного периода (сентябрь) на варианте с поливом происходит существенное снижение подвижных форм фосфора по сравнению с контролем. Различие между вариантами подтверждается коэффициентами Фишера: Fфакт = 16,34 > Fтабл. = 4,49.

Аналогичная тенденция отмечается и по содержанию подвижного калия. До полива различия по вариантам несущественны (май Fфакт = 0,82 < Fтабл. = 4,49; июль Fфакт = 3,32 < Fтабл. = 4,49), после полива – существенны (сентябрь Fфакт = 11,86 > Fтабл. = 4,49).

Таким образом, на орошаемых вариантах происходит усиленный вынос питательных элементов, что сопряжено с возросшей массой урожая чая.

Источником азотного питания растений является нитратный и аммиачный азот. Ранневесенние запасы их в почве под чайными насаждениями весьма незначительны (по данным 2016 г.):

в слое почвы	0–20 см	20–40 см
$N\text{-}NH^{4+}$ (в кг/га)	96,40	83,74
$N\text{-}NO^{3-}$ (в кг/га)	72,00	32,86

Указанные уровни недостаточны для получения высокого урожая чайного листа.

К тому же чай – листосборная культура, которая выносит большое количество азота с зеленой массой, поэтому азотным удобрениям принадлежит первостепенная роль при формировании урожая.

На рис. 3 и 4 представлено распределение по профилю почвы минеральных форм азота на чайной плантации на примере 2017 г. В 2016 и 2018 гг. наблюдалась аналогичная тенденция.

Таблица 3

Содержание подвижного фосфора в почве в динамике листосборного сезона, в мг/100 г почвы

Вариант	Глубина, см	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
		V	VII	IX	V	VII	IX	V	VII	IX
Контроль	0–20	26,69	17,26	9,26	26,05	18,22	9,03	20,32	16,99	17,11
	20–40	13,63	13,49	7,18	16,00	10,08	11,02	15,05	7,07	12,36
	40–60	9,34	11,11	8,57	9,82	6,87	7,29	11,36	4,11	9,80
МДП	0–20	26,87	17,16	3,28	28,09	21,79	9,11	20,25	10,73	5,55
	20–40	15,14	14,48	6,14	16,18	10,32	5,49	8,40	12,68	3,64
	40–60	7,18	6,39	10,2	10,05	5,54	6,02	4,36	8,46	2,48

Примечание. $НСР_{05}$: май – 7,60; июль – 5,18; сентябрь – 2,20.

Таблица 4

Содержание подвижного калия в почве в динамике листосборного сезона, в мг/100 г почвы

Вариант	Глубина, см	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
		V	VII	IX	V	VII	IX	V	VII	IX
Контроль	0–20	12,97	10,58	8,25	12,37	6,45	6,22	12,28	10,92	7,21
	20–40	10,30	8,43	7,85	11,16	5,42	5,36	10,18	9,78	7,21
	40–60	7,98	8,53	7,42	8,63	5,46	4,22	9,67	8,68	7,21
МДП	0–20	12,74	10,50	5,98	13,24	5,36	4,18	12,21	7,14	6,70
	20–40	9,32	7,90	5,30	10,35	4,26	3,33	7,71	7,21	5,54
	40–60	5,88	5,86	4,36	8,72	4,35	3,34	6,71	6,18	4,30

Примечание. $НСР_{05}$: май – 2,25; июль – 2,01; сентябрь – 1,23.

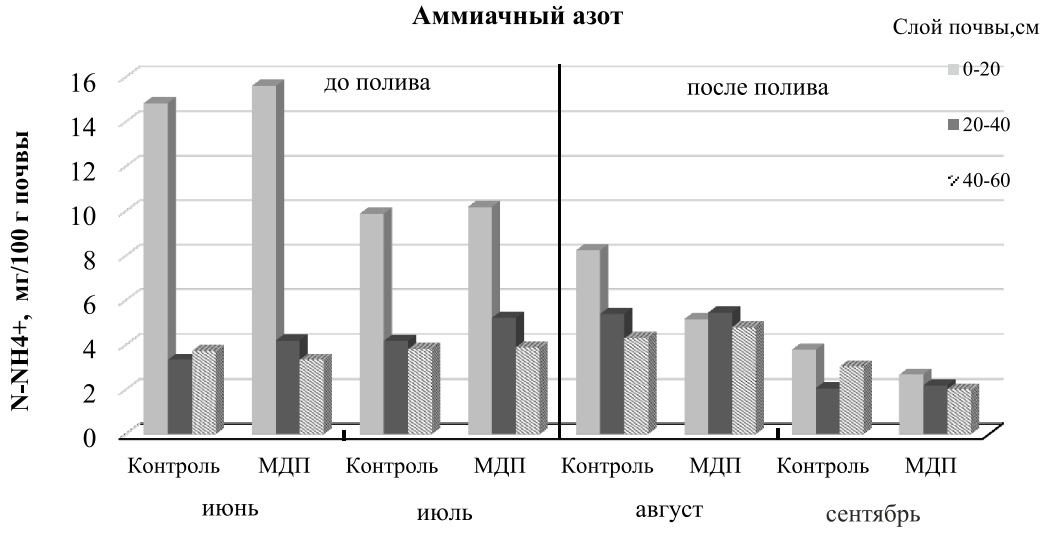


Рис. 3. Распределение аммиачного азота по профилю почвы в динамике листосборного периода чая, 2017 г.

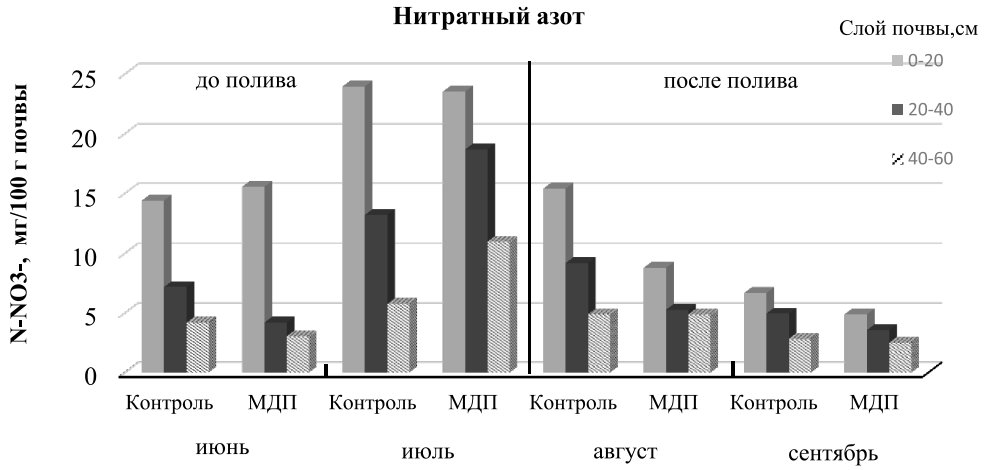


Рис. 4. Распределение нитратного азота по профилю почвы в динамике листосборного периода чая, 2017 г.

Большая часть как аммиачного, так и нитратного азота сосредоточена в 20-сантиметровом слое почвы. В июле после июньской подкормки заметно возросло содержание нитратного азота. До полива существенных различий между вариантами не наблюдалось. Значительное снижение, по сравнению с контролем, содержания минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы отмечено в конце листосборного периода на варианте с поливом, что обусловлено более интенсивным выносом этого элемента при возросшей массе урожая.

Заключение

Использование мелкодисперсного полива на чайных плантациях в условиях Адыгеи показало высокую эффективность этого метода. Под влиянием полива урожайность чайных насаждений возросла в среднем за три года на 65% и составила 56,25 ц/га, тогда как без полива – 34,09 ц/га. Влажность почвы поддерживалась в оптимальном диапазоне 72–84,7% от наименьшей влагоемкости, при котором растения чая не испытывают недостатка влаги. Установлено существенное снижение в конце листосбрного периода содержания подвижных форм основных элементов питания (N, P, K), что сопряжено с возросшей массой урожая.

Список литературы / References

1. Добежина С.В., Беседина Т.Д., Туов М.Т., Пчихачев Э.К. Обоснование необходимости орошения чайных плантаций в Адыгее на основе оценки почвенных и климатических условий // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 4 (20). С. 155–161.

Dobezhina S.V. Besedina T.D., Tuov M.T., Pchihachev E.K. Necessity for irrigation of tea plantations in Adygea based on the assessment of soil and climatic conditions // Vestnik APK Stavropol'ya. 2015. № 4 (20). P.155–161 (in Russian).

2. Добежина С.В. Изучение агроэкологических особенностей культуры чая в условиях Адыгеи для разработки инновационной технологии возделывания // Инновационные процессы в науке и образовании: монография / Под ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. Глава 16. С. 168–184.

Dobezhina S.V. The study of agroecological traits of tea culture in Adygea conditions for the development of innovative cultivation technology // Innovative processes in science and education: monograph / Pod red. G.Yu. Gulyaeva. Penza: MCNS «Nauka i Prosveshchenie». 2017. Glava 16. P. 168–184 (in Russian).

3. Сторчоус В.Н. Влияние орошения на изменение свойств почвы при выращивании многолетних культур в условиях Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». 2015. Т. 1 (67). № 2. С. 42–51.

Storchous V.N. Influence of irrigation on the soil properties when growing perennial crops in the conditions of Crimea // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya. Geologiya». 2015. T. 1 (67). № 2. P. 42–51 (in Russian).

4. Кузин А.И., Пугачев Г.Н., Захаров В.Л., Трунов Ю.В., Соловьев А.В., Тарова З.Н. Влияние капельного орошения на изменение физических и химических свойств почвы // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 129 (05). URL: http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/85.pdf (дата обращения: 19.11.2018).

Kuzin A.I., Pugachev G.N., Zaharov V.L., Trunov Yu.V., Soloviev A.V., Tarova Z.N. The effect of drip irrigation on changes in the physical and chemical properties of the soil // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2017. № 129 (05). URL: http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/85.pdf (date of access: 19.11.2018) (in Russian).

5. Несват А.П. Влияние орошения на водно-физические свойства темно-каштановых почв // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 4 (32). Т. 4. С. 57–58.

Nesvat A.P. The effect of irrigation on the water-physical properties of dark chestnut soils // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 4 (32). P. 57–58 (in Russian).

6. Кудеяров В.Н. Башкин В.Н., Кудеярова А.Ю., Бочкарёв А.Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений. М.: Наука, 1984. 214 с.

Kudeyarov V.N., Bashkin V.N., Kudeyarova A.Yu., Bochkaryov A.N. Ecological problems of the application of mineral fertilizers. M.: Nauka, 1984. 214 p. (in Russian).

7. Исмаилова Х.Р. Технология мелкодисперсного (аэрозольного) орошения в условиях Апшерона Азербайджана // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 110–113.

Ismailova H.R. The technology of fine (aerosol) irrigation in the conditions of Absheron Azerbaijan // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2016. № 3. P. 110–113 (in Russian).

8. Добежина С.В., Беседина Т.Д., Пчихачев Э.К. Особенности водного и питательного режима растений чая в условиях Адыгеи // Новые технологии. 2017. № 3. С. 93-104.

Dobezhina S.V., Besedina T.D., Pchihachev E.K. Peculiarities of Water and Nutrient Regime of Tea Plants under the Conditions of Adygea // Novye tekhnologii. 2017. № 3. P. 93–104 (in Russian).

9. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края / сост. Т.П. Алексеева, П.М. Бушин, В.В. Воронцов и др. Сочи: НИИГСиЦ, 1977. 80 с.

Guidelines for the cultivation of tea in the subtropical zone of the Krasnodar Region / sost. T.P. Alekseeva, P.M. Bushin, V.V. Voroncov i dr. Sochi: NIIGSiC, 1977. 80 p. (in Russian).

10. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Притула З.В. Система удобрений плантаций чая в субтропиках России. Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК, 2010. 45 с.

Malyukova L.S., Kozlova N.V., Pritula Z.V. The system of tea plantation fertilizers in the subtropics of Russia. Sochi: GNU VNIICiSK, 2010. 45 p. (in Russian).

11. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.

Workshop on agrochemistry / Pod red. V.G. Mineeva. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2001. 689 p. (in Russian).

12. Практикум по почвоведению / ред. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.

Workshop on soil science / red. N.F. Ganzhary. M.: Agrokonsalt, 2002. 280 p. (in Russian).

13. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России // Под ред. В.Г. Минеева. Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии, 2014. 416 с.

Malyukova L.S. Optimization of soil fertility and the use of mineral fertilizers in the cultivation of tea in Russia // Pod red. V.G. Mineeva. Sochi: GNU VNIICiSK Rossel'hozakademii, 2014. 416 p. (in Russian).

УДК 632.954:633.41:631.559

РАЗРАБОТКА ИНДУКТОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ ТИЕНОПИРИДИНОВ

[1]Дядюченко Л.В., [2]Тосунов Я.К., [2]Дмитриева И.Г.

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», Краснодар, e-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, e-mail: irina.bona.mente@gmail.com

Сахарная свекла в Российской Федерации является одной из основных экономически значимых сельскохозяйственных культур. В современной системе выращивания культуры важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Самыми широко используемыми препаратами против сорняков в посевах сахарной свеклы являются гербициды группы Бетанала и Лонтрел. Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов, что приводит к потерям урожая. Одним из способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение индукторов устойчивости – веществ, стимулирующих адаптивные возможности растений. Исследования по изысканию новых препаратов продолжаются в нашей стране и за рубежом. Целью настоящей работы являлся поиск индукторов устойчивости для вегетирующих растений сахарной свеклы от негативного воздействия гербицидов. Поиск осуществляли в ряду производных тиенопиридинов, для чего была синтезирована серия соединений в количестве 20 шт. По результатам лабораторного скрининга нами выявлены потенциально активные вещества, которые испытывались в полевых условиях в 2016–2018 гг. Обработку растений проводили в фазу 4–6 настоящих листьев сахарной свёклы, при обработке к баковой смеси гербицидов (Бетанал 22, Лонтрел 300, Зелек Супер) добавляли растворы исследуемых веществ. В процессе эксперимента нами установлено, что использование новых препаратов в дозе 20 г/га обеспечило существенное и достоверное повышение урожая сахарной свеклы по сравнению с гербицидным контролем (6,5–12 %). Их применение положительно влияло на формирование таких биометрических показателей, как число, масса и площадь листьев, величина и масса корнеплодов. Увеличивалось также содержание пигментов, что улучшает прессоустойчивость растения к гербицидному воздействию. Качественные показатели корнеплодов (сахаристость) превысили таковые не только у гербицидного эталона, но и у контроля. Таким образом, найденные соединения могут быть использованы в качестве действующих веществ для создания новых индукторов устойчивости.

Ключевые слова: сахарная свекла, гербициды, потери урожая, индукторы устойчивости, скрининг, тиенопиридины, урожайность, сахаристость, содержание пигментов

DEVELOPMENT OF RESISTANCE INDUCERS FOR SUGAR BEET PLANTS IN THE ROW OF DERIVATIVES OF THIENOPYRIDINE

[1]Dyadyuchenko L.V., [2]Tosunov Ya.K., [2]Dmitrieva I.G.

[1]All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, Krasnodar, e-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru;

[2]I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, e-mail: irina.bona.mente@gmail.com

In the Russian Federation sugar beet is one of the main economically significant crops. Herbicide crop protection against weeds takes an important place in the modern system of the crop cultivation. The most widely used products against weeds in sugar beet crops are the herbicides of the Betanal group and Launtrel. Despite the selectivity, sugar beet plants experience stress from the use of herbicides, which leads to yield losses. One of the ways to reduce the phytotoxicity of herbicides to cultivated plants is the use of resistance inducers – substances that stimulate the adaptive capacity of plants. Research to find new products continues in our country and abroad. The aim of this work was to search for resistance inducers for vegetative sugar beet plants against the negative effects of herbicides. The search was carried out in a series of thienopyridine derivatives, for which a series of compounds was synthesized in an amount of 20 pieces. Based on the results of laboratory screening, we identified potentially active substances that were tested under the field conditions in 2016-2018. Plant treatment was carried out in a phase of 4-6 real leaves of sugar beet, being treated with a tank mixture of herbicides (Betanal 22, Launtrel 300, Zelek Super), solutions of test substances were added. In the course of the experiment, we found that the use of new products at a dose of 20 g / ha provided a significant increase in the yield of sugar beet compared to herbicidal control (6.5-12 %). Their application positively influenced the formation of such biometric indicators as the number, mass and area of leaves, the size and mass of root crops. The content of pigments also increased, which improves the plant stress resistance to herbicidal effects. Qualitative indicators of root crops (sugar content) exceeded those not only in the herbicide standard, but also in control. Thus, the compounds found can be used as active substances to create new resistance inducers.

Keywords: sugar beet, herbicides, yield losses, resistance inducers, screening, thienopyridines, yield, sugar content, pigment content

Сахарная свекла в Российской Федерации является одной из основных экономически важных сельскохозяйственных культур. Её корнеплоды служат главным источником сырья для производства сахара в нашей стране. Побочные продукты переработки сахарной свеклы используются для кормления скота, получения пищевых кис-

лот, хлебопекарных дрожжей, этилового спирта.

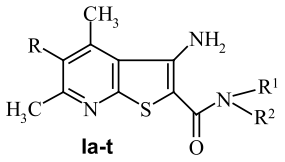
При выращивании сахарной свеклы первостепенное значение занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Засоренность посевов часто носит сложный характер. В агроценозе сахарной свеклы насчитывается несколько десятков различных видов сорных растений. В период от появления всходов до смыкания рядков растения сахарной свеклы не в состоянии соперничать с сорняками. Поэтому очень важно в первые 4–6 недель вегетации проводить борьбу с сорной растительностью. В противном случае недобор урожая может составлять 25 % и более [1]. В настоящее время нет ни одного селективного для сахарной свеклы гербицида, который мог бы надежно защитить посевы от всего спектра двудольных сорняков, поэтому для достижения желаемого результата применяют различные гербицидные смеси [2]. Самыми широко используемыми препаратами против сорняков на сахарной свекле являются гербициды группы Бетанала и Лонтрел. Бетанал борется с однолетними двудольными сорняками, Лонтрел используется против трудноискоренимых сорняков (амброзия, осот и др.).

Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов. Фитотоксическое воздействие бетаналов усиливается, если их наносят в жаркую погоду. Оптимальной для применения гербицидов бетанальной группы считается температура в пределах 16–25 °С, однако в полевых условиях не всегда удается ее выдержать. Механизм действия бетаналов проявляется в подавлении процессов фотосинтеза, что влечет нарушение дыхания, поступления питательных веществ; как следствие, замедляется синтез свободных аминокислот, необходимых для построения белка [3]. В качестве негативного воздействия гербицидов на начальной стадии вегетации обнаружено также снижение энергии корнеобразования [4]. Замедление прироста массы корнеплода и листьев у культуры под воздействием гербицидов в условиях теплой погоды может привести к существенному недобору урожая.

Одним из современных и действенных способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение индукторов устойчивости – веществ, стимулирующих адаптивные возможности растений. Считается, что прибавка урожая в этом случае может складываться за счет проявления следующих эффектов: рострегулирущей активности вещества, повышения стрессустойчивости культуры к неблагоприятным факторам окружающей среды и антидотного действия по отношению к гербициду. Индукторы устойчивости находят все более широкое применение, исследования по изысканию новых препаратов продолжаются в нашей стране и за рубежом [5].

Целью настоящей работы являлся поиск индукторов устойчивости для вегетирующих растений сахарной свеклы от негативного воздействия гербицидов. Поиск осуществляли в ряду производных тиенопиридинов. Ранее нами успешно был проведен скрининг в рядах N-замещённых нафталин-2-сульфониламидов и производных пиридилгидразонов [6, 7].

Для достижения поставленной цели нами синтезирована серия соединений, которые относятся к ряду 3-аминотиено[2,3-*b*] пиридинов общей формулы **I**:



Ia-t

где R = H,CI; R^1 = H, алкил, арил; R^2 = алкил, арил, гетерил.

Синтез новых соединений осуществляли с использованием известных, а также оригинальных методик, описанных нами ранее [8]. Для доказательства структуры синтезированных веществ использовали элементный анализ, ИК-, и ЯМР ^{1}H и масс-спектры.

Материалы и методы исследования

Опыты по выявлению биоактивности синтезированных соединений осуществляли на сахарной свекле гибрида F_1 Аллигатор.

Для первичной оценки веществ в лабораторных условиях определяли величину их рострегулирующего эффекта по методике проращивания семян в «рулонах». Повторность опыта четырёхкратная. В опыте предусмотрено замачивание семян в рабочем растворе испытуемого вещества и последующее выдерживание в течение 1 ч при 21–22 °С в отсутствии света. Затем семена раскладывались на увлажненную полосу фильтровальной бумаги (по 50 шт.), которая сворачивалась в рулон. Установленные в стаканы с водой рулоны термостатировались при 22–25 °С в течение 10 суток. По окончании опыта проводили биометриче-

скую оценку растений. Данные учётов обрабатывали статистически (при уровне значимости P = 0,95).

По результатам лабораторного опыта отбирали активные соединения для изучения в условиях поля. Исследования проводили на экспериментальном поле ВНИИ биологической защиты растений, г. Краснодар (центральная зона Краснодарского края). Климат умеренно континентальный, с мягкой зимой и жарким летом.

В 2016–2017 гг. для пропашных культур метеоусловия были вполне благоприятными в апреле, мае и июне. В июле-августе отмечалось значительное повышение среднесуточных температур воздуха (до 30 °С), которое выразилось в проявлении воздушной и почвенной засухи. В 2018 г. с апреля до конца августа количество выпавших осадков было значительно меньше средних многолетних (на 10–15 мм). Этот период сопровождался высокими температурами (до 30,2 °С).

Почва на опытном участке представлена черноземом выщелоченным, $pH_{вод}$ 7,5, $pH_{сол.}$ 6,5; содержание гумуса в пахотном горизонте 2,5–3,2 %. Предшественник – озимая пшеница. Обработка почвы: зяблевая вспашка на глубину 30 см, покровное боронование в два следа, две культивации. Перед вспашкой внесение удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$, гербициды вносились дважды – после появления всходов и в фазу 4–6 настоящих листьев.

Опыт на сахарной свекле был заложен по схеме:

вариант 1. Контроль – без обработки (ручная прополка);

вариант 2. Баковая смесь гербицидов;

вариант 3. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1d 20 г/га;

вариант 4. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1d 40 г/га;

вариант 5. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1g 20 г/га;

вариант 6. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1g 40 г/га;

вариант 7. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1n 20 г/га;

вариант 8. Баковая смесь: гербициды + индуктор устойчивости 1n 40 г/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га.

Баковая смесь содержала гербициды, применяемые в технологии выращивания сахарной свеклы: Бетанал 22 – селективный гербицид против однолетних двудольных сорняков; Лонтрел® 300 – послевсходовый гербицид для борьбы с трудноискоренимыми сорняками; Зелек Супер – селективный системный гербицид против однолетних и многолетних злаковых сорняков.

Обрабатывали растения потенциальными индукторами устойчивости однократно в фазу 4–6 настоящих листьев сахарной свёклы, с этой целью в баковую смесь гербицидов вносили растворы изучаемых веществ. Баковая смесь имела следующий состав: Зеллек – Супер, КЭ 0,37 л/га, Бетанал 22, КЭ – 0,7 л/га, Лонтрел 300, ВР – 0,2 л/га (дозы гербицидов ниже на 30 % относительно рекомендованных). Тип засоренности на опытных участках был смешанный, с преобладанием злаковых (просо куриное, щетинник сизый и др.) и двудольных (марь белая, осот полевой, амброзия полыннолистная, щирица обыкновенная и др). Засоренность посева в начале вегетации составляла 52 шт/м^2, в середине вегетации – 16 шт/м^2, в конце вегетации – 10 шт/м^2. Участки, обработанные баковой смесью гербицидов и смесью гербициды + индуктор устойчивости, по засоренности практически не отличались.

Опыт предусматривал измерение биометрических показателей корнеплодов и надземных органов растений, урожайности. Качество корнеплодов оценивали по сахаристости. В течение всего периода вегетации определяли содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений. Для этого отбирали пробы на следующий день после обработки, затем через каждые 5 дней. Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов измеряли на спектрофотометре Genesys 8 (Thermo Spectronic, Англия), в экстрактах 96 %-ным этанолом и последующим расчетом по формулам Лихтенталлера [9].

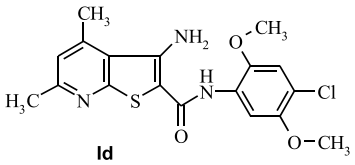
Контроль биометрических показателей осуществляли в фазу смыкания листьев в междурядьях и при уборке урожая, по полученным данным рассчитывали площадь ассимиляционной поверхности листьев, динамику накопления растениями сырой и абсолютно сухой биомассы [10]. Содержание сахара в корнеплодах определяли по ГОСТ Р 53036-2008 [11].

Урожай учитывали количественно-весовым методом: корнеплоды с учетных площадок подсчитывали и взвешивали. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием $НСР_{05}$ [12].

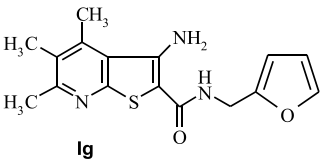
Результаты исследования и их обсуждение

В лабораторном опыте нами были обнаружены потенциально активные соедине-

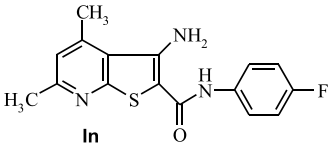
ния **Id, Ig, In**, которые способствовали увеличению стеблей и корешков проростков сахарной свеклы на 12–19% относительно контрольного варианта.



Id



Ig



In

Названные соединения не фитотоксичны, совместимы с биопрепаратами. Отобранные вещества были изучены в условиях полевого опыта в 2016 г. в дозе 40 г/га, в 2017 г. – в двух дозах: 20 и 40 г/га, в 2018 г. – в дозе 20 г/га, поскольку эта доза оказалась предпочтительной. Результаты по урожайности сахарной свеклы и содержанию сахара представлены в табл. 1. Полученные данные свидетельствуют, что применение гербицидов снижает урожайность культуры (вариант эталон) в сравнении с контролем. Внесение в баковую смесь исследуемых индукторов устойчивости способствует увеличению размеров корнеплодов и урожайности сахарной свеклы как по сравнению с гербицидным эталоном, так и с контролем. Прибавка урожая к эталону составила от 3,53 до 6,58 т/га, что соответствует 6,55–11,9%, причем доза 20 г/га была более эффективной.

В то же время все препараты существенно увеличивали сахаристость корнеплодов как по отношению к гербицидному эталону, так и по отношению к контролю. Их применение позволило повысить процентное содержание сахара по отношению к гербицидному эталону на 1,6–4,6%, а выход сахара на 1,7–3,5 т/га.

Таблица 1

Урожайность сахарной свеклы гибрида F_1 Аллигатор

Вариант	Урожайность ц/га	Прибавка к эталону		Корнеплод			Содержание сахара, %	Выход сахара, т/ га
		т/га	%	Длина, см	Диаметр, см	Масса, г		
2016 г.								
Контроль	56,48	–	–	26,0	9,3	637,5	14,8	8,4
Эталон	55,14	–1,24	–2,2	25,8	9,0	622,0	13,3	7,3
Id 40 г/га	60,75	5,62	10,2	27,1	9,6	683,2	18,0	10,8
Ig 40 г/га	59,95	4,80	8,7	27,2	9,6	674,5	15,0	9,0
In 40 г/га	61,72	6,58	11,9	27,0	9,5	694,4	17,5	10,7
$НСР_{0,5}$	1,32	0,20	–	1,65	0,75	13,7	1,4	–
2017 г.								
Контроль	57,67	–	–	26,3	9,3	635,4	15,2	8,8
Эталон	54,50	–3,17	–5,5	25,8	9,1	620,3	13,45	7,3
Id 20 г/га	61,10	6,59	12,1	29,7	9,3	687,6	17,65	10,80
Id 40 г/га	60,42	5,92	10,75	28,6	9,2	679,9	17,5	10,65
Ig 20 г/га	58,04	3,53	6,55	33,8	9,4	653,3	17,6	10,25
Ig 40 г/га	58,23	3,72	6,85	28,8	9,8	655,2	17,7	10,35
In 20 г/га	60,52	6,01	11,0	31,2	9,45	680,6	17,65	10,70
In 40 г/га	60,84	6,33	11,6	30,9	9,5	684,3	17,60	10,69
$НСР_{0,5}$	1,23	0,24	–	1,75	0,8	14,2	1,5	–
2018 г.								
Контроль	54,82	–	–	26,3	9,3	635,41	15,0	8,2
Эталон	52,42	– 2,40	–4,4	25,7	9,2	620,44	13,0	6,8
Id 20 г/га	55,80	6,16	11,8	27,1	9,6	694,27	17,6	10,3
Ig 20 г/га	56,49	4,07	7,8	27,0	9,5	674,59	14,9	8,5
In 20 г/га	58,32	5,90	11,3	28,9	9,5	690,32	15,0	8,7
$НСР_{0,5}$	1,21	0,9	–	1,4	0,7	13,0	1,3	–

Из-за ограниченности объема статьи мы приводим данные по биометрии растений сахарной свеклы в фазе смыкания листьев в междурядьях за 2017 г. (табл. 2). Использование испытуемых соединений существенно повлияло на формирование надземных органов культуры. Высота растений увеличилась на 2,15–5,8 см; число листьев – на 2,0–4,5 шт; площадь листьев – на 1,11–4,30 дм^2 в сравнении с гербицидным эталоном. Увеличение параметров надземных органов повлекло увеличение биомассы и массы сухого вещества. Биомасса надземных органов увеличилась на 10,9–43,0 г; сухого вещества – на 2,6–10,9 г. Многие перечисленные показатели существенно превышают таковые также в контрольном варианте.

Использование в качестве индукторов устойчивости соединений Id, Ig, In стимулировало не только рост и развитие надземных органов, но повлияло и на содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений. В большей степени это влияние сказалось на содержании хлорофиллов *a* и *b*, которое в опытных вариантах было значительно выше, чем в гербицидном эталоне (рис. 1, 2). Увеличение содержания пигментов свидетельствует о положительном влиянии индукторов устойчивости на иммунную систему культуры.

Таблица 2

Биометрия сахарной свеклы в фазе смыкания листьев в междурядьях гибрида F_1 Аллигатор, 2017 г. (на одно растение)

Вариант	Высота растений, см	Число листьев, шт	Сырая масса листьев, г	Сухая масса листьев, г	Сырая масса листовых пластинок, г	Площадь листьев, дм^2	Корнеплод		
							длина, см	диаметр, см	масса, г
Контроль	34,1	14,7	83,20	20,82	47,10	8,05	25,3	8,2	587,60
Эталон	32,7	14,3	81,47	20,35	46,12	7,81	24,5	8,0	567,04
Id 20 г/га	36,2	16,3	96,38	24,10	54,58	9,28	28,7	9,3	650,40
Id 40 г/га	36,1	16,0	94,60	23,67	53,50	9,10	27,8	8,8	644,40
Ig 20 г/га	38,6	18,7	124,60	31,23	70,51	11,92	31,3	9,4	647,92
Ig 40 г/га	36,9	17,2	110,41	27,63	62,44	10,58	27,2	9,3	633,70
IIn 20 г/га	35,5	16,6	99,30	24,87	56,22	9,55	29,1	9,25	661,43
In 40 г/га	35,2	16,1	92,40	23,10	52,29	8,90	28,7	9,1	659,31
$НСР_{05}$	4,7	2,4	6,3	3,4	8,0	2,1	3,15	1,3	12,5

Рис. 1. Содержание хлорофилла а в листьях сахарной свеклы, мг/дм^2 (2017 г.): (1 – соед. Id 20 г/га; 2 – соед. Id 40 г/га; 3 – соед Ig, 20 г/га; 4 – соед. Ig 40 г/га; 5 – соед. In 20 г/га; 6 – соед. In 40 г/га)

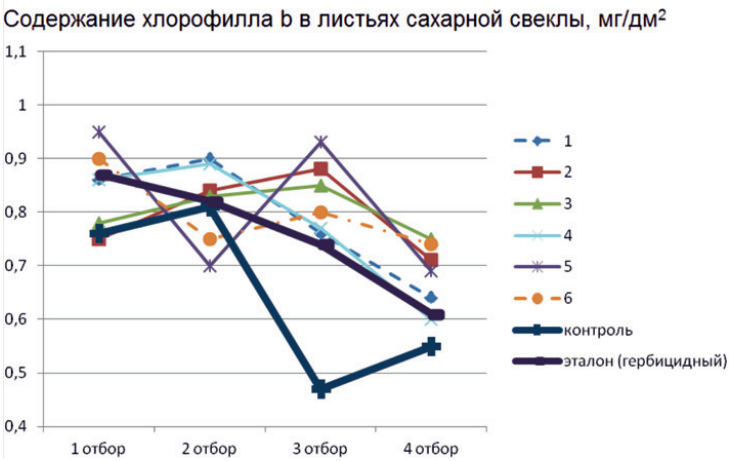


Рис. 2. Содержание хлорофилла b в листьях сахарной свеклы, мг/дм² (2017 г.): (1 – соед. Id 20 г/га; 2 – соед. Id 40 г/га; 3 – соед Ig, 20 г/га; 4 – соед. Ig 40 г/га; 5 – соед. In 20 г/га; 6 – соед. IIIn 40 г/га)

Заключение

Таким образом, при обработке растений сахарной свеклы новыми индукторами устойчивости совместно с баковой смесью гербицидов получено существенное и достоверное повышение урожая в сравнении с гербицидным контролем.

Найденные нами новые действующие вещества могут послужить основой создания отечественных индукторов устойчивости, способных уменьшить гербицидный стресс на растения сахарной свеклы, увеличить адаптивные возможности культуры и тем самым сохранить урожай.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-44-230459 р_а и администрации Краснодарского края.

Список литературы / References

1. Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: МГУ им. Ломоносова, 2010. 150 с.

Kulikova N.A., Lebedeva G.F. Herbicides and ecological aspects of their application. M.: MGU im. Lomonosova, 2010. 150 p. (in Russian).

2. Панченко В.Д. Защита посевов сахарной свеклы препаратами компании «Август» // СКФО-агро. 2014. № 3. С. 2.

Panchenko V.D. Protection of sugar beet products company «August» // SKFO-agro. 2014. № 3. P. 2 (in Russian).

3. Дворянкин Е.А., Дворянкин А.Е. Действие гербицидов группы Бетанала на фотосинтез сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2011. № 4. С. 33–37.

Dvoryankin E.A., Dvoryankin A. E. The herbicides of the group Betanals actions on photosynthesis of sugar beet // Saharnaya svekla. 2011. № 4. P. 33–37 (in Russian).

4. Овчинникова Ю.А., Папикян Т.А. Влияние гербицидов на урожайность сахарной свеклы // Молодой ученый. 2016. № 23. С. 189–192.

Ovchinnikova Yu. A., Papikyan T.A. Effect of herbicides on sugar beet yield // Molodoj uchenyj. 2016. № 23. P. 189–192 (in Russian).

5. Спиридонов Ю.Я., Хохлов П.С., Шестаков В.Г. Антидоты гербицидов // Агрохимия. 2009. № 5. С. 81–91.

Spiridonov Yu.Ya., Hohlov P.S., Hestakov V.G. Antidotes of herbicides // Agrohimiya. 2009. № 5. P. 81–91 (in Russian).

6. Дядюченко Л.В., Назаренко Д.Ю., Ткач Л.Н., Тосунов Я.К., Дмитриева И.Г. Поиск новых иммуномодуляторов сахарной свеклы в ряду производных пиридилгидразонов // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2016. № 122(08). URL: http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/33.pdf (дата обращения: 06.11.2018). DOI: 10.21515/1990-4665-122-033.

Dyadyuchenko L.V., Nazarenko D.Yu., Tkach L.N., Tosunov Ya.K., Dmitrieva I.G. The Search for New Sugar Beet Immunomodulators Amond Pyridylhydrazone Derivatives // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal KubGAU. 2016. № 122(08). URL: http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/33.pdf (date of access: 06.11.2018). DOI: 10.21515/1990-4665-122-033 (in Russian).

7. Дядюченко Л.В., Назаренко Д.Ю., Ткач Л.Н., Тосунов Я.К., Дмитриева И.Г. Скрининг новых индукторов устойчивости сахарной свеклы в ряду замещенных нафталинсульфониламидов // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2017. № 131 (07). URL: http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/91.pdf (дата обращения: 06.11.2018). DOI: 10.21515/1990-4665-131-091.

Dyadyuchenko L.V., Nazarenko D.Yu., Tkach L.N., Tosunov Ya.K., Dmitrieva I.G. Screening of Sugarbeet New Resistance Inductors Within the Range of Naphthalenesulfon-Amides Derivatives // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal KubGAU. 2017. № 131 (07). URL: http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/91.pdf (date of access: 06.11.2018). DOI: 10.21515/1990-4665-131-091 (in Russian).

8. Дмитриева И.Г., Доценко С.П., Заводнов В.С., Дядюченко Л.В. Химические аспекты разработки новых регуляторов роста и гербицидных антидотов для сельскохозяйственных растений // Труды КубГАУ. 2015. № 53. С. 99–103.

Dmitrieva I.G., Dotsenko C.P., Zavodnov V.S., Dyadyuchenko L.V. Chemical aspects of development of new growth regulators and herbicide antidotes for agricultural plants // Trudy KubGAU. 2015. № 53. P. 99–103 (in Russian).

9. Lichtentaller H.K., Wellburn A.R. Determinations of total extracts in different solvents. Biochem. Soc. Transactions. 1983. Vol. 11. № 5. P. 591–592.

10. Глеванский И.В., Зубенко В.Ф., Мельниченко А.С. Свекловодство. Киев, 1989. 207 с.

Glevanskij I.V., Zubenko V. F., Mel'nichenko A. S. Beet cultivation. Kiev, 1989. 207 p. (in Russian).

11. ГОСТ Р 53036-2008. Свекла сахарная. Методы испытаний (с Поправкой). М: Стандартинформ, 2009. 12 с.

Gost R 53036-2008. Sugar beet. Test methods. M: Standartinform, 2009. 12 p. (in Russian).

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Dospehov B.A. Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results jf researches). M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p. (in Russian).

УДК 630*228:635.924(470.67)

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ CLEMATIS VITALBA L. В САМУРСКОМ ЛЕСУ (ДАГЕСТАН)

[1]Исмаилов А.Б., [1,2]Алиев Х.У., [1]Маллалиев М.М.

[1]ФГБУН «Горный ботанический сад» ДНЦ РАН, Махачкала, e-mail: i.aziz@mail.ru;
[2]ФГБУ «Сочинский национальный парк», Сочи

На примере трех пробных площадей, заложенных в широколиственном лесу в дельте реки Самур на юге Дагестана, дана характеристика структуры сообществ с участием редкого вида Clematis vitalba. На пробных площадях учитывались количественные и морфометрические показатели древостоя, кустарникового яруса и внеярусной растительности. Отмечено увеличение числа особей в более осветленных участках леса – по его опушкам и обочинам лесных дорог. Плотность популяции *C. vitalba*, в пересчете на 1 га, колебалась от 20 (в лесу) до 80–100 (на отдельных открытых участках) растений. Особи в популяции распределены контагиозно, т.е. встречаются группами. На основании эколого-фитоценотической классификации растительных сообществ с участием *C. vitalba*, в Самурском лесу нами были выделены синтаксономические единицы в местах произрастания вида. Для ПП № 1 – Ассоциация Грабняк молочайный (*Carpinetum euphorbosum*), Субассоциация Грабняк дубово-молочайный (*quercoso-euphorbosum*); ПП № 2 – Ассоциация Грабняк молочайный (*Carpinetum euphorbosum*), Субассоциация Грабняк тополево-молочайный (*populoso–euphorbosum*); ПП № 3 – Ассоциация Ясенник молочайный (*Fraxinetum euphorbosum*), Субассоциация Ясенник грабово-молочайный (*carpinoso–euphorbosum*). Согласно категориям Международного союза охраны природы вид имеет статус, близкий к угрожающему положению (NT) и включен в Красные книги Дагестана, Ставропольского края, Северной Осетии – Алании, а также Армении. Ценотическая и геоморфологическая приуроченность вида в Дагестане связана с лиственными лесами, где *C. vitalba* чаще встречается в условиях грунтового увлажнения на хорошо дренированных, умеренно плодородных почвах.

Ключевые слова: Clematis vitalba L., лиана, сообщество, структура, охраняемый вид, Самурский лес, Дагестан

THE STRUCTURE OF THE COMMUNITIES WITH CLEMATIS VITALBA L. IN SAMUR FOREST (DAGESTAN)

[1]Ismailov A.B., [1,2]Aliev Kh.U., [1]Mallaliev M.M.

[1]Mountain Botanical Garden of DSC of RAS, Makhachkala, e-mail: i.aziz@mail.ru;
[2]Sochi National Park, Sochi

Using the example of three sample areas laid in a broad-leaved forest in the Delta of the Samur River in the South of Dagestan, the characteristic of the community structure with the participation of a rare species of *Clematis vitalba* are given. Quantitative and morphometric indicators of forest stand, shrub layer and out of tier vegetation were taken into account on the sample areas. There was an increase in the number of individuals in more clarified areas of the forest – on its edges and sides of forest roads. The density of the population of *C. vitalba*, in terms of 1 hectare, ranged from 20 (in the forest) to 80–100 (in some open areas) plants. Individuals in the population are distributed contagiously, i.e. in groups. On the basis of ecological and phytocenotic classification of plant communities with the participation of *C. vitalba*, in the Samur forest syntaxonomic units in the habitats of the species have identified. For trial plot No. 1 – Association *Carpinetum euphorbosum*, Subassociation quercoso-euphorbosum; No. 2 – Association *Carpinetum euphorbosum*, Subassociation populoso–euphorbosum; No. 3 – Association *Fraxinetum euphorbosum*, Subassociation *carpinoso–euphorbosum*. According to the International Union for Conservation of Nature categories, the species has a status close to the threatening situation (NT) and is included in the Red books of Dagestan, Stavropol territory, North Ossetia, as well as Armenia. The cenotic and geomorphological confinement of the species in Dagestan is associated with deciduous forests, where it is more common in the conditions of soil moisture on well-drained, moderately fertile soils.

Keywords: Clematis vitalba L., liana, community, structure, protected species, Samur forest, Dagestan

У каждого вида растений в ходе эволюции сформировались свои специфические экосистемные связи, вследствие чего устойчивое существование редкого вида возможно только в той эколого-ценотической среде, к которой он адаптирован [1]. Отсюда, изучение и охрана редких видов растений и их популяций, как и сохранение растительных сообществ с их участием, являются первоочередными задачами [2].

C. vitalba – древовидная лиана из семейства Лютиковые (*Ranunculaceae*) с атлантическо-средиземноморским распространением. В Дагестане вид локализован у восточных границ российской части ареала и северо-восточных границ мирового ареала. В естественном виде встречается в Европе, от южной Англии и Голландии до Северной Африки и от Испании до Ближнего Востока и Кавказа [3]. От близких видов, встречающихся на Кавказе, *C. vitalba* отличается опушенными с обеих сторон, тупыми, округлыми на верхушке чашелистиками [4].

Согласно категориям Международного союза охраны природы вид имеет ста-

тус, близкий к угрожающему положению (NT). То есть таксон не квалифицируется как находящийся на грани полного исчезновения, исчезающий или уязвимый, но близок к этому или имеет вероятность быть отнесенным к какой-либо категории в ближайшем будущем. Вид внесен в Красные книги Дагестана со статусом «редкий» [5], Ставропольского края – «сокращающийся в численности» [6], Северной Осетии – Алании – «редкий» [7], а также Армении – «исчезающий» [8].

Цель исследования: характеристика структуры сообществ и классификация фитоценозов с участием редкого вида ломоноса виноградолистного (*Clematis vitalba* L.) в естественных условиях произрастания в Самурском лесу. В задачи входили работы по выявлению мест и закладке пробных площадей, учету морфометрических показателей древостоя и обилия травянистого покрова, выделению синтаксономических единиц.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили результаты полевых исследований, направленных на выявление структуры сообществ с участием охраняемого вида *C. vitalba*. Закладка пробных площадей, их описание и выделение синтаксономических единиц проводились по общепринятым методикам [9–11]. В мае 2016 г. в Магарамкентском административном районе Дагестана (с. Приморское, Самурский лес) были заложены 3 пробные площади (25х25 м), на которых учитывались такие показатели, как ярусность, число деревьев, диаметр ствола, господствующая и максимальная высота, диаметр и высота прикрепления крон. Также учитывались сомкнутость кустарникового яруса, проективное покрытие напочвенного покрова и внеярусная растительность. Номенклатура таксона дана согласно интернет–ресурсу The International Plant Names Index [12].

Результаты исследования и их обсуждение

В среднем на площадях отмечалось по 4 особи *C. vitalba*. По опушкам леса и в осветленных участках количество особей увеличивалось. В пересчете на 1 га плотность популяции колеблется от 20 (в лесу) до 80–100 (на отдельных открытых участках) растений, при этом вид чаще встречается группами. Ниже приведем описание трех пробных площадей.

Пробная площадь № 1. Координаты: 41°51′34.0″ с.ш., 48°33′26.0″ в.д.; высота: – 15 м ниже ур. м. Общая сомкнутость крон составляет 90%. Древесный ярус смешанный, двухъярусный, в сложении принимают участие 44 стволов. По количеству особей в первом ярусе преобладает *Carpinus betulus* L. (21 особь), во втором – *Acer campestre* L. (8 особей) (табл. 1). В сложении первого яруса принимают участие также 7 особей *Quercus pedunculiflora* K. Koch, высотой до 30 м и диаметром ствола до 40 см, и 2 особи *Fraxinus excelsior* L. 35 м высотой и в диаметре до 42 см. Формула древостоя первого яруса – 7Г 2Д 1Яс.

Таблица 1

Характеристика древостоя по ярусам

Вид	Число деревьев	Диаметр стволов: господств. (макс.), см	Высота: господств. (макс.), м	Диаметр крон: господств. (макс.), м	Высота прикрепления крон, м	Ярус
Carpinus betulus	1	50	35	10	12	1
Carpinus betulus	7	30 (35)	35 (35)	7 (8)	10	
Carpinus betulus	13	20 (25)	25 (30)	4 (6)	10	
Quercus pedunculiflora	5	35 (40)	30 (30)	8 (10)	15	
Quercus pedunculiflora	2	20 (25)	25 (25)	4 (4)	12	
Fraxinus excelsior	1	42	35	8	15	
Fraxinus excelsior	1	25	35	6	15	
Всего/формула древостоя: 30 / 7Г 2Д 1Яс						
Carpinus betulus	6	8 (12)	15 (17)	3 (3)	5	2
Acer campestre	8	7 (12)	15 (18)	4 (6)	3	
Всего/формула древостоя: 14 / 6Кл 4Г						
Итого / формула: 44 / 6Г 2Д 2Кл +Яс						

Второй ярус слагают 14 особей, большая часть которых – *A. campestre*, со средней высотой 15 м и диаметром 7 см. *C. betulus* представлен 6 особями высотой 15 м и диаметром 8 см. Формула древостоя второго яруса – 6Кл 4Г. Общая формула древостоя – 6Г 2Д 2Кл + Яс. В возобновлении древостоя в среднем на 1 м^2 принимают участие сеянцы *C. betulus* – 22 шт., сомкнутостью 17%, $h_{ср}$ = 13 см и *F. excelsior* – 6 шт., сомкнутостью 5%, $h_{ср}$ = 15 см.

В кустарниковом ярусе отмечено 20 особей пяти видов. Общая сомкнутость крон около 9% (табл. 2). Наибольшая доля участия в подлеске приходится на виды *Corylus avellana* L. (7 особей) и *Mespilus germanica* L. (6 особей).

Проективное покрытие травянистого яруса составляет 90%. Высота основной массы травостоя около 30 см. Преобладающим видом является *Euphorbia amygdaloides* L., проективное покрытие которого составляет 85%. Заметна доля участия в травянистом покрове таких видов, как *Galium odoratum* (L.) Scop., *Sanicula europea* L., *Carex* sp., *Viola* sp.

Внеярусная растительность (лианы) на пробной площади представлена пятью видами (табл. 3). Общее проективное покрытие их составляет около 9%. Наибольшее проективное покрытие характерно для *Hedera pastuchowii* Woronow – 3%.

Пробная площадь № 2. Координаты: 41°51′59.5″ с.ш., 48°32′19.2″ в.д.; высота: – 3 м ниже ур. м. Общая сомкнутость крон древесного яруса – 95%. Древостой смешанный, двухъярусный. В его сложении принимают участие 26 особей шести видов (табл. 4). В первом ярусе преобладает *C. betulus* – 8 особей, со средним диаметром 20 см и высотой 22 м. Здесь также отмечено 5 особей *Populus* sp., диаметром 40 см и высотой 28 м, 3 особи *Q. pedunculiflora*, диаметром ствола 40 см и высотой 25 м. Формула древостоя первого яруса – 5Г 3Т 2Д.

Во втором ярусе преобладает *C. betulus* – 5 особей, с диаметром 15 см и высотой 17 м. Заметную роль играют и особи *A. campestre*, которых насчитывается 3, со средним диаметром 12 см и высотой 13 м. Единично встречены *Pyrus caucasica* Fed. и *Ulmus* sp. Формула древостоя второго яруса – 5Г 3Кл 1Гр 1В. Общая формула древостоя – 5Г 3Д 3 Кл 2Т + Гр В.

В возобновлении древостоя в среднем на 1 м^2 участвуют сеянцы *C. betulus* – 62 шт., сомкнутостью 40%, $h_{ср}$ = 10 см и *A. campestre* – 1 шт., сомкнутостью 2%, h = 20 см.

Подлесок образуют 25 особей четырех видов кустарников (табл. 5). Общая сомкнутость крон кустарникового яруса около 15%. Наибольшая доля участия в подлеске приходится на виды *Crataegus* sp. (13 особей) и *M. germanica* (8 особей). Незначительно проективное покрытие видов *Swida australis* (C.A. Mey.) Pojark. ex Grossh. и *Euonymus europaeus* L.

Таблица 2

Характеристика кустарникового яруса

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число кустов	Общее состояние
Mespilus germanica	2,5 (3,5)	4	6	хор.
Prunus divaricata	3,5	1	1	хор.
Corylus avellana	2 (4)	2	2	хор.
Crataegus sp.	2	0,1	1	хор.
Corylus avellana	0,9 (1,2)	1	5	хор.
Crataegus sp.	0,8 (0,8)	0,05	3	хор.
Swida australis	0,6 (0,6)	0,5	2	хор.
	Всего:	8,6	20	

Таблица 3

Характеристика внеярусной растительности

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число лиан	Общее состояние
Smilax excelsa	20	2	4	хор.
Hedera pastuchowii	5 (10)	3	27	удовл. (высыхает)
Clematis vitalba	0,5	1	1	хор.
Lonicera caprifolium	0,25 (0,3)	1,5	5	хор.
Pereploca graeca	0,2 (0,3)	1	2	хор.

Таблица 4

Характеристика древостоя по ярусам

Вид	Число деревьев	Диаметр стволов: господств. (макс.), см	Высота: господств. (макс.), м	Диаметр крон: господств. (макс.), м	Высота прикрепления крон, м	Ярус
Carpinus betulus	8	20 (25)	22 (25)	5 (7)	7	1
Populus sp.	5	40 (50)	28 (30)	6 (8)	7	
Quercus pedunculiflora	3	40 (45)	25 (27)	8 (10)	5	
Всего/формула древостоя: 16 / 5Г 3Т 2Д						
Carpinus betulus	5	15 (18)	17 (18)	5 (6)	8	2
Pyrus caucasica	1	25	15	5	8	
Acer campestre	3	12 (15)	13 (15)	4 (5)	8	
Ulmus sp.	1	12	15	4	10	
Всего/формула древостоя: 10 / 5Г 3Кл 1Гр 1В						
Итого / формула: 26 / 5Г 2Т 3Д 3 Кл +Гр В						

Таблица 5

Характеристика кустарникового яруса

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число кустов	Общее состояние
Crataegus sp.	6 (8)	10	8	хор.
Crataegus sp.	3 (3,5)	1	5	хор.
Mespilus germanica	3 (4)	3	8	хор.
Swida australis	4	0,1	1	хор.
Euonymus europaeus	0,3	0,5	3	хор.
Всего:		14,6	25	

Таблица 6

Характеристика внеярусной растительности

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число лиан	Общее состояние
Vitis silvestris	15	1	1	хор.
Clematis vitalba	10 (15)	3	7	хор.
Smilax excelsa	15 (20)	0,8	5	хор.
Hedera pastuchowii	3	1,5	3	хор.

Проективное покрытие травянистого яруса – 30 %. Высота основной массы травостоя около 30 см. Преобладающим видом здесь также является *E. amygdaloides* – 25 %. В сложении травянистого яруса принимают участие *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch, *Ornithogalum sintenisii* Freyn, *Veronica crista-galli* Steven, *Carex* sp.

Лианы, произрастающие на пробной площади, представлены четырьмя видами (табл. 6). Проективное покрытие составляет немногим более 6 %, половина из которого приходится на *C. vitalba*. Общее состояние лиан оценивается как хорошее.

Пробная площадь № 3. Координаты: 41°51′50.1″ с.ш., 48°33′15.9″ в.д.; высота: 5 м над ур. м. Общая сомкнутость крон древесного яруса – 95 %. Древостой смешанный, двухъярусный. Второй ярус выражен слабо (табл. 7). Данная площадка интересна тем, что здесь в первом ярусе преобладает *F. excelsior* – 14 особей, со средним диаметром стволов 20 см и высотой 20 м. Почти вдвое меньшим числом (8 особей диаметром до 20 см и высотой до 32 м) представлен преобладающий на двух предыдущих площадях *C. betulus*. Тремя особями представлен *Populus* sp., единично *Q. pedunculiflora.* Формула древостоя первого яруса – 5Яс 3Г 1Т + Д.

Второй ярус наименее представлен в сравнении с предыдущими пробными площадями. Здесь выявлены всего две особи *A. campestre* с диаметром ствола 15 см

и высотой 18 м. Формула древостоя второго яруса – 10Кл. Общая формула древостоя – 5Яс 3Г 1Т 1Кл + Д.

В возобновлении древостоя в среднем на 1 м^2 участвуют сеянцы *C. betulus* – 7 шт., сомкнутостью 10%, $h_{ср}$ = 12 см, *F. excelsior* – 3 шт., сомкнутостью 5%, $h_{ср}$ = 10 см и *A. campestre* – 1 шт., сомкнутостью 3%, h = 15 см. Судя по характеру возобновления древостоя, *C. betulus* со временем станет преобладающей породой в первом ярусе.

Подлесок образован 21 особью семи видов кустарников (табл. 8). Проективное покрытие подлеска составляет 9,4%. Преобладают особи *Crataegus* sp. (10 особей). Здесь отмечены три особи *S. australis*. Двумя особями представлены виды *C. avellana*, *E. europaeus* и *Prunus divaricata* Ledeb. Единичными особями представлены виды *Cydonia oblonga* Mill. и *M. germanica*.

Проективное покрытие травянистого яруса составляет 60%. Основная масса приходится на *E. amygdaloides* – 40%. Заметна доля участия таких видов, как *C. longifolia*, *Geum urbanum* L., *Hypericum perforatum* L., *Ophrys caucasica* Woronow ex Grossh., *S. europea*, *Carex* sp., *Rumex* sp., *Viola* sp.

Лианами на пробной площади занято около 11%. Всего здесь произрастет 5 видов и 47 особей (табл. 9). Наибольший процент покрытия приходится на особи *H. pastuchowii* и *Smilax excelsa* L.

Таблица 7

Характеристика древостоя по ярусам

Вид	Число деревьев	Диаметр стволов: господств. (макс.), см	Высота: господств. (макс.), м	Диаметр крон: господств. (макс.), м	Высота прикрепления крон, м	Ярус
Carpinus betulus	4	6(8)	30(32)	3(5)	9	1
Carpinus betulus	4	18(20)	25(27)	4(5)	6	
Populus sp.	3	50(60)	35(35)	8(9)	15	
Fraxinus excelsior	9	20(20)	23(25)	6(7)	10	
Fraxinus excelsior	5	15(20)	18(22)	4(5)	8	
Quercus pedunculiflora	1	32	25	8	6	
Всего/формула древостоя: 26 / 5Яс 3Г 1Т + Д						
Acer campestre	2	15	18	4	5	2
Всего/формула древостоя: 2 / 10Кл						
Итого/формула древостоя: 28 / 5Яс 3Г 1Т 1Кл + Д						

Таблица 8

Характеристика кустарникового яруса

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число кустов	Общее состояние
Crataegus sp.	7 (10)	4	4	хор.
Mespilus germanica	5	1	1	хор.
Cydonia oblonga	7,5	1	1	хор.
Euonymus europaeus	3,5	0,5	2	хор.
Prunus divaricata	0,8	0,3	2	хор.
Swida australis	0,8	0,3	3	хор.
Crataegus sp.	1,2	2	6	хор.
Corylus avellana	0,5	0,3	2	хор.
Всего:		9,4	21	

Таблица 9

Характеристика внеярусной растительности

Вид	Высота: господств. (макс.), м	Проективное покрытие, %	Число лиан	Общее состояние
Smilax excelsa	16 (20)	3	6	хор.
Clematis vitalba	20 (20)	2	5	хор.
Vitis silvestris	20 (20)	1,3	2	хор.
Lonicera caprifolium	0,3	1	4	хор.
Hedera pastuchowii	0,2 (0,3)	3,5	30	хор.

Выводы

1. Дана структура растительных сообществ с участием *C. vitalba* в Самурском лесу.

2. Отмечено, что число особей увеличивается в более осветленных участках леса и по опушкам. Так, плотность популяции *C. vitalba*, в пересчете на 1 га, колеблется от 20 (в лесу) до 80–100 (на отдельных открытых участках) растений.

3. Установлено, что особи в популяции распределены контагиозно, т.е. встречаются группами.

4. Выделены синтаксономические единицы (ассоциация и субассоциация) для каждой из площадей: ПП № 1 – Асс. Грабняк молочайный (*Carpinetum euphorbosum*), Субасс. Грабняк дубово-молочайный (*quercoso-euphorbosum*); ПП № 2 – Асс. Грабняк молочайный (*Carpinetum euphorbosum*), Субасс. Грабняк тополево-молочайный (*populoso-euphorbosum*); ПП № 3 – Асс. Ясенник молочайный (*Fraxinetum euphorbosum*), Субасс. Ясенник грабово-молочайный (*carpinoso-euphorbosum*).

5. Полученные данные по структуре сообществ, могут быть использованы для классификации растительности; количественные показатели численности популяции – при издании Красной книги Республики Дагестан и Российской Федерации.

Список литературы / References

1. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы: Университетская книга, 2013. 439 с.

Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Klimenko A.A. Populations of rare plant species: theoretical foundations and methodology of the study. Sumi: Universitetskaya kniga, 2013. 439 p. (in Russian).

2. Борисова М.А., Маракаев О.А. Редкие виды растений: практика исследований в природе. Ярославль: Яросл. гос. ун-т, 2015. 64 с.

Borisova M.A., Marakaev O.A. A rare plant species: research practice in nature. Yaroslavl: Yaroslavkiy gos. universitet, 2015. 64 p. (in Russian).

3. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Том 1 (Lycopodiaceae – Utricaceae). Махачкала: Эпоха, 2009. 320 с.

Murtazaliev R.A. Conspectus of the flora of Dagestan. Vol. 1 (Lycopodiaceae – Utricaceae). Makhachkala: Epokha, 2009. 320 p. (in Russian).

4. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Т. 1. Ростов: РГУ, 1978. 317 с.

Galushko A.I. Flora of the North Caucasus. Vol. 1. Rostov: RGU, 1978. 317 p. (in Russian).

5. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала, 2009. 552 с.

Red Book of the Republic of Daghestan. Mahachkala, 2009. 552 p. (in Russian).

6. Красная книга Ставропольского края. Т. 1. Растения. Ставрополь, 2013. 399 с.

Red Book of the Stavropol Territory. Vol. 1. Plants. Stavropol, 2002. 399 p. (in Russian).

7. Красная книга Республики Северная Осетия – Алания: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Владикавказ, 1999. 248 с.

Red Book of the Republic of North Ossetia: rare and endangered species of plants and animals. Vladikavkaz, 1999. 248 p. (in Russian).

8. The Red Book of plants of the Republic of Armenia. Higher plants and fungi. Yerevan, 2010. 598 p.

9. Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Том V. М.: Изд. Академии Наук СССР, 1976. 320 с.

Korchagin A.A. Polevaya geobotanica. Vol. V. M.: Izd. Akademii Nauk SSSR, 1976. 320 p. (in Russian).

10. Ипатов В.С. Использование проективного покрытия для оценки роли видов в пространственной структуре сообществ // Ботанический журнал. 2015. Т. 100. № 5. С. 508–512. DOI: 10.1134/S0006813615050105.

Ipatov V.S. Using the projective cover to estimate the species role in the spatial structure of communities // Botanicheskiy Zhurnal. 2015. Vol. 100. № 5. P. 508–512 (in Russian).

11. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб.: СПбГУ, 2008. 71 с.

Ipatov V.S., Mirin D.M. Description of phytocenosis: guidelines. Saint-Petersburg: SPbGU, 2008. 71 p. (in Russian).

12. The International Plant Names Index (IPNI). [Electronic resource]. URL: http://www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do (date of access: 01.10.2018).

УДК 633.111.«321»:631.531.02

РОЛЬ ФРАКЦИЙ СЕМЯН ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Муллаянова О.С., Таранова Т.Ю.

ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова», Кинель, Усть-Кинельский, e-mail: kincharov_ai@mail.ru

За годы исследований (2015–2017 гг.) проведен анализ влияния посева семян различными фракциями на основные хозяйственно ценные признаки современных сортов яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Поволжский НИИСС». В качестве объекта исследований использовались четыре современных сорта селекции института, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ: Кинельская нива, Кинельская отрада, Кинельская 2010, Кинельская юбилейная. Изучалось четыре варианта различных фракций семян (сход с сита, мм): 2,0х20 мм, 2,3х20 мм, 2,5х20 мм, 2,8х20 мм. Отмечена роль отдельных фракций семян в формировании урожайности районированных сортов яровой мягкой пшеницы различного генотипа. Определены критерии выбора и корректировки оптимальной фракции семян в зависимости от условий возделывания и генотипа сорта. По результатам проведенных исследований, для формирования более высоких урожаев новых сортов яровой мягкой пшеницы селекции института, сельхозпроизводителям Средневолжского региона рекомендовано использовать для посева более крупные и выровненные фракции семян в зависимости от генетических особенностей сорта. При этом для получения максимально высоких урожаев минимальная фракция при подготовке семян в любой год должна обеспечивать массу 1000 семян для сорта Кинельская отрада более 37,0 г, Кинельская нива – 38,5 г, Кинельская юбилейная – 39,0 г и Кинельская 2010 более 39,5 г. Использование оптимальных фракций семян для посева является важным агротехническим приемом повышения урожая яровой мягкой пшеницы и снижения прямых затрат на семена. Полученные данные рекомендованы для усовершенствования элементов технологий возделывания сортов в регионе.

Ключевые слова: яровая пшеница, селекция, сорт, фракция семян, вариант, урожайность, технология, семеноводство

THE ROLE OF SEED FRACTIONS AT FORMATION OF SPRING SOFT WHEAT PRODUCTIVITY IN MODERN CULTIVATION TECHNOLOGIES

Kincharov A.I., Demina E.A., Mullayanova O.S., Taranova T.Yu.

Volga region Research Institute of Selection and Seed Farming of P.N. Konstantinov», Kinel, Ust-Kinelsky, e-mail: kincharov_ai@mail.ru

The analysis of seed sowing influence of different fractions on the main economic-valuable traits of modern varieties of spring soft wheat breeding institutes of the FPBSI Volga RISS was carried out during the research years (2015-2017). As an object of research, four modern varieties of the breeding institute, included in the State register of breeding achievements of the Russian Federation, were used: Kinelskaya niva, Kinelskaya otrada, Kinelskaya 2010, Kinelskaya yubileynaya. Four variants of different fractions of seeds were studied (a gathering with sieve, mm): 2,0x20 mm, 2,3x20 mm, 2,5x20 mm, 2,8x20mm. The role of separate fractions of seeds in formation of productivity of the zoned grades of spring soft wheat of various genotype was noted. The criteria for selecting and adjusting the optimal of seed fraction depending on the conditions of cultivation and the genotype of the variety were defined. According to the results of the research, for the formation of higher yields of new varieties of spring soft wheat of breeding institute, farmers of the middle Volga region were recommended to use larger and aligned fractions for planting depending on the genetic characteristics of the variety. Herewith, to obtain the highest yields, the minimum fraction when preparing seeds in any year should provide a mass of 1000 seeds of the Kinelskaya otrada variety more than 37,0 g, Kinelskaya niva – 38,5 g, Kinelskaya yubileynaya – 39,0 g, Kinelskaya 2010 more than 39,5 g. The use of optimal seed fractions for sowing is an important agrotechnical technique to increase the yield of spring soft wheat and reducing the direct costs of seeds. The data obtained are recommended to improve the elements of cultivation technologies of grades in the region.

Keywords: spring wheat, selection, variety, fraction of seed, variant, yield, technology, seed farming

В современных экономических условиях работы агропромышленного комплекса Средневолжского региона перед аграриями как никогда остро стоит проблема увеличения и стабилизации производства продовольственного зерна. Выполнение поставленных больших задач для агропромышленного сектора возможно только благодаря совместным усилиям науки и производства, и чем выше будет расти уровень продуктивности сельскохозяйственных культур, тем больше будет и роль науки [1].

Для получения стабильно высоких по годам урожаев яровой пшеницы в производственных условиях первостепенное значение имеет правильно разработанная технология возделывания культуры, а также непосредственно сортовая агротехнология для отдельно взятого сорта [2]. Задача селекционера, внедряя в производственные

условия хозяйств новые современные сорта, созданные в научном учреждении, сопроводить их всеми необходимыми рекомендациями по особенностям выращивания (технология, агрофон, качество семенного материала) [3].

Усовершенствуя даже один из элементов технологии возделывания сорта, можно добиться увеличения урожайности культуры и повышения ее хозяйственно ценных показателей. Посев высококачественными семенами – одно из важнейших условий получения высоких урожаев яровой пшеницы, которое позволяет более полно реализовывать биологический потенциал современных сортов [4]. Растения, полученные из крупных и здоровых семян, обладают способностью глубже закладывать узел кущения, у них более развитая корневая система. Важный агрономический прием, способствующий улучшению физических и биологических качеств семян – это тщательная очистка и сортирование посевного материала. Для посева пшеницы на семенные цели необходимо использовать наиболее крупные, полновесные семена с хорошими посевными качествами [5]. Особенно это актуально в технологиях первичных звеньев семеноводства [6].

Цель исследований заключалась в изучении влияния использования для посева семян различных фракций на урожайность и основные хозяйственно ценные признаки сортов яровой мягкой пшеницы различного генотипа и разработке рекомендаций по усовершенствованию элементов технологий семеноводства для условий Средневолжского региона.

Материалы и методы исследования

Научные исследования по данной теме выполнялись в 2015–2017 гг. на базе ФГБНУ «Поволжский НИИСС». Полевые опыты закладывались на полях селекционного севооборота института. Производственная база и опытные поля ФГБНУ «Поволжский НИИСС» расположены в центральной зоне Самарской области. Климат типичен для Среднего Поволжья, формируется под влиянием континентальных условий умеренных широт и характеризуется высокими температурами воздуха летом и низкими зимой. В целом климату области свойственны сильная контрастность погодных условий по годам, резкие температурные колебания, дефицит влаги и частое повторение засух, интенсивная ветровая деятельность. По многолетним данным в этом районе выпадает 410 мм осадков в год, среднегодовая температура воздуха плюс 3,7 °С, сумма активных температур составляет 2500–2600 °С.

Почва опытного участка – чернозем типичный малогумусный среднемощный легкосуглинистый. Содержание гумуса в среднем 5–6 %. Содержание питательных элементов в почве: подвижного фосфора 61,4–77,0 мг/кг (среднее), обменного калия 374,0–423,0 мг/кг (очень высокое), легкогидролизуемого азота 28,5–49,4 мг/кг (низкое и среднее). По степени кислотности почва опытного участка слабокислая, pH солевой вытяжки почвы 5,4 ед.

Полевые опыты проводились по общепринятой для региона агротехнике. При выполнении исследований использовалась малогабаритная селекционная техника (сеялка ССФК-7М, комбайн Сампо-130), современное лабораторное и компьютерное оборудование. Все научные исследования выполнялись в лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы по общепринятым методикам [7–9].

В качестве объекта исследований использовались четыре современных сорта яровой мягкой пшеницы селекции института, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ: Кинельская нива, Кинельская отрада, Кинельская 2010, Кинельская юбилейная. Категория семян по всем изучаем сортам – оригинальные семена (питомник размножения первого года). В однофакторном опыте изучалось четыре варианта различных фракций семян (сход с сита, мм): 2,0х20 мм, 2,3х20 мм, 2,5х20 мм, 2,8х20 мм. За контрольный вариант принята самая мелкая фракция семян 2,0х20 мм. Учетная площадь делянок 3 м^2, повторность восьмикратная, предшественник – чистый пар.

Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета прикладных программ «Agros», «Stat» и компьютерной программы «Excel».

Результаты исследования и их обсуждение

Посевные и урожайные качества семян находятся в зависимости не только от наследственных свойств (генотипа) сортов, но и от внешних условий, которые складываются в период формирования и созревания урожая яровой пшеницы. Агрометеорологические условия за годы исследований различались по годам. Вегетация яровой мягкой пшеницы в 2015 и 2016 гг. проходила в засушливых условиях, ГТК май – август составлял 0,59 и 0,38 соответственно при

многолетнем значении данного показателя в регионе 0,73. Условия вегетации растений в эти годы сопровождались дефицитом осадков на фоне повышенных средних температур воздуха.

В 2015 г. благоприятная температура воздуха и осадки после посева способствовали появлению дружных всходов яровой мягкой пшеницы. Однако высокие температуры мая, особенно в третьей декаде (средняя температура выше среднемноголетней на 6,0 °С) немного угнетали развитие растений культуры, их корневой системы и кущения в целом. Июнь сопровождался высокими температурами воздуха, выше среднемноголетних значений на 4,6 °С (а в третьей декаде месяца выше на 7,9 °С) и практически полным отсутствием осадков. За весь июнь осадков выпало всего 0,5 мм, а ГТК имел критическое значение (показатель пустыни) и составил 0,01. Июньская засуха отрицательно повлияла на развитие растений яровой мягкой пшеницы и на закладку колоса. Июль отличался теплой погодой и достаточным увлажнением, за месяц осадков выпало больше нормы на 34,4 мм, что выправило положение и оказало положительное влияние на налив зерна и формирование урожая яровой мягкой пшеницы. В 2015 г. за вегетацию выпало 138,5 мм осадков, что на 24,5 мм меньше среднемноголетней нормы. Средняя температура воздуха за вегетацию составила 19,5 °С, что выше среднемноголетнего значения на 1,4 °С.

В 2016 г. хорошая влагозарядка почвы перед посевом, а также благоприятная температура воздуха и небольшие дожди после посева способствовали получению дружных всходов. Однако высокие среднесуточные температуры воздуха в третьей декаде мая (выше среднемноголетних значений на 4,4 °С) немного угнетали развитие растений, их вторичной корневой системы и кущения в целом. Первая декада июня сопровождалась прохладной и влажной погодой. Однако высокие температуры воздуха и практически отсутствие осадков во вторую и третьи декады месяца (выпало всего 3,4 мм) отрицательно повлияли на развитие растений яровой мягкой пшеницы и, в частности, на закладку колоса. Июль отличался жаркой погодой (средняя температура воздуха выше многолетних значений на 2,0 °С) и достаточно хорошим увлажнением, за месяц осадков выпало больше нормы на 8,2 мм. Это немного выправило положение и оказало положительное влияние на налив зерна и урожай изучаемой культуры. Средняя температура воздуха за вегетацию 2016 г. составила 20,9 °С, что выше среднемноголетнего значения на 2,8 °С. В целом за вегетацию выпало 99 мм осадков, что на 64 мм меньше среднемноголетней нормы.

В 2017 г. период вегетации яровой мягкой пшеницы был резко контрастный по увлажнению, ГТК май – август составил 1,04. Причем избыточное увлажнение и недостаток тепла в начальный период роста и развития растений (май и июнь месяц) сменились засушливыми условиями в последующий период вегетации. Недостаток тепла и осадки в третьей декаде мая (больше среднемноголетней нормы на 40 мм) способствовали избыточному переувлажнению и уплотнению почвы, что угнетало развитие растений пшеницы, их корневой системы и кущения в целом. Июнь месяц сопровождался прохладной погодой (средняя температура воздуха ниже многолетних значений на 2,2 °С и аномально избыточным количеством осадков. За весь месяц выпало 129,8 мм осадков, что выше среднемноголетней нормы на 90,8 мм. ГТК июня имел критически высокое значение и составил 2,67 при среднемноголетнем значении 0,70. Средняя температура воздуха за вегетацию 2017 г. составила 18,1 °С, что на уровне среднемноголетнего значения. В целом за вегетацию выпало 223,9 мм осадков, что на 60,9 мм больше среднемноголетней нормы для региона. Таким образом, агрометеорологические условия за 2015–2017 гг. послужили хорошим фоном для проведения наших исследований.

Агротехника на семеноводческих посевах яровой мягкой пшеницы должна разрабатываться с учетом биологических особенностей сортов, чтобы были созданы условия для лучшего развития главных стеблей, дающих основную массу высококачественных семян. Использование оптимальных фракций семян для посева является важным агротехническим приемом повышения урожая яровой мягкой пшеницы. В наших исследованиях мы постарались выяснить, какие по крупности фракции семян (крупная, средняя, мелкая) являются оптимальными для высева и получения максимальных урожаев и как влияет на это генотип современных сортов данной культуры. За контрольный вариант была принята самая мелкая фракция семян 2,0х20 мм.

В опытах 2015 г. по сорту Кинельская нива все три фракции обеспечили достоверную прибавку урожая зерна к контролю от 11 до 16 %, по сорту Кинельская отрада (генетически обусловленная «мелкозерность») лучшим вариантом по урожайности оказался посев только крупной фракцией

2,8х20 мм с массой 1000 семян на посев 37,2 г. В контрольном варианте с фракцией 2,0х20 мм масса 1000 семян на посев по сорту Кинельская нива составила 35,6 г, а по сорту Кинельская отрада 34,4 г. Посев крупной фракцией обеспечивал достоверную прибавку урожая, у сорта Кинельская нива на 0,48 т/га или 16%, у сорта Кинельская отрада на 0,21 т/га или 9%, а урожайность составила соответственно по сортам 3,57 и 2,64 т/га. Также в варианте опыта с фракцией 2,8х20 мм у сортов Кинельская нива и Кинельская отрада была получена самая высокая в урожае масса 1000 зерен 37,1 и 36,1 г соответственно (табл. 1).

По сортам Кинельская 2010 и Кинельская юбилейная максимальная урожайность – 3,23 и 3,04 т/га получена в контрольных вариантах с фракцией 2,0х20 мм (масса 1000 зерен на посев соответственно 39,4 и 39,0 г, это существенно выше показателей предыдущих сортов). Остальные варианты фракций семян в засушливых условиях 2015 г. обеспечивали достоверно более низкую продуктивность зерна по данным сортам. Наиболее высокая масса 1000 зерен с урожая у этих сортов также была получена в контрольном варианте с мелкой фракцией, соответственно у сорта Кинельская 2010 – 39,4 г, сорта Кинельская юбилейная – 37,3 г.

В засушливых условиях 2016 г. наиболее высокими урожайными качествами обладали по всем изучаемым сортам наиболее крупные фракции семян 2,5х20 мм и 2,8х20 мм (табл. 2). Однако следует отметить, что существенной разницы между урожайностью вариантов с этих двух фракций нами не отмечено, а по сорту Кинельская юбилейная – все три фракции обеспечивали достоверную прибавку урожая одного уровня к контролю, по сорту Кинельская нива фракция 2,3х20 мм достоверно превышала по урожайности контрольный вариант, но в то же время достоверно уступала по продуктивности двум последующим фракциям. Посев крупными фракциями семян по всем сортам способствовал достоверному увеличению урожайности на 0,22–0,37 т/га (8–15%), в сравнении с посевом (контрольной) мелкой фракцией семян. Также в вариантах с посевом крупными фракциями семян у изучаемых сортов была получена наибольшая масса 1000 семян и натурная масса убранного зерна.

Таблица 1

Влияние фракций семян на урожайность и хозяйственно ценные признаки сортов яровой пшеницы, 2015 г.

№ п/п	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля		Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л
			т/га	%		
Кинельская нива						
1	2,0×20 мм	3,09	–	–	36,0	798
2	2,3×20 мм	3,55	0,46*	15	36,0	799
3	2,5×20 мм	3,43	0,34*	11	35,9	797
4	2,8×20 мм	3,57	0,48*	16	37,1	796
Кинельская отрада						
5	2,0×20 мм	2,43	–	–	35,3	799
6	2,3×20 мм	2,45	0,02	1	35,0	799
7	2,5×20 мм	2,48	0,05	2	35,7	800
8	2,8×20 мм	2,64	0,21*	9	36,1	799
Кинельская 2010						
9	2,0×20 мм	3,23	–	–	39,4	788
10	2,3×20 мм	3,08	–0,15*	–5	37,2	789
11	2,5×20 мм	3,05	–0,18*	–6	37,3	786
12	2,8×20 мм	3,05	–0,18*	–6	37,3	785
Кинельская юбилейная						
13	2,0×20 мм	3,04	–	–	37,3	802
14	2,3×20 мм	2,79	–0,25*	–8	36,4	799
15	2,5×20 мм	2,68	–0,36*	–12	36,5	800
16	2,8×20 мм	2,80	–0,24*	–8	36,1	797
	$НСР_{05}$	0,14				

Примечание. * – достоверное превышение или снижение урожайности.

Таблица 2

Влияние фракций семян на урожайность и хозяйственно ценные признаки сортов яровой мягкой пшеницы, 2016 г.

№ п/п	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля		Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л
			т/га	%		
Кинельская нива						
1	2,0×20 мм	2,34	–	–	32,0	827
2	2,3×20 мм	2,49	0,15*	6	33,2	828
3	2,5×20 мм	2,66	0,32*	14	33,7	830
4	2,8×20 мм	2,68	0,34*	15	35,0	830
Кинельская отрада						
5	2,0×20 мм	2,07	–	–	29,9	820
6	2,3×20 мм	2,12	0,05	2	31,2	825
7	2,5×20 мм	2,31	0,24*	12	33,6	825
8	2,8×20 мм	2,36	0,29*	14	33,6	826
Кинельская 2010						
9	2,0×20 мм	2,51	–	–	34,1	819
10	2,3×20 мм	2,62	0,11	4	36,7	826
11	2,5×20 мм	2,73	0,22*	9	36,9	829
12	2,8×20 мм	2,88	0,37*	15	38,3	830
Кинельская юбилейная						
13	2,0×20 мм	3,27	–	–	34,3	822
14	2,3×20 мм	3,49	0,22*	7	35,1	826
15	2,5×20 мм	3,54	0,27*	8	36,0	827
16	2,8×20 мм	3,57	0,30*	9	35,9	827
	$НСР_{05}$	0,13				

Примечание. * – достоверное превышение урожайности.

В контрастных по увлажнению и температурному режиму условиях 2017 г. лучшими для посева фракциями по всем изучаемым сортам также оказались более крупные фракции семян 2,5х20 мм и 2,8х20 мм (табл. 3). В сравнении с контрольной мелкой фракцией семян (2,0х20 мм) посев крупными фракциями способствовал повышению урожайности зерна по сортам на 0,26–0,87 т/га или 6–27% и получению достоверных прибавок. Также в вариантах с посевом крупными фракциями семян у изучаемых генотипов была отмечена максимально высокая масса 1000 семян и натура убранного зерна.

По результатам исследований 2015–2017 гг. производителям зерна и аграриям Средневолжского региона можно рекомендовать использовать для посева более крупные и выровненные фракции семян. При этом для получения максимально высоких урожаев, минимальная фракция при подготовке семян в любой год должна обеспечивать массу 1000 семян для сорта Кинельская отрада более 37,0 г, Кинельская нива – 38,5 г, Кинельская юбилейная – 39,0 г и Кинельская 2010 более 39,5 г. Необходимо также отметить, что крупная фракция (сход с решета 2,8х20 мм) только в 4 из 12 вариантов за три года обеспечила существенное превышение урожая над средней фракцией (2,5х20 мм), но при этом весовая норма высева семян увеличивалась к предыдущей фракции до 23,5 кг/га. В отдельные засушливые годы (2015 г.) у сортов Кинельская юбилейная и Кинельская 2010, обладающих генетически обусловленной «крупнозерностью», повышенной засухоустойчивостью и продуктивной кустистостью, признак крупности семян не являлся решающим фактором при формировании высокого урожая зерна.

Заключение

При создании новых современных сортов с высоким потенциалом продуктивности большую роль играет качество семенного материала, так как именно семенной материал позволяет реализовать биологические возможности сорта. Использование оптимальных фракций семян для посева является важным агротехническим приемом повышения урожая яровой мягкой пшеницы и снижения прямых затрат на семена.

Таблица 3

Влияние фракций семян на урожайность и хозяйственно ценные признаки сортов яровой мягкой пшеницы, 2017 г.

№ п/п	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля		Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л
			т/га	%		
Кинельская нива						
1	2,0×20 мм	3,43	–	–	37,6	839
2	2,3×20 мм	3,47	0,04	1	37,6	843
3	2,5×20 мм	3,83	0,40*	12	39,2	845
4	2,8×20 мм	4,07	0,64*	19	39,6	845
Кинельская отрада						
5	2,0×20 мм	2,83	–	–	35,1	837
6	2,3×20 мм	3,23	0,40*	14	36,4	843
7	2,5×20 мм	3,30	0,47*	17	36,8	841
8	2,8×20 мм	3,53	0,70*	25	37,0	843
Кинельская 2010						
9	2,0×20 мм	3,26	–	–	39,9	836
10	2,3×20 мм	3,37	0,11	3	40,1	836
11	2,5×20 мм	4,00	0,74*	23	40,8	837
12	2,8×20 мм	4,13	0,87*	27	42,0	838
Кинельская юбилейная						
13	2,0×20 мм	4,17	–	–	37,0	836
14	2,3×20 мм	4,30	0,13	3	38,4	841
15	2,5×20 мм	4,43	0,26*	6	39,1	839
16	2,8×20 мм	4,63	0,46*	11	39,1	844
	$НСР_{05}$	0,22				

Примечание. * – достоверное превышение урожайности.

По результатам проведенных исследований сельхозпроизводителям Средневолжского региона рекомендовано использовать для посева семенной материал с фракции, обеспечивающей получение массы 1000 зерен для сорта Кинельская отрада более 37,0 г, Кинельская нива – 38,5 г, Кинельская юбилейная – 39,0 г и Кинельская 2010 – 39,5 г. Данные фракции семян отличаются лучшими биологическими свойствами и способны формировать более высокую урожайность у современных генотипов яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Поволжский НИИСС». Полученные в ходе исследований данные рекомендованы для усовершенствования элементов технологий возделывания сортов в регионе.

Список литературы / References

1. Кинчаров А.И. Научные методы повышения и стабилизации урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур в засушливых регионах // Научно обоснованные системы повышения продуктивности и качества зерновых и кормовых культур в засушливых регионах: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Казань, 2016. С. 73–79.

Kincharov A.I. Scientific methods of increasing and stabilizing the yield and quality of agricultural products in arid regions // The evidence-based systems of increase in efficiency and quality of grain and forage crops in droughty regions: collection of materials of the International scientific and practical conference. Kazan, 2016. P. 73–79 (in Russian).

2. Дёмина Е.А., Третьякова С.В., Чекмасова К.Ю. Изучение влияния фракционного состава семян на урожайность перспективных сортов яровой мягкой пшеницы // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: Аэтерна, 2016. Ч. 2. С. 31–34.

Demina E.A., Tretyakova S.V., Chekmasova K.Yu. Study of the influence of the fractional composition of seeds on the yield of promising varieties of spring soft wheat // Problems, prospects and directions of innovative development of science: collection of articles of the International scientific and practical conference. Ufa: Aehterna, 2016. Part 2. P. 31–34 (in Russian).

3. Дёмина Е.А., Муллаянова О.С., Таранова Т.Ю. Влияние нормы высева семян на урожайность зерна новых сортов яровой мягкой пшеницы // Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (Оренбург, 10.11.2017 г.). Оренбург: НИЦ Аэтерна, 2017. Ч. 5. С. 51–56.

Demina E.A., Mullayanova O.S., Taranova T.Yu. The effect of seeding rate on grain yield of new varieties of spring soft wheat // Nauka v sovremennom obshchestve: zakonomernosti i tendencii razvitiya: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Orenburg, 10.11.2017 g.). Orenburg: NIC Aehterna, 2017. Part 5. P. 51–56 (in Russian).

4. Сержанов И.М., Шайхутдинов Ф.Ш., Сафин А.Р. Формирование урожая и посевных качеств семян яровой пшеницы в зависимости от различной крупности и выравненности посевного материала в условиях Предкамской

зоны лесостепи Поволжья // Вестник Казанского ГАУ. 2013. Т. 8. № 3 (29). С. 135-138. DOI 10.12737/1381.

Serzhanov I.M., Shaykhutdinov F.S., Safin A.R. Formation of the harvest and sowing qualities of spring wheat seeds, depending on different seed size and uniformity in the forest-of Kama of Volga steppe zone // The Herald of Kazan State Agrarian University. 2013. Vol. 8. № 3 (29). P. 135–138 (in Russian).

5. Карпова Л.В., Зиновьев С.В. Методы отбора и приемы ускоренного размножения оригинальных семян яровой пшеницы // Известия Оренбургского ГАУ. 2008. № 3 (19). С. 22–24.

Karpova L.V., Zinovyev S.V. Methods of original spring wheat seeds selection and rapid propagation // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2008. № 3 (19). P. 22–24 (in Russian).

6. Карпова Л.В. Приемы ускоренного размножения оригинальных семян яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Нива Поволжья. 2013. № 3 (28). С. 15–21.

Karpova L.V. Methods of accelerated reproduction of original seeds of spring soft wheat in the conditions of forest-steppe of the middle Volga region // Niva Povolzhya. 2013. № 3 (28). P. 15–21 (in Russian).

7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2. М., 1989. 194 с.

Technique of state variety testing of agricultural crops. V. 2. M., 1989. 194 p. (in Russian).

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Dospexov B.A. Technique of field experiment. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).

9. Глуховцев В.В., Зудилин С.Н., Кириченко В.Г. Основы научных исследований в агрономии. Самара, 2008. 290 с.

Glukhovtsev V.V., Zudilin S.N., Kirichenko V.G. Fundamentals of scientific research in agronomy. Samara, 2008. 290 p. (in Russian).

УДК 630*231.1:574.42

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОПАДА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА

Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И.

Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН, Кемерово, e-mail: kolmogorova_elena@bk.ru

Химический состав растительного опада оказывает непосредственное воздействие на аллелопатический режим ценопопуляций. Растительные сообщества, произрастающие на отвалах Кузбасса, находятся на начальной стадии своего формирования, направленность которого зависит от видов-эдификаторов. В насаждениях сосны обыкновенной на отвалах распределение опада характеризуется выраженной мозаичностью, в соответствии с зонированием пространства на подкроновые, прикроновые и внешние зоны фитогенных полей деревьев. С целью определения признаков зонирования на вещественном уровне проведены исследования химического состава опада, взятого в разных зонах влияния деревьев при различной сомкнутости крон на отвалах Кедровского угольного разреза. Определено, что среднее содержание общего фосфора в опаде достигает максимума в подкроновых и прикроновых зонах сомкнутых насаждений – до 0,6–0,86%. Содержание азота равномерно возрастает в течение вегетационного периода – от 0,2% до 2,18% – во всех градациях сомкнутости. Накопление дубильных веществ наиболее интенсивно протекает во внешних зонах редин – 0,85–0,88%, что свидетельствует о слабом влиянии сосны обыкновенной на содержание этой группы веществ в опаде. Фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью и подавляют всхожесть семян. Биотестирование показало, что горчица хуже всего взошла во внешней зоне редин – 14,67%. Максимальная всхожесть отмечена в подкроновой зоне высокосомкнутых насаждений – 33,67%. Длина проростка меньше всего также во внешней зоне редин. Это свидетельствует о заметном влиянии разнотравно-злаковой растительности на аллелопатические свойства опада редин сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

Ключевые слова: отвалы, Pinus sulvestris L, опад, аллелопатия, фитогенное поле

SOME PECULIARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SCOTCH PINE DEBRIS, GROWING UNDER CONDITIONS OF COAL PIT

Kolmogorova E.Yu., Ufimtsev V.I.

Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS, Kemerovo, e-mail: kolmogorova_elena@bk.ru

The chemical composition of a vegetable debris makes direct impact on the allelopathic mode of cenopopulation. The vegetable communities growing on dumps of Kuzbass are at an initial stage of the formation which orientation depends on edificator species. In plantations of Scots pine on dumps, the distribution of debris is characterized by pronounced mosaicity, in accordance with the zoning of space on the subcrown, near-front and outer zones of the phytogenic fields of trees. In order to determine the signs of zoning at the material level, studies were conducted on the chemical composition of debris taken in different zones of tree influence at different crown density on the dumps of the Kedrovsky coal mine. It is defined that in debris the average content of the general phosphorus reaches a maximum in internal and transitional zones of close plantings – to 0.6–0.86%. Content of nitrogen evenly increases during the vegetative period – from 0.2% up to 2.18% in all gradation of density. Accumulation of tannins most intensively proceeds in external zones of light forests – 0.85–0.88%, that demonstrates weak influence of a pine forestry on keeping of this group of substances in debris. Phenolic compounds have a high allelopathic activity. Biotesting showed that mustard was worst of all in the outer zone of the forest – 14.67%. The maximum germination rate was noted in the subcrown zone of highly closed stands – 33.67%. The length of the seedling is also the smallest in the outer zone of light forests.

Keywords: dumps, Pinus sylvestris L, debris, allelopathy, phytogenous field

Древесные насаждения, произрастающие на отвалах Кузбасса, характеризуются большим спектром таксационных характеристик и различаются по составу пород [1], что в значительной степени определяет выраженную мозаичность почвенно-растительного покрова. В связи с этим требуется дифференцированный подход при оценке аллелопатического влияния отдельных деревьев и древостоев в целом.

В лесных фитоценозах, благодаря опаду древесных растений, формируется мощная лесная подстилка, которая способствует поступлению в почву продуктов, продуцируемых растением, в том числе на основе извлекаемых из почвы соединений. Основу этих продуктов составляют органические (углеводы, лигнин, дубильные вещества, смолы и др.) и минеральные соединения, которые обладают высокой гетерогенностью и значительной вариабельностью в зависимости от состава древесных пород, таксационных характеристик, а также условий произрастания [2, 3].

В течение вегетационного периода формирование продукции у растений может варьировать в широком диапазоне, среди основных элементов питания наиболее ста-

бильно накопление азота, калий обладает наибольшей концентрацией в начале лета, а доля кальция, наоборот, возрастает к осени. Содержание остальных веществ, как правило, имеет тенденцию к сокращению в течение вегетации, вследствие снижения метаболической активности растительных организмов и сокращению выноса элементов питания из почвы.

Поскольку совокупность веществ, продуцируемых растением и попадаемых обратно в почву, оказывает аллелопатическое воздействие – как положительное, так и отрицательное – одним из направлений исследования механизмов трансформации лесных сообществ является изучение химизма аллелопатии, а именно – состава лесной подстилки в зависимости от экологических факторов в насаждении [4]. На отвалах угольной промышленности, резко отличающихся от свойств исходных экосистем, изучение химического состава подстилки является наиболее актуальным направлением исследований.

Цель исследования: изучение свойств опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

На состав и скорость разложения опада в лесных сообществах влияет почвенная биота (бактерии, микомицеты, сапрофиты и др.) в совокупности с условиями среды (температурный и водный режимы, литологический и механический состав, инсоляция). Попадая на поверхность почвы, продукты жизнедеятельности деревьев претерпевают частичную минерализацию, сопровождающуюся гумификацией, выщелачиванием, окислением, элювиальными процессами.

Так, Н.М. Матвеев, И.И. Лыженко [5] показали, что в насаждениях клёна остролистного в биогеоценозах с различным типом увлажнения отличалось содержание в опаде свободных аминокислот и сахаров.

Существенным фактором разложения продуктов опада являются антропогенные факторы: рубка деревьев, пастьба сельскохозяйственных животных, вытаптывание, разжигание костров, привнесение фитоинвазий. К настоящему времени, несмотря на актуальность вопросов воздействия антропогенеза на трансформацию экосистем, публикации на тему антропогенного воздействия на структуру и динамику растительного опада встречаются достаточно редко. Однако результаты исследований позволяют предусмотреть последствия тех или иных воздействий хозяйственной деятельности человека.

Данная статья представляет начальные результаты изучения химического состава опада сосны обыкновенной в условиях породного отвала в Кемеровской области. Мы ограничились сравнением содержания ряда элементов, входящих в состав опада, не рассматривая влияния различных факторов, характерных для изучаемого местообитания.

Материалы и методы исследования

Характеристика объектов исследования

Объекты исследования – лесные насаждения, произрастающие на рекультивированных отвалах вскрышных пород Кедровского угольного разреза. Пробные площади заложены в молодняках сосны обыкновенной II класса возраста – от 28 до 35 лет. Техногенный элювий участков рекультивации состоит из разнородной массы песчаников на различной основе, агриллитов и конгломератов, с некоторой долей (до 5%) суглинков и глин. Пробные площади ранжировались по градациям сомкнутости лесного полога: редкостойные (редины) (20–30%), среднесомкнутые (50–60%) и высокосомкнутые (80–90%). На каждом участке по основным параметрам напочвенного покрова [6] устанавливались подкроновые, прикроновые (межкроновые) и внешние зоны.

Высокосомкнутые древостои мёртвопокровные, травянистые виды представлены единичными экземплярами. Хорошо выражены подкроновые и прикроновые участки, признаков внешних зон нет. В подкроновых зонах отмечается 7 видов, хорошо развита двухслойная (опадный и ферментативный слои) лесная подстилка из соснового опада мощностью 4 см. До 30% площади массива занимают прикроновые зоны, в которых мощность подстилки меньше – до 2 см – слой подстилки состоит также из опада сосны. Доля мохового проективного покрытия – не более 20%, травянистый ярус слаборазвитый – до 10%, видовое обилие – 21 вид, из них доминируют *Agrostis gigantea* Roth., 5%, *Amoria repens* (L.) C. Presl., до 5%, *Elytrigia repens* (L.) Desv. Ex Nevski, около 1%. Величина живой надземной фитомассы незначительна – $78 \pm 11{,}6$ г/м^2 воздушно-сухой массы – что определяет участие травянистых видов в генезисе эмбриозёмов как несущественное.

В среднесомкнутых насаждениях подкроновые и прикроновые зоны выделяются четко, как по абиотическим факторам, так и по характеру подстилки и состоянию травостоя, внешние зоны не развиты. Пре-

обладают подкроновые зоны – около 40% площади, подстилка средней мощностью 6 см состоит в основном из хвои сосны. Участие травянистых видов увеличивается до 3%, количество видов – 8. В прикроновых зонах моховое покрытие достигает 30%, а в подстилке отмечается сосновый опад мощностью до 1 см. Доминанируют *Melilotus officinalis* L., свыше 10%, *Agrostis gigantea* – 5%, *Gypsophila perfoliata* – около 1%. Средняя величина живой надземной фитомассы – 156 ± 18 г/м^2.

Редины характеризуются чётким разграничением пространства на подкроновые, прикроновые и внешние зоны. Подкроновые достигают 30% всей площади, определяются по сплошной подстилке средней мощности 8 см и среднеразвитым травянистым ярусом с проективным покрытием до 25%. Здесь отмечается 12 травянистых видов, доминируют представители злаков – *Poa angustifolia* L. – 15% и выше, *Agrostis gigantea* – до 5%, а также равномерно размещен подрост *Pinus sylvestris,* составляющей до 10% площади яруса. Надземная фитомасса – 370 ± 45 г/м^2.

Отбор подстилки проводился 20 мая, 20 июля и 20 сентября – в начале, середине и в конце вегетации. Точки отбора проб располагали в соответствии с зонированием фитогенных полей, для чего под модельными деревьями закладывали учетные площадки размером 30×60 см с ориентацией поперек радиальной линии. Лабораторная подготовка образцов состояла в высушивании до воздушно-сухого состояния и взвешивании. Перед проведением исследований из средних образцов выделяли аналитические пробы, материал которых подлежал измельчению до фракций размером 1 мм. Абсолютно сухая масса образцов определялась с помощью сушильного шкафа при температуре 105 °С в бюксах в течение 4 часов и взвешивании на лабораторных весах ВМ213М-II. Также в аналитических пробах методом мокрого озоления определяли общее содержание азота и фосфора [7]. По методу Левенталя – Нейбауера в сухом растительном сырье определяли содержание дубильных веществ [8].

Содержание аллелопатических соединений в опаде определяли методом биопроб [9] на тест-культурах горчицы (*Sinapis alba* L.). За сутки перед проращиванием готовили вытяжки из аналитических проб опада каждой зоны на основе воды – 1:100. Для контроля вместо воды использовали талый снег. Помещали 100 семян горчицы в чашку Петри и проращивали в термостате при температуре + 28 °, делали по 3 повторности для каждой площадки. При прорастании 50% семян в контроле подсчитывали всхожесть. Так как горчица прорастает через трое суток, то длину проростка подсчитывали в эти сроки.

Математическая обработка данных проведена при помощи *Excel* и *Statistica 6.1.*

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение проб опада, сформированного деревьями сосны обыкновенной позволило получить ряд данных, которые представлены на рис. 1.

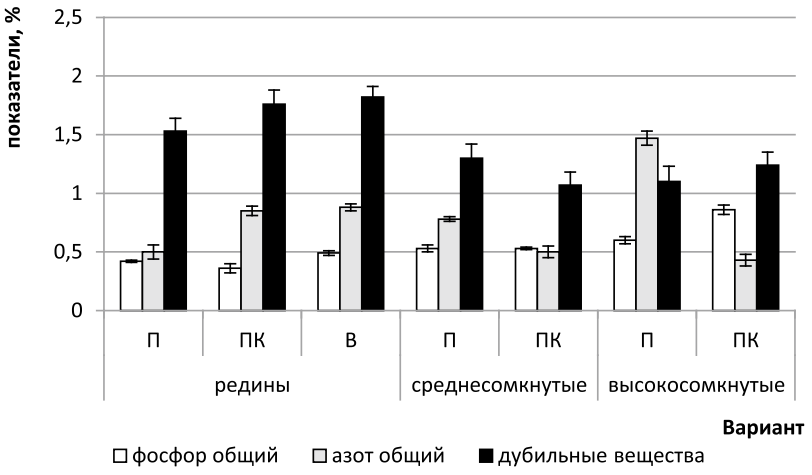


Рис. 1. Оценка некоторых показателей химического состава опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях отвала (средние данные май – сентябрь 2017 г.).
Примечание: зоны фитогенных полей: П – подкроновые; ПК – прикроновые; В – внешние

Изучение содержания фосфора в опаде сосны обыкновенной показало различия в накоплении этого элемента с мая по сентябрь. Установлено, что в зоне редин наблюдается постепенное накопление фосфора с мая по сентябрь (от 0,28 до 0,63% соответственно). В опаде сосны, собранном в фитогенных зонах среднесомкнутых и высокосомкнутых насаждений, содержание фосфора в июле почти в 2 раза ниже, чем в мае и сентябре. Например, в прикроновой зоне среднесомкнутых насаждений – 0,6; 0,33 и 0,65% в мае, июле и сентябре.

Средние данные за май – сентябрь 2017 г. показали, что максимальное содержание данного элемента в опаде отмечено под деревьями сосны обыкновенной в высокосомкнутых насаждениях подкроновой и прикроновой зон – 0,60 и 0,86% соответственно.

По литературным данным известно, что содержание азота в опаде древесных растений составляет от 0,6 до 2,04% от массы сухого вещества [10–12]. Проведенные исследования показали, что на всех площадках наблюдения азот накапливается в опаде равномерно с мая по сентябрь. В фитогенных зонах редин от 0,22 до 2,14%, среднесомкнутых насаждений – от 0,20 до 1,15%, выскосомкнутых – от 0,20 до 2,18% с мая по сентябрь соответственно.

Из литературных источников известно, что в олиготрофных условиях (при недостатке питания) растения вынуждены извлекать питательные вещества из почвы более интенсивно [13, 14]. В опаде содержатся многие питательные вещества необходимые растениям и при деструкции опада они вновь усваиваются, что обеспечивает устойчивое функционирование насаждений сосны обыкновенной в условиях отвала.

Известно, что фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью [15], поэтому интересно было сравнить накопление дубильных веществ в опаде сосны на изучаемых площадках.

Наши исследования показали, что содержание дубильных веществ в опаде на всех площадках наблюдения минимальное в мае (от 0,26 до 1,21%). В июле дубильные вещества накапливаются от 1,3 до 2,25%. В сентябре их содержание такое же, как и в июле, с минимумом 1,3% в прикроновой зоне среднесомкнутых насаждений и максимумом 2,25% во внешней зоне редин.

Средние данные за май – сентябрь показали, что максимальное содержание дубильных веществ отмечено в опаде всех фитогенных зон редин – 0,50% в подкроновой зоне, 0,85% в прикроновой и 0,88% во внешней.

Биотестирование показало, что горчица хуже всего взошла во внешней зоне редин – 14,67%. Максимальная всхожесть отмечена в подкроновой зоне высокосомкнутых насаждений – 33,67%. Длина проростка меньше всего также во внешней зоне редин (рис. 2).

Так как фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью, подавляют всхожесть семян, мы сравнили содержание дубильных веществ в опаде изучаемых зон и всхожесть горчицы в водных

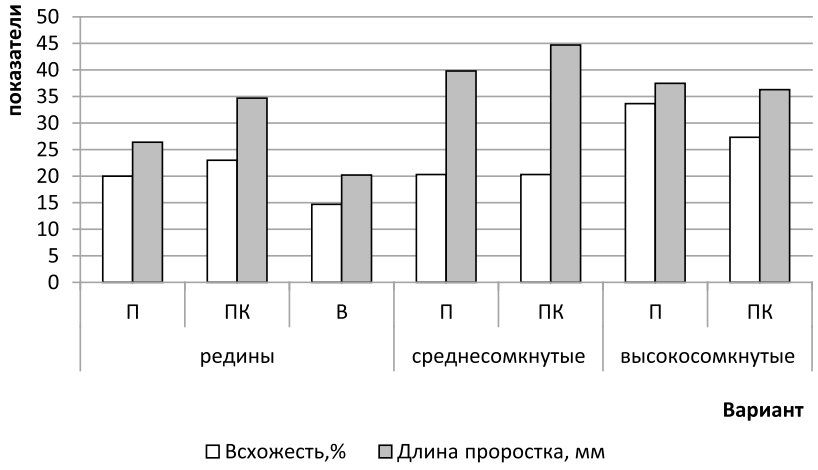


Рис. 2. Влияние аллелопатических веществ, содержищихся в опаде, на всхожесть (%) и длину проростков (см) горчицы. Примечание: зоны фитогенных полей: П – подкроновые; ПК – прикроновые; В – внешние

вытяжках, полученных из аналитических проб из тех же фитогенных зон. Сравнение показало, что чем выше содержание дубильных веществ в опаде, тем ниже всхожесть семян горчицы. Так, во внешней зоне редин отмечено максимальное содержание дубильных веществ – 1,82%, а всхожесть семян горчицы самая низкая – 14,67%. Та же тенденция соблюдается и в других вариантах (таблица).

Оценка влияния дубильных веществ на всхожесть семян горчицы в фитогенных полях сосны обыкновенной, произрастающей в условиях отвала

Фитогенные зоны	Дубильные вещества (средние данные за май – сентябрь 2018 г.),%	Всхожесть горчицы,%
Зона редин		
Подкроновая	1,53	20
Прикроновая	1,76	23
Внешняя	1,82	14,67
Зона среднесомкнутых насаждений		
Подкроновая	1,30	20,33
Прикроновая	1,07	20,33
Зона высокосомкнутых насаждений		
Подкроновая	1,10	33,67
Прикроновая	1,24	27,33

Заключение

Таким образом, сосна обыкновенная в условиях породного отвала способствует накоплению общего фосфора, что проявляется в накоплении этого элемента в опаде прикроновых и подкроновых зон деревьев и возрастает при увеличении сомкнутости крон. Содержание общего азота зависит, в свою очередь, от сезонных колебаний этих веществ, вне зависимости от пространственной структуры сосновых насаждений. Дубильные вещества накапливаются во внешних зонах редин, чему способствует травянистая растительность, поскольку влияние деревьев в этих зонах существенно ослабевает.

В ходе исследований нами отмечено наибольшее подавление развития тест-культуры во внешней зоне редин, что свидетельствует о заметном влиянии разнотравно-злаковой растительности, составляющей большую часть опада в этой зоне, на аллелопатические свойства сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов in situ и ex situ № 0352-2016-0002».

Список литературы / References

1. Уфимцев В.И. Влияние экологических условий на состояние насаждений сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) на отвалах Кузбасса. автореф. дис. … канд. биол. наук. Томск, 2011. 16 с.

Ufimtsev V.I. The influence of environmental conditions on the condition of pine plantation (Pinus sylvestris L.) on Kuzbass dumps. dis. … cand. biol. nauk. Tomsk, 2011. 16 p. (in Russian).

2. Благодатский С.В. Микробная биомасса и моделирование цикла азота в почве: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пущино, 2011. 50 с.

Blagodatsky S.V. Microbial biomass and nitrogen cycle simulation in soil: author. dis. ... Dr. biol. sciences. Pushchino, 2011. 50 p. (in Russian).

3. Ведрова Э.Ф., Решетникова Т.В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесообразующих видов Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.

Vedrova E.F, Reshetnikova T.V. The mass of litter and the intensity of its decomposition in 40-year-old cultures of the main forest-forming species of Siberia // Forest Science. 2014. № 1. P. 42–50 (in Russian).

4. Передериева В.М., Власова О.И., Шутко А.П. Аллелопатические свойства сорных растений и их растительных остатков в процессе минерализации // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 73 (09). URL: http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf (дата обращения: 09.11.2018).

Pederieva V.M., Vlasova O.I., Shutko A.P. Allelopathic properties of weeds and their plant residues in the process of mineralization // Scientific journal KubGAU. 2011. № 73 (09). URL: http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf (date of access: 09.11.2018) (in Russian).

5. Матвеев Н.М., Лыженко И.И. К вопросу о специфичности растительных выделений в биотопах лесных биогеоценозов степной зоны // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне. 1978. Вып. 3. С. 15–33.

Matveev N.M., Lyzhenko I.I. On the question of the specificity of plant excretions in biotopes of forest biogeocenoses of the steppe zone // Voprosy` lesnoj biogeocenologii, e`kologii i oxrany` prirody` v stepnoj zone. 1978. V. 3. P. 16–33 (in Russian).

6. Уранов А.А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. 1965. Т. 1. С. 251–254.

Uranov A.A. Phytogenic field // Problems of modern botany. 1965. T. 1. P. 251–254.

7. Кидин В.В. Практикум по агрохимии: учебное пособие для вузов. М.: Колос, 2008. 599 с.

Kidin V.V. Workshop on agrochemistry. Textbook for universities. M.: Kolos, 2008. 599 p. (in Russian).

8. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащее антраценпроизводные, простые фенолы, лигнины, дубильные вещества: учебное пособие для вузов. Воронеж, 2007. С. 50–51.

Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmalkova I.E. Medicinal plants and medicinal plant raw materials containing anthracene derivatives, simple phenols, lignins, tannins. Textbook for universities. Voronezh, 2007. P. 50–51 (in Russian).

9. Гродзинский А.М. Парадигмы в аллелопатии // Методологические проблемы аллелопатии: сб. науч. тр. АН УССР. ЦРБС. Киев: Наукова думка, 1989. С. 3–14.

Grodzinsky A.M. Paradigms in allelopathy // Methodological problems of allelopathy: Sat. scientific tr. AN USSR. CRPS. Kiev: Naukova Dumka, 1989. P. 3–14 (in Russian).

10. Решетникова Т.В. Формирование органического вещества почвы в культурах основных лесообразующих пород

Сибири: автореф. дис. … канд. биол. наук. ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Красноярск, 2015. 16 с.

Reshetnikova TV Formation of soil organic matter in cultures of the main forest-forming rocks of Siberia: dis. ... cand. biol. nauk. FGBUN Institute of Forest. V.N. Sukachev SB RAS. Krasnoyarsk, 2015. 16 p. (in Russian).

11. Решетникова Т.В., Распопина Т.К. Лесная подстилка в насаждениях хвойных и лиственных пород Сибири // Материалы региональной очно-заочной экологической конференции «Экология. Рациональное природопользование». Красноярск, 2010. С. 97–99.

Reshetnikova T.V., Raspopina T.K. Forest litter in plantations of coniferous and deciduous species of Siberia // Materials of the regional part-time ecological conference «Ecology. Rational nature management. Krasnoyarsk, 2010. P. 97–99 (in Russian).

12. Решетникова Т.В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 12. С. 75–82.

Reshetnikova T.V. Forest litters as a depot of biogenic elements // Vestnik KrasGAU. 2011. № 12. P. 75–82 (in Russian).

13. Подоль С.Р., Попова З.И. Распределение и динамика химических элементов в сосновых биогеоценозах Мещерского полесья. // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2015. № 2. С. 87–92.

Podol S.R., Popova Z.I. Distribution and dynamics of chemical elements in pine ekosystems Meshchersky Woodland // Russian Medical Biological Bulletin named after academician I.P. Pavlova. 2015. № 2. P. 87–92 (in Russian).

14. Мухортова Л.В. Анализ трансформации лесной подстилки в25-летних хвойных культурах // Лесоведение. 2008. № 5. С. 36–44.

Mukhortova L.V. Analysis of the transformation of forest litter in 25-year-old coniferous crops // Forest Science. 2008. № 5. P. 36–44 (in Russian).

15. Райс Э. Аллелопатия. М., 1978. 392 с.

Rice E. Allelopathy. M., 1978. 392 p. (in Russian).

УДК 631.67:631.153.3:633.3:632.7

СОСТАВ И СТРУКТУРА ОРОШАЕМЫХ СЕВООБОРОТОВ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ЭНТОМОКОМПЛЕКСАМИ

[1]Комарова О.П., [2]Карпова Т.Л.

[1]ФГБНУ «Всероссийский НИИ орошаемого земледелия», Волгоград, e-mail: komarova62@rambler.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, e-mail: calosoma.00@mail.ru

В статье рассмотрена роль севооборотов с наличием многолетних бобовых трав в управлении фитосанитарной ситуацией в агроценозах сельскохозяйственных культур за счет регулирования численности и видового разнообразия насекомых, оптимизации соотношения фито- и энтомофагов, поддерживающих численность фитофагов на уровне ниже экономических порогов вредоносности. Представлены результаты многолетнего (1988–2017 гг.) изучения энтомокомплексов орошаемых севооборотов в Нижнем Поволжье. Показана средообразующая роль состава культур севооборота как первого звена трофических цепей в формировании фауны вредителей и энтомофагов. Рассмотрено влияние фенологии растений на их заселенность фито- и энтомофагами. Исследованиями установлено, что важная роль в формировании состава и структуры энтомокомплексов принадлежит микроклимату, создающемуся в фитоярусе агроценозов. Результаты исследований указывают на неустойчивость энтомокомплексов севооборотов с наличием только пропашных культур, невозможность его саморегулирования. В статье рассмотрено значение многолетних бобовых трав (люцерны) в севооборотах как резервата и стации пережидания жужелиц, доминирующих среди энтомофагов напочвенного яруса. Оптимальные условия, создающиеся в посевах многолетних трав, ведут к увеличению численности и видового разнообразия представителей этого семейства, среднесезонная численность которых за период наблюдений оказалась в 2,2–2,8 раза выше, чем в посевах ячменя, озимой пшеницы, картофеля, и в 4,4 раза выше, чем на кукурузе. Показано, что наличие в структуре севооборотов многолетних трав, расположенных вблизи полей пропашных культур, испытывающих значительные антропогенные нагрузки, способствует увеличению видового разнообразия насекомых, росту численности и равномерному распределению энтомофагов и паразитов. В результате повышается стабильность энтомокомплексов агроценозов, сокращается пестицидная нагрузка на агроландшафты.

Ключевые слова: энтомофауна, управление, видовой состав, численность, севообороты, агроценозы, агроландшафты, Нижнее Поволжье

COMPOSITION AND STRUCTURE OF IRRIGATED CROP ROTATIONS AS BASIS FOR ENTOMOCOMPLEXES` MANAGEMENT

[1]Komarova O.P., [2]Karpova T.L.

[1]The All-Russian scientific research institute of the irrigated agriculture, Volgograd, e-mail: komarova62@rambler.ru;
[2]Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: calosoma.00@mail.ru

The article shows the role of crop rotations with the presence of perennial legumes in controlling the phytosanitary situation in agrocenoses of crops by regulating the number and species diversity of insects, optimizing the ratio of phytomagnets and entomophages supporting the number of phytophages at the level of economic thresholds of harmfulness. The results of the long-term study (1988-2017) of the entomocomplexes of irrigated crop rotations in the Lower Volga region are presented. The environment-forming role of the crop rotation and crop composition as the first link of trophic chains in the formation of the fauna of pests and entomophages is shown. The influence of the plant phenology on their population by phyto- and entomophages has been considered. Research has established that an important role in the formation of the composition and structure of entomocomplexes belongs to the microclimate created in the agrocenosis phyto layer. Research results indicate the instability of entomocomplexes of crop rotations with the presence of only row crops, the impossibility of its self-regulation. The article considers the value of perennial leguminous grasses (alfalfa) in crop rotations as a reserve and waiting station for ground beetles, which are dominant among ground entomophages. The optimal conditions created in the perennial grasses crops lead to increasing in the number and species diversity of representatives of this family, the average seasonal number of which over the observation period was 2.2-2.8 times higher than in the crops of barley, winter wheat, potatoes and 4, 4 times higher than on corn. It is shown that the presence of perennial grasses in the crop rotation structure located near the fields of tilled crops experiencing significant anthropogenic pressures, contributes to an increase in the species diversity of insects, an increase in the number and uniform distribution of entomophages and pests. As a result, the stability of entomocomplexes of agrocenoses is increased, the pesticidal load on agrolandscapes is reduced.

Keywords: entomofauna, control, species composition, number, crop rotations, agrocenosis, agrolandscapes, Lower Volga area

Последовательный переход к устойчивому развитию сельского хозяйства в целях обеспечения продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижения технологических рисков в агропромышленном комплексе определен как главное направление научно-технологического развития Россий-

ской Федерации [1]. В решении вопросов повышения устойчивости аграрного производства важная роль принадлежит блоку защиты растений, что определяется значительной вредоносностью фитофагов, болезней и сорняков, ущерб от которых в отдельные годы достигает 25–30 % [2].

В литературе достаточно широко представлены результаты исследований по защите сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков в севооборотах в различных почвенно-климатических зонах России [3–5]. Вместе с тем недостаточно изучена роль научно обоснованных севооборотов с насыщением многолетними травами и с пропашными культурами в управлении фитосанитарной ситуацией агроценозов, в частности видовым составом и численностью энтомофауны. Особенно актуальна поставленная проблема в условиях орошения в аридной зоне Нижнего Поволжья, характеризующейся достаточно высокой обеспеченностью земельными, водными и тепловыми ресурсами, но недостаточным атмосферным увлажнением. Сосредоточение на юге России значительной площади орошаемых земель и стремление увеличить объем получаемой с них продукции повышает значимость блока защиты растений в условиях орошаемого земледелия, где на фоне более высокой урожайности использование средств защиты растений показывает более высокую экономическую эффективность.

Цель исследования заключается в поиске путей управления составом и структурой энтомокомплексов в орошаемых полевых севооборотах для формирования стабильных саморегулируемых энтомоценозов и, соответственно, снижения пестицидной нагрузки на агроценозы.

Материалы и методы исследования

Изучение видового состава, численности насекомых в целях управления энтомокомплексами в полевых орошаемых севооборотах проводилось нами в 1988–2017 гг. в ФГУП «Орошаемое» (Волгоград), являющемся экспериментальной базой Всероссийского НИИ орошаемого земледелия. Изучение полезных и вредных видов насекомых проводилось в севообороте с 50 %-ным насыщением многолетними травами (люцерна под покровом ячменя, люцерна, люцерна, кукуруза/зерно, кукуруза/силос, озимая пшеница + пожнивные) и в севообороте, включающем только пропашные культуры (горохово-подсолнечниковая смесь, кукуруза/зерно, соя, кукурузо-подсолнечниковая смесь, кукурузо-соевая смесь). Способ полива – дождевание, режимы орошения зерновых культур – предполивной порог влажности 70 % НВ, кормовых культур – 80 % НВ.

Для изучения видового состава и динамики численности энтомофауны фитояруса и герпетобия использовали соответственно метод кошения энтомологическим сачком и учетов почвенными ловушками по общепринятым и усовершенствованным методикам [6, 7]. Учеты проводили в течение вегетационного сезона (апрель – сентябрь) еженедельно.

Климат района исследований засушливый резко континентальный, продолжительность солнечного сияния здесь составляет 1800–2400 часов в год, период вегетации – 160–180 дней, сумма температур воздуха выше 5 °С – 3000–3900 °С. Переход к положительным среднемесячным температурам весной наблюдается в апреле-марте. Отрицательные среднемесячные температуры осенью устанавливаются в ноябре-декабре. Самым теплым в период исследований был июль (средняя температура + 23,9 °С, максимум – + 40,1 °, самым холодным – январь (средняя температура –9,6 °С). Абсолютный минимум температуры воздуха зимой составил –29,4 °С. За период вегетации в годы проведения исследований выпадало 176–200 мм. Колебания годовой их суммы составили от 250 до 320 мм. Почвы опытного участка светло-каштановые тяжелосуглинистые.

Результаты исследования и их обсуждение

При рассмотрении севооборотов с насыщением многолетними травами (50 %) и севооборотов с участием только пропашных культур установлено, что в них складываются неравноценные условия для обитания энтомофауны. В первую очередь среди факторов, оказывающих влияние на изменение состава и структуры энтомокомплексов, следует указать состав культур. В трофических цепях «растение – фитофаги – энтомофаги» растения, как первичное звено, становятся основой для формирования комплексов насекомых – консументов второго и третьего порядков. Причем пищевой фактор особенно важен для избирательно питающихся видов насекомых – моно- и олигофагов [8].

Кроме того, формирование энтомофауны в значительной степени зависит от фенологии культуры, а также от микроклимата, создающегося в агроценозах.

Наиболее благоприятные условия для обитания, развития и размножения насекомых складываются в севооборотах с наличием многолетних бобовых трав. В таких севооборотах создается широкий спектр условий для обитания видов с самыми разными экологическими предпочтениями. Вегетация многолетних культур в течение всего года позволяет насекомым проходить полный цикл развития на одном поле. Кроме того, на многолетних травах в сравнении с пропашными культурами минимально антропогенное воздействие, в первую очередь обработки почвы, отсутствие которых благоприятно сказывается на развитии фаз насекомых, связанных с почвой.

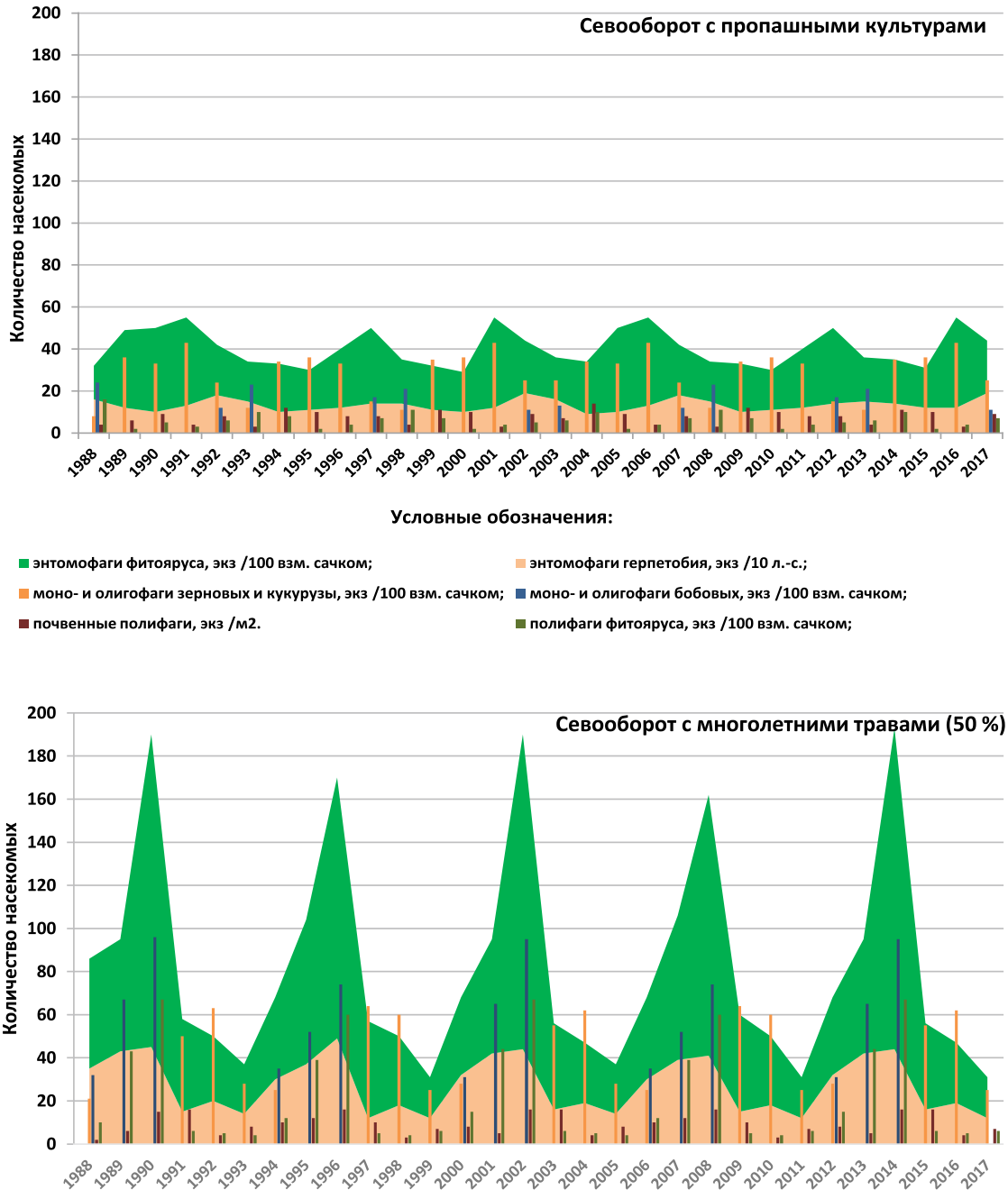


Рис. 1. Динамика численности основных трофических групп насекомых в орошаемых полевых севооборотах (ФГУП «Орошаемое», 1988–2017 гг.)

В результате создания в севооборотах с участием многолетних трав оптимальных условий для всех трофических групп насекомых (фитофагов, энтомофагов, паразитов и опылителей) формируются полидоминантные энтомокомплексы со значительным видовым разнообразием. Согласно нашим исследованиям, только в энтомоценозе люцерны зарегистрировано 254 вида насекомых, из которых 10–15 относятся к доминантам и субдоминантам, тогда как из 86 видов, отмеченных на пропашной культуре (кукурузе), в состав доминирующей группы входит 6–8 видов. Увеличение биоразнообразия энтомокомплексов на посевах многолетних трав в сравнении с посевами пропашных способствует созданию устойчивых энтомологических сообществ, в которых поддерживаются процессы саморегулирования, что способствует поддержанию экологической стабильности в агроценозах.

Анализируя динамику численности основных трофических групп насекомых (рис. 1), следует отметить, что обилие энтомофагов и паразитов в севообороте с 50 %-ным насыщением многолетними травами в 2,4–2,7 раза превышает численность полезной энтомофауны в севообороте с пропашными. Соотношение численности энтомофагов и фитофагов составляет здесь 1:4,7–1:6,7, как указано в работе А.Т. Демчук с соавторами [9], при таком соотношении возможна саморегуляция энтомокомплекса.

В севообороте с наличием только пропашных культур складывается особенно неблагоприятная фитосанитарная ситуация. Значительный антропогенный прессинг, заключающийся в постоянных интенсивных механических воздействиях с применением химических средств защиты растений, образование растительного покрова необходимого для создания оптимального для мезофильных энтомофагов микроклимата только в начале лета в момент активного накопления биомассы пропашными культурами и до завершения их вегетации приводят к формированию здесь монодоминантных энтомологических сообществ с низким видовым разнообразием. Результатом этого является нестабильность биоценоза. Энтомофаги и паразиты вынуждены мигрировать на посевы многолетних трав, поскольку в агроценозах пропашных для абсолютного большинства видов нет возможности полностью закончить цикл развития. Согласно многолетним наблюдениям, здесь зарегистрирована самая низкая численность полезной энтомофауны, не превышающая по всем годам исследований 58 экз/100 взмахов сачком в среднем за сезон. Вместе с тем, среднесезонное обилие видов, повреждающих сельскохозяйственные культуры, и, соответственно, их вредоносность в 1,3 раза выше.

Велика роль севооборотов с наличием многолетних трав в накоплении представителей одного из важнейших семейств напочвенной энтомофауны – жужелиц, доминирующих среди герпетобионтов [10]. Многолетние травы являются резерватами и стациями пережидания жужелиц, средняя численность которых за период наших наблюдений в 2,2–2,8 раза выше, чем в посевах ячменя, озимой пшеницы, картофеля и в 4,4 раза выше, чем на кукурузе (рис. 2).

Анализ трофической структуры комплексов жужелиц показывает, что на разных культурах севооборота зоофаги составляют от 26 до 52,0 %, вместе с тем виды со смешанным питанием (миксофитофаги) не наносят существенного вреда возделываемым культурам и также являются эффективными регуляторами численности фитофагов [11].

Как показано ранее, благоприятный микроклимат на посевах многолетних бобовых трав, формирующийся в напочвенном ярусе, фенологические особенности культуры и пониженный антропогенный прессинг ведут здесь к увеличению численности и видового разнообразия представителей жужелиц [10]. Пропашные культуры, вегетационный период которых длится только несколько месяцев весенне-летнего периода, создают значительно менее благоприятные условия для их обитания. Регулярные обработки почвы оказывают «катастрофическое» воздействие на обитателей напочвенного и почвенного ярусов полей пропашных культур и не позволяют большинству из них проходить здесь полный цикл своего развития. Это является основной причиной того, что в этих элементах агроландшафта жужелицы являются временными обитателями. Заселение жужелицами полей пропашных начинается с середины июня, при этом 90 % энтомокомплекса напочвенного яруса составляют мигранты из прилегающих местообитаний, а в его общей численности свыше 70 % принадлежит сверхдоминатному виду – жужелице волосистой (*Harpalus (Pseudoophonus) rufipes* Deg.).

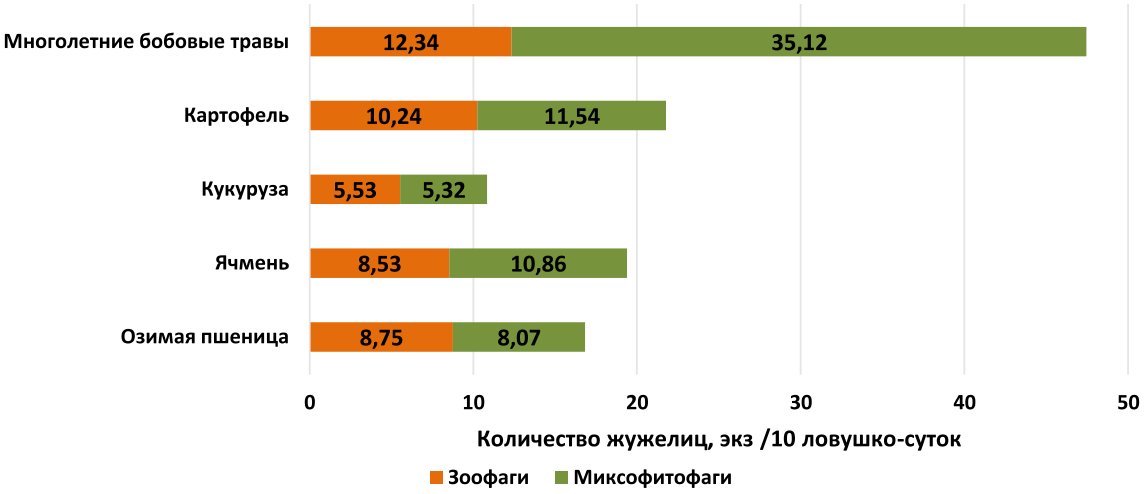


Рис. 2. Трофическая структура комплексов жужелиц по культурам севооборота (среднее за 1988–2017 гг.)

Условия обитания жужелиц на полях с посевами озимых культур существенно более благоприятны для этой группы напочвенных энтомофагов, но нашими исследованиями показано, что к периоду уборки озимых и последующей обработки почвы (июль – начало августа) на этих полях наблюдается максимальная численность и активность личинок красотелов (*Calosoma* spp.), которые в значительной степени гибнут при проведении послеуборочной обработки почвы, особенно при лущении стерни.

Сравнивая роль различных элементов агроландшафта с точки зрения потенциальных источников миграций жужелиц на поля, обеспечивающих их высокую численность и видовое разнообразие в период вегетации выращиваемых культур, следует отметить, что прилегающие естественные биотопы и полезащитные лесополосы характеризуются значительно меньшим обилием этой группы энтомофагов в сравнении с полями, а учитывая незначительную площадь, занимаемую ими в агроландшафте, они не способны обеспечить миграцию на посевы существенного количества особей жужелиц. При этом массовыми здесь являются практически не встречающиеся на полях виды *Carabus hungaricus* F., *Calathus distinguendus* Chaud., *Pterostichus niger* Schall., *Ophonus azureus* F. и др. Они являются источниками редких видов, обеспечивая увеличение общего видового разнообразия на полях, а также служат местами зимовки (в первую очередь – лесополосы) и размножения ряда видов, но не способны обеспечить заметное увеличение их численности на посевах за счет миграций.

Наши исследования показывают, что важнейшим источником миграций жужелиц на поля пропашных, яровых и озимых культур в Нижнем Поволжье являются поля многолетних трав. Резкое возрастание видового разнообразия представителей этого семейства (с 37 до 57 видов) и их суммарной численности (на 60–170 %) на посадках картофеля, граничащих с люцерновыми полями в сравнении с удаленными, наглядно демонстрирует роль многолетних трав в орошаемых севооборотах на Нижней Волге. Результаты наших исследований подтверждаются материалами исследований, проведенными в агроландшафтах Краснодарского края Е.Е. Хомицким, А.С. Замотайловым и др. Авторы отмечают, что «основным направлением передвижения и резервации жужелиц являются агроценозы с люцерной» [12].

Заключение

Исследованиями установлено, что севооборот играет ведущую роль в стабилизации фитосанитарной ситуации в агроценозах сельскохозяйственных культур. Основными факторами, оказывающими влияние на изменение состава и структуры энтомокомплексов, являются состав культур, микроклимат, степень антропогенного воздействия на агроценозы.

Наличие в структуре севооборотов многолетних трав приводит к формированию полидоминантного энтомокомплек-

са, оптимизации соотношения численности фито- и энтомофагов в севообороте за счет активных миграций. В севооборотах с многолетними травами также повышается относительная численность и наблюдается оптимизация распределения хищников, обитающих в напочвенном ярусе агроценозов, среди которых доминируют представители семейства жужелиц (Carabidae).

Таким образом, в севооборотах с многолетними травами повышается стабильность энтомокомплексов агроценозов за счет поддержания процессов саморегулирования энтомоценозов. При этом численность фитофагов не превышает ЭПВ, что способствует сокращению пестицидной нагрузки на агроландшафты.

Список литературы / References

1. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449 (дата обращения: 02.11.2018).

The decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 № 642 «About the Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation». http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449 (date of access: 02.11.2018) (in Russian).

2. Захаренко В.А. Пестициды в интегрированном управлении фитосанитарными рисками чрезвычайных ситуаций, вызываемых особо опасными вредителями в агроэкосистемах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 25–36.

Zaharenko V.A. The Pesticides in the integrated management of phytosanitary risks of the emergency situations caused by especially dangerous wreckers in agroecosystems // Agrohimija. 2016. № 4. P. 25–36 (in Russian).

3. Вислобокова Л.Н., Скорочкин Ю.П., Воронцов В.А. Научные основы совершенствования основной обработки почвы в Тамбовской области // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4. С. 42–47.

Vislobokova L.N., Skorochkin Ju.P., Voroncov V.A. Scientific bases of improvement of the main processing of the soil in the Tambov region // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. 2017. № 4. P. 42–47 (in Russian).

4. Горянин О.И., Горянина Т.А. Перспективы возделывания полевых культур в Среднем Заволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 49–53.

Gorjanin O.I., Gorjanina T.A. Prospects of cultivation of field cultures in the Middle Trans-Volga // Advances in current natural sciences. 2018. № 4. P. 49–53 (in Russian).

5. Денисенко В.В., Бельтюков Л.П., Кувшинова Е.К., Гордеева Ю.В. Влияние технологий возделывания на продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом севообороте // Вестник АПК Ставрополья. 2016. № 1 (21). С. 172–176.

Denisenko V.V., Bel'tjukov L.P., Kuvshinova E.K., Gordeeva Ju.V. The impact of cultivation technologies on the productivity of crops in field crop rotation // Vestnik APK Stavropol'ja. 2016. № 1 (21). P. 172–176 (in Russian).

6. Артохин К.С. Метод кошения энтомологическим сачком // Защита и карантин растений. 2010. № 11. С. 45–48.

Artohin K.S. Entomological sweep-net method // Zashhita i karantin rastenij. 2010. № 11. P. 45–48 (in Russian).

7. Mykhailenko I.L., Smetana O.M. Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem // Питання біоіндикації та екології. 2014. № 19-1. С. 151–156.

Mykhailenko I.L., Smetana O.M. Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem // Pitannja bioindikacii ta ekologii. 2014. № 19-1. P. 151–156 (in Ukrainian).

8. Зубков А.Ф. Агробиоценология на рубеже XX–XXI веков // Актуальные вопросы современных сельскохозяйственных наук: материалы международной научно-практической конференции (г. Екатеринбург, 10 марта 2016 г.). Екатеринбург: ИЦРОН, 2016. С. 27–30.

Zubkov A.F. Agrobiocenology at the turn of XX–XXI centuries // Topical issues of modern agricultural sciences: materials of the international scientific and practical conference (Ekaterinburg, 10 marta 2016 g.). Ekaterinburg: ICRON, 2016. P. 27–30 (in Russian).

9. Демчук, А.Т., Дядечко Н.П., Рубан М.Б. Трипсы на посевах семенной люцерны // Интегрированная защита растений от вредителей и болезней с.-х. культур: сборник научных трудов УСХА. Киев, 1983. С. 11–13.

Demchuk A.T., Djadechko N.P., Ruban M.B. Thrips on seed alfalfa crops // The integrated protection of plants against wreckers and diseases of agricultural cultures: collection of scientific works USHA. Kiev, 1983. P. 11–13 (in Russian).

10. Комаров Е.В., Карпова Т.Л. Состав, структура, распределение герпетобионтных жесткокрылых (Coleoptera) в орошаемом агроландшафте // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–11. С. 2350–2356.

Komarov E.V., Karpova T.L. Composition, structure, distribution of herpetobiont Coleoptera (Carabidae) in irrigated agricultural landscape // Fundamental research. 2014. № 12–11. P. 2350–2356 (in Russian).

11. Комаров Е.В., Карпова Т.Л. Жужелица волосистая Pseudoophonus rufipes Deg. (Coleoptera, Carabidae) на полях Волгоградской области и некоторые особенности ее пищевой специализации // Успехи энтомологии в СССР: жесткокрылые насекомые: материалы 10 съезда Всесоюзного энтомологического общества (Ленинград, 11–15 сентября 1989 г.). Л., 1990. С. 72–74.

Komarov E.V., Karpova T.L. Ground beetle hairy Pseudoophonus rufipes Deg. (Coleoptera, Carabidae) on the fields of the Volgograd region and some features of its food specialization // Achievements of entomology in the USSR: coleopterous insects: materials 10 of a congress of All-Union entomological society (Leningrad, 11–15 sentjabrja 1989 g.). L., 1990. P. 72–74 (in Russian).

12. Хомицкий Е.Е., Замотайлов А.С., Белый А.И., Никитский Н.Б. К изучению миграций комплекса жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроландшафтах Краснодарского края // Биоразнообразие, биоконсервация, биомониторинг: материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Адыгейского государственного университета (Майкоп, 14–16 октября 2015 г.). Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2015. С. 85–88.

Homickij E.E., Zamotajlov A.S., Belyj A.I., Nikitskij N.B. To the study of migration of the complex of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in agricultural landscapes of the Krasnodar territory // Biodiversity, biopreservation, biomonitoring: materials II of the International nauch-but-practical conference devoted to the 75 anniversary of the Adygei state university (Majkop, 14–16 oktjabrja 2015 g.). Majkop: Adygejskij gosudarstvennyj universitet, 2015. P. 85–88 (in Russian).

УДК 632.4:633.11(571.13)

ВИРУЛЕНТНОСТЬ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ ПШЕНИЦЫ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Зверовская Т.С., Сабаева О.Б., Белан И.А.

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Омск, e-mail: Meshkova_LV@mail.ru

Представлены результаты анализа вирулентности природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области за 2015–2017 гг. Определён расовый и генотипический состав 858 монопустульных изолятов патогена с использованием дифференцирующих наборов сортов растения-хозяина. Выявлено 9 физиологических рас гриба: 6, 12, 57, 77, 107, 144, 149, 167 и 184, где доминирует 77 раса с частотой встречаемости от 94,66% в 2015 г. до 99,14% в 2017 г. Ежегодно присутствует в спорообразцах 149 раса, дважды выявлены 57, 144 и 184 расы, остальные зафиксированы в отдельные годы в незначительном количестве. Различия между расами обусловлены генами устойчивости Lr 1, Lr2a, Lr2в и Lr3a или их сочетанием. Анализ монопустульных изолятов на изогенных линиях сорта Thatcher (Tc) с генами устойчивости Lr 1 – Lr 50 показал, что большинство линий были восприимчивы. Линии с генами Lr 41 и LrSp не поражались патогеном. Высокую резистентность (поражение от 0,1 до 10%) за годы исследований проявили линии с генами Lr 9 и Lr 19, линии с генами Lr 26, Lr 36, Lr 45 и Lr 47 поражались от 0 до 50%. Резистентность к отдельным изолятам показали изогенные линии: TcLr 1, 2a, 2b, 10, 14, 18, 23, 24 и 29. В результате проведённых исследований установлены эффективные гены: Lr 41, Lr 47 и Lr Sp, которые рекомендованы селекционерам для использования их при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине.

Ключевые слова: Омский регион, пшеница, ржавчина, монопустульный изолят, раса, устойчивость, сорт, линия

VIRULENCE OF NATURAL POPULATION OF THE PATHOGEN BROWN RUST WHEAT IN THE OMSK REGION

Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Zverovskaya T.S., Sabaeva O.V., Belan I.A.

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, e-mail: Meshkova_LV@mail.ru

The results of the analysis of the virulence of the natural population of brown rust pathogen in the Omsk region for 2015-2017 are presented. The racial and genotypic composition of 858 single-pustule pathogen isolates was determined using differentiating sets of host plant varieties. 9 physiological races of the fungus were revealed: 6, 12, 57, 77, 107, 144, 149, 167 and 184, where 77 races dominate with a frequency of occurrence of 94.66% in 2015 to 99.14% in 2017. The 149 races are present in the in spore-samples annually, 57, 144 and 184 races are identified twice, the rest are fixed in some years in insignificant numbers. The differences between races are due to the resistance genes Lr 1, Lr2a, Lr2b and Lr3a, or their combination. An analysis of single-pustule isolates on isogenic lines of the Thatcher (Tc) variety with resistance genes Lr 1 – Lr 50 showed that most of the lines were susceptible. Lines with genes Lr 41 and Lr Sp were not affected by the pathogen. High resistance (damage from 0.1 to 10%) over the years of research showed lines with the Lr 9 and Lr 19 genes, lines with the Lr 26, Lr 36, Lr 45 and Lr 47 genes affected from 0 to 50%. Resistance to individual isolates showed isogenic lines: Tc Lr 1, 2a, 2b, 10, 14, 18, 23, 24 and 29. As a result of the conducted research, efficient genes were established: Lr 41, Lr 47 and Lr Sp, which are recommended to breeders for their use in creating wheat rust resistant varieties.

Keywords: Omsk region, wheat, rust, single-pustule isolate, race, resistance, variety, line

Проблема защиты мягкой пшеницы, основной зерновой культуры в Омской области, от бурой ржавчины по-прежнему актуальна, так как большинство сортов, выращиваемых в регионе, восприимчиво к данному заболеванию, при его массовом проявлении снижается не только количество получаемой продукции, но и посевные и технологические показатели качества зерна. В годы, благоприятные по гидротермическим условиям для проявления заболевания, наблюдается массовое поражение посевов, что приводит к эпифитотии. Недобор зерна в годы эпифитотии может составить 40 и более процентов с низкими показателями качества зерна [1, 2].

Доминирующим элементом в системе защиты пшеницы от ржавчины, учитывая негативное влияние на окружающую среду фунгицидов, должна быть иммуногенетическая защита, которая предполагает создание и внедрение в производство устойчивых сортов с различными генами резистентности или их сочетанием, эффективными в конкретном регионе.

Из 36 сортов мягкой пшеницы (озимая + яровая), включённых в Государственный реестр РФ и допущенных к выращиванию в Омской области, только 11 либо проявляют устойчивость к бурой ржавчине, либо задерживают развитие заболевания (Омская 37, Омская 38, Омская 41, Дуэт, Элемент 22, Омская 35, Уралосибирская, Сигма, Мелодия, Боевчанка и Столыпинская). Резистентность в первых устойчивых сортов, получивших широкое распространение в регионе: Терция, Тулеевская и Дуэт была генетически однородна и детерми-

нирована геном Lr9, что подтвердили гибридологический и моносомный анализы, а также исследования с помощью ДНК-маркеров [3–5].

К 2007 г. посевные площади под сортами, устойчивость которых обеспечивал ген Lr9 (Терция, 1996 г., Соната, 2002 г., Тулеевская, 2003 г., Дуэт, 2004 г.) в Омской области составляли около 400 тыс. га, что способствовало появлению в популяции патогена генов вирулентных к Lr9 [6].

В настоящее время в регионе получили распространение новые устойчивые сорта: Омская 37 и Омская 38, резистентность их контролируется комплексом генов устойчивости Lr 26 + Lr 19; Мелодия, по результатам нашего анализа с использованием тест-клонов, выявлено наличие гена Lr 26; Сигма с генами устойчивости Lr 26 и Sr 31; Элемент 22 в родословной присутствует сорт Терция, устойчивость которого обеспечивает ген Lr9 [7, 8].

Несмотря на расширение ассортимента устойчивых к бурой ржавчине сортов пшеницы, рекомендованных для выращивания в Омской области, следует отметить небольшое их разнообразие по генам резистентности к возбудителю заболевания. В большинстве сортов это пирамида генов Lr 26 + Lr 19 и ген Lr 26.

Сужение генетического разнообразия в пользу отдельных генов резистентности, как указывают Мартынов С.П. и Добротворская Т.В., может вызвать адекватное изменение в популяции возбудителя и массовое размножение патогена на однородном генетическом материале [9].

Исходя из этого, цель нашего исследования заключается в выявлении новых вирулентных изолятов возбудителя заболевания с последующим их использованием при оценке резистентности исходного и селекционного материала. Основным приёмом при выявлении подобных изолятов является постоянный мониторинг вирулентности природных популяций на тест-наборах сортов растения-хозяина.

Материалы и методы исследования

Проявление бурой ржавчины на посевах пшеницы в Омской области в годы исследования отмечалось во всех агроклиматических зонах выращивания мягкой пшеницы, этому способствовали благоприятные погодные условия в июле – августе, особенно в 2015–2016 гг.

Споровые образцы бурой ржавчины, с целью широкого охвата популяции патогена, собирали на посевах пшеницы опытных полей ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» в динамике через 8–10 дней, начиная с момента проявления заболевания на озимой пшенице и до конца вегетации яровой, коллекционных и селекционных форм, а также с сортов, включённых в Государственный реестр РФ и допущенных к возделыванию в Омской области. В период массового проявления заболевания инфицированные листья собирали на госсортоучастках различных агроклиматических зон области и на производственных посевах. Базовые сорта, для сбора инфекционного материала, широко распространённый в области восприимчивый раннеспелый сорт Памяти Азиева, а также среднеспелые сорта Мелодия и Дуэт.

Собранные спорообразцы возбудителя бурой ржавчины пшеницы в осенне-зимний период в условиях светокультуры при температуре 18–22 °С, круглосуточной освещённости 5 тыс. люкс и капельножидкой влаги возобновляли на проростках сорта Памяти Азиева. Монопустульные изоляты патогена выделяли с последующим их размножением на этом же сорте. Тестировали спорообразцы по расовому составу на стандартном наборе сортов – дифференциаторов с генами устойчивости: Malakof (Lr1), Carina (Lr2в), Brevit (Lr2c), Webster (Lr2a), Loros (Lr2c), Mediterranean (Lr3a), Hussar (Lr11) и Democrat (Lr3a), а на наличие генов вирулентности на серии изогенных линий сорта Тетчер с генами устойчивости: Lr 1 – Lr 50, по общепринятой бензимидазольной методике [10]. В качестве стандарта устойчивости использовали линию Од.35-1 с геном устойчивости от *Aegilops speltoides*, а восприимчивости – сорт Саратовская 29.

Тип реакции растения на внедрение патогена определяли на 8–10 день после заражения по международной шкале в модификации Джонстона и Бровдера, где балл 0, 1, 2 – устойчивость (R), 3, 4 – восприимчивость (S), X – гетерогенность. Вирулентность популяций сравнивали по коэффициенту сходства, предложенного Л.А. Животовским.

Результаты исследования и их обсуждение

Выделенные монопустульные изоляты изучали по расовому составу и по наличию генов вирулентности патогена. В 2015 г. было протестировано 337 изолятов из 20 спорообразцов патогена, в 2016 г. – 289 изолятов из 22, а в 2017 г.– 232 изолята из 14 спорообразцов.

Таблица 1

Расовый состав бурой ржавчины пшеницы в Омской области, 2015–2017 гг.

Год сбора	Физиологическая раса, %									∑ рас
	6	12	57	77	107	144	149	167	184	
2015	0,59	0,59	1,19	94,66	0	1,48	1,19	0,30	0	7
2016	0	0	1,04	96,54	0,35	0,69	0,69	0	0,69	6
2017	0	0	0	99,14	0	0	0,43	0	0,43	3

Мониторинг расового состава спорообразцов бурой ржавчины, собранных на посевах озимой и яровой пшеницы в Омской области в 2015–2017 гг., выявил девять физиологических рас гриба: 6, 12, 57, 77, 107, 144, 149, 167 и 184. Доминирует 77 раса от 94,66 % в 2015 г. до 99,14 % в 2017 г., что говорит о незначительном разнообразии популяции патогена, обусловленном однотипностью устойчивости генотипов выращиваемых сортов растения-хозяина. Ежегодно присутствует в спорообразцах 149 раса, 57, 144 и 184 расы выявлены дважды, остальные зафиксированы в отдельные годы в незначительном количестве (табл. 1).

Различия по количеству выявленных физиологических рас возбудителя обусловлены продолжительностью вегетационного периода растения-хозяина и благоприятными гидротермическими условиями для проявления заболевания.

Благоприятные погодные условия в июле – августе для заражения, проявления и массового распространения заболевания сложились в 2015 и 2016 гг. В 2015 г. июль характеризовался прохладной погодой. Среднемесячная температура воздуха равнялась 18,3 °С, что на 0,3 °С меньше нормы, осадков выпало 53,3 мм. В августе отмечалась умеренно теплая погода с избытком осадков во второй и третьей декадах, выпало 129,4 % к среднемноголетним значениям. В целом за вегетационный период температура и количество выпавших осадков способствовали росту вегетативной массы растений и затягиванию развития растений. Такие погодные условия способствовали массовому развитию и распространению листовых заболеваний. В результате было выявлено 7 физиологических рас гриба: 6, 12, 57, 77, 144, 149 и 167.

Погодные условия, благоприятные для развития бурой ржавчины, сложились и в 2016 г. в июле среднемесячная температура воздуха составила 19,7 °С (0,1 °С к норме). Осадков выпало 108,9 мм (181,5 % к среднемноголетним значениям), в августе эпифитотийному развитию листостебельных заболеваний способствовали обильные росы, что позволило зафиксировать 6 рас патогена: 57, 77, 107, 144, 149 и 184.

В 2017 г. гидротермические условия в июле-августе для проявления заболевания отличались контрастностью. Среднемесячная температура воздуха в июле составила 18,5 °С (–1,1 °С от нормы), осадков выпало 70,4 мм (117,3 % к среднемноголетним значениям), что было благоприятно как для развития растений, так и листостебельных патогенов. Август не был благоприятным для развития бурой ржавчины, характеризовался как засушливый, температура воздуха 18,2 °С была на 1,8 °С выше нормы, а осадков выпало на 41,4 мм меньше нормы, что способствовало раннему созреванию пшеницы, соответственно, отмиранию листового аппарата и прекращению развития заболевания. Более короткий временной промежуток сбора инфекции отразился и на количестве зафиксированных рас, было выявлено три: 77, 149 и 184.

Несмотря на отличие по числу выявленных рас бурой ржавчины за годы исследования в популяциях преобладает 77 раса. Расчёт коэффициентов сходства по расовому составу патогена по годам подтвердил их высокую сопряжённость, которая между годами составляла от 95,09 до 97,40 %.

Анализ спорообразцов возбудителя бурой ржавчины пшеницы по наличию генов вирулентности в популяциях на наборе изогенных линий сорта Тетчер показал, что независимо от года сбора большинство линий используемого набора с генами устойчивости: Lr 2c, 3bg, 3ka, 11, 15, 16, 17, 20, 21, 25, 27 + 31, 30, 32, 33, 43, 44, 46, 48, 49 и 50 проявило 100 % восприимчивость ко всем монопустульным изолятам. Изогенные линии Tc Lr: 1, 2a, 2b, 3, 10, 14, 18 не поражались отдельными изолятами до 2,4 %, а линии Tc Lr: 23, 24 и 29 до 53,4 %**.** Линии Tc Lr 26, Tc Lr 36 и Tc Lr 45 характеризовались высокой резистентностью, число биотипов, не поражающих эти линии, варьировало от 65,7 до 82,4 %. Высокую эффективность (поражение от 0,1 до 10 %) проявили линии

с генами резистентости Lr 9, Lr 19 и Lr 47, а иммунитет ко всем монопустульным изолятам выявлен у линий с генами устойчивости Lr 41 и Lr Sp. Полученные данные по частоте встречаемости генов вирулентности в спорообразцах также подтвердили и большее однообразие популяции 2017 г., из 16 линий, пять Tc Lr: 1, 2a, 2b, 10 и 14 были поражены на 100 % (табл. 2).

На структуру популяции патогена существенное влияние оказывает и генотип выращиваемого сорта.

С целью подтверждения этого влияния было проведено сравнение популяции патогена по генам вирулентности спорообразцов, собранных с сортов – Памяти Азиева, Мелодия и Дуэт. Эти сорта характеризуются наличием или отсутствием генов устойчивости. В сорте Памяти Азиева отсутствуют гены устойчивости к возбудителю бурой ржавчины, в сорте Мелодия имеется ген Lr 26, а в сорте Дуэт – Lr 9. Было установлено, что в спорообразцах с сорта Дуэт все монопустульные изоляты поразили изогенную линию Tc Lr 9, а изоляты с сорта Мелодия линию Tc Lr 26. К спорообразцам с сорта Памяти Азиева линия Tc Lr 9 показала иммунитет, а поражение линии Tc Lr 26 варьировало от 0 до 40 % в зависимости от года и пункта сбора инокулюма.

Сравнение спорообразцов возбудителя бурой ржавчины, собранных в различных агроклиматических зонах области, по генам вирулентности показало, что условия окружающей среды являются одним из важнейших факторов, определяющих как саму возможность проявления болезни, так и интенсивность её развития. Так, в зоне северной лесостепи, характеризующейся меньшей теплообеспеченностью по сравнению южной лесостепной и степи зонами, не выявлены биотипы патогена с авирулентностью к линиям с генами устойчивости Lr: 1, 2a, 2в и 23, но были отмечены различия по генам вирулентности pp: 24, 26 и 29. Спорообразцы Северной лесостепи были более чем на 20 % вирулентные к линии Tc Lr 24 и на 10 % – к линии Tc Lr 29, чем Южной лесостепи и Степи, а к линии Tc Lr 26 большей вирулентностью характеризовалась популяция Южной лесостепи. Линии с генами устойчивости Lr 36, 45 и 47 поражались популяциями Южной лесостепи и Степи в два раза больше, чем Северной лесостепи (табл. 3).

В целом наибольшее разнообразие по вирулентности патогена выявлено в зоне Южной лесостепи с более благоприятным соотношением температуры и осадков и для растения-хозяина и возбудителя заболевания.

Таблица 2

Поражение изогенных линий биотипами бурой ржавчины, %, 2015–2017 гг.

Год	Линии с генами устойчивости, % поражения*															
	1	2a	2в	3	**9**	10	14	18	**19**	23	24	26	29	36	45	**47**
2015	97,9	97,3	97,6	100	**0,6**	98,5	99,4	92,0	**1,2**	89,0	74,2	22,9	73,0	24,6	17,6	**9,7**
2016	99,3	98,6	99,3	99,2	**0**	100	99,7	96,2	**0**	76,8	64,4	34,3	72,7	19,7	24,9	**4,5**
2017	100	100	100	96,6	**1,7**	100	100	85,4	**0**	56,3	46,6	33,2	67,7	28,5	20,3	**8,6**

Примечание. *Изогенные линии, проявившие иммунитет Lr 41 и Lr Sp и полностью восприимчивые Lr 2c, 3bg, 3ka, 11, 15, 16, 17, 20, 21, 25, 27+31, 30, 32, 33, 43, 44, 46, 48, 49 и 50, в таблице отсутствуют.

Таблица 3

Влияние агроклиматической зоны области на генофонд возбудителя бурой ржавчины пшеницы, 2015 г.

Агроклиматическая зона	Линии с генами устойчивости, % поражения*											
	1	2a	2в	9	19	23	24	26	29	36	45	47
Северная лесостепь	100	100	100	**0**	**0**	100	99,7	10,3	82,8	13,8	10,3	**6,9**
Южная лесостепь	98,9	99,5	97,4	0,9	1,1	87,0	71,6	29,8	71,6	27,4	24,5	11,1
Степь	95,0	92,0	97,0	**0**	**0**	90,0	73,0	12,0	73,0	22,0	19,0	13,0

Примечание. *Изогенные линии, проявившие иммунитет Lr 41 и Lr Sp и полностью восприимчивые Lr 2c, 3bg, 3ka, 11, 15, 16, 17, 20, 21, 25, 27+31, 30, 32, 33, 43, 44, 46, 48, 49 и 50, в таблице отсутствуют.

Заключение

Таким образом, мониторинг генофонда возбудителя бурой ржавчины пшеницы Омской области показал, что на состав патогена оказывают влияние генотип растения-хозяина, год сбора инокулюма и агроклиматическая зона. Значительных изменений в составе популяции патогена за последние три года не выявлено, что объясняется незначительными площадями под устойчивыми сортами.

Иммунитет ко всем монопустульным изолятам проявляют линии с генами устойчивости Lr 41 и Lr Sp, высокую устойчивость (поражение ≤ 10 %) показывают линии с генами Lr 9, Lr 19 и Lr 47. Среднее поражение линий с генами Lr 26, Lr 36 и Lr 45 варьирует от 10,3 до 34,3 % в зависимости от года и агроклиматической зоны.

Использование сортов и линий с генами Lr 9, Lr 19 и Lr 47 и в комбинации с другими генами резистентности приведёт к генетическому разнообразию устойчивости растения-хозяина, что позволит в дальнейшем избежать эпифитотийного проявления бурой ржавчины.

Полученные данные по составу возбудителя бурой ржавчины пшеницы необходимо учитывать при составлении программ по созданию устойчивых сортов к бурой ржавчине, адаптированных к определённым агроклиматическим зонам их выращивания.

Список литературы / References

1. Лубнин А.Н. Селекция яровой мягкой пшеницы в Сибири. Новосибирск, 2006. 31 с.

Lubnin A.N. Breeding of spring soft wheat in Siberia. Novosibirsk, 2006. 31 p. (in Russian).

2. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н., Кривошеева С.В. Защита яровой мягкой пшеницы от листостебельных болезней // Земледелие. 2016. № 6. С. 43–46.

Doronin V.G., Ledovskiy E.N., Krivosheeva S.V. Protection of Spring Wheat from Leaf-Stem Diseases // Zemledelie. 2016. № 6. P. 43–46 (in Russian).

3. Россеева Л.П. Генетический контроль устойчивости к бурой ржавчине яровой мягкой пшеницы: дис. ... канд. с.-х. наук. Омск, 1992. 136 с.

Rosseeva L.P. Genetic control of resistance to brown rust of spring soft wheat: dis. ...cand. s.- n. nauk. Omsk, 1992. 136 p. (in Russian).

4. Гультяева Е.И. Генетическое разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины // Доклады Россельхозакадемии. 2012. Т. 32. № 2. С. 29–32.

Gultyaeva E.I. Genetic diversity of Russian common wheat varieties for leaf rust resistance // Russian Agricultural Sciences. 2012. V. 32. № 2. C. 125–128

5. Гультяева Е.И., Садовая А.С., Шайдаюк Е.Л. Молекулярно-генетический скрининг новых российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине // Вестник защиты растений. 2014. № 1. С. 26–29.

Gultyaeva E.I., Sadovaya A.S., Shaydayuk E.L. Molecular-Genetic Screening of Modern Russian Common Wheat Varieties for Leaf Rust Resistance // Plant Protection News. 2014. № 1. P. 26–29 (in Russian).

6. Мешкова Л.В., Россеева Л.П. Тенденция увеличения вирулентности возбудителя бурой ржавчины пшеницы к эффективным генам устойчивости в Омской области // Современные средства, методы и технологии защиты растений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 10–11 июля 2008 г.). Новосибирск, 2008. С. 149–153.

Meshkova L.V., Rosseeva L.P. The trend of increasing virulence of the causative agent of brown rust of wheat to effective resistance genes in the Omsk region // The modern means, methods and technologies of plant protection: Materials of the Intern. scientific-practical conf . (Novosibirsk, 10–11 Jule 2008). Novosibirsk, 2008. P. 149–153 (in Russian).

7. Белан И.А., Россеева Л.П., Россеев В.М., Бадаева Е.Д., Зеленский Ю.И., Блохина Н.П., Шепелев С.С., Першина Л.А. Изучение хозяйственно-ценных и адаптивных признаков у линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих транслокации 1RS.1BL и 7DL– 7Ai // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 178–186.

Belan I.A., Rosseeva L.P., Rosseev V.M., Zelensky Yu.I., Blokhina N.P, Shepelev S.S., Pershina L.A. Examination of Adaptive and Agronomic Characters in Lines of Common Wheat Omskaya 37 Bearing Translocations 1RS.1BL and 7DL– 7Ai // Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding. 2012. Vol. 16. № 1. P. 1778–1786 (in Russian).

8. Рекомендации по возделыванию сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания в Омской области за 2017 год. Омск, 2017. 112 с.

Recommendations for the cultivation of crops and the results of the trials in the Omsk region in 2017. Omsk, 2017. 112 p. (in Russian).

9. Мартынов С.П., Добротворская Т.В. Генеалогический подход к анализу устойчивости пшеницы к болезням // Фитосанитарное оздоровление экосистемы: Второй Всероссийский съезд по защите растений (Санкт-Петербург, 5–10 декабря 2005 г.). СПб., 2005. Т. 1. С. 511–513.

Martynov S.P., Dobrotvorskaya T.V. A genealogical approach to the analysis of wheat resistance to diseases // Phytosanitary rehabilitation of the ecosystem: Second All-Russian Plant Protection Congress (St. Petersburg, December 5–10, 2005). SPb., 2005. T. 1. P. 511-513 (in Russian).

10. Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. М., 2012. 93 с.

Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina A.I., Smirnova L. A., Shherbik A. A. Methods of evaluation and selection of source material for create wheat varieties resistant to brown rust: methodical recommendations VNIIF. M., 2012. 93 p. (in Russian).

УДК 630*27:630*114.53:625.77

ПОДБОР ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ТЕХНОГЕННЫМИ ФТОРИДАМИ

Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В.

ФГБУН «Сибирский институт физиологии и биохимии растений» Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, e-mail: mikh@sifibr.irk.ru

Экспериментальным путем выявлены виды древесных и кустарниковых растений, пригодные для создания зеленых насаждений на территориях, загрязняемых фторсодержащими аэровыбросами. Актуальность работы обусловлена необходимостью улучшения среды городов, где располагаются крупные предприятия, в аэровыбросах которых значительную долю составляют фториды. Для исследований использовались пленочные камеры, в которых проводилась искусственная фумигация растений фтористым водородом в течение трех месяцев, создаваемая концентрация газа составляла в среднем 0,15 мг/м^3. Устойчивость растений к HF определяли по степени повреждения листьев (по проценту некрозов) сразу после окончания фумигации и через 10 месяцев, в начале следующего вегетационного периода. Аккумуляцию фтора листьями оценивали по разнице его содержания до и после фумигации. Обнаружены большие различия у испытуемых растений по степени повреждения листьев и уровню аккумуляции фтора. Высокую устойчивость к воздействию газообразного фтора показали кизильник черноплодный, бузина кистистая, дерен белый, жимолость татарская, тополь дрожащий, рябинник рябинолистный, сирень обыкновенная, смородина альпийская, яблоня сибирская. Эти растения рекомендуется использовать для создания защитных посадок на территориях хронического воздействия фторсодержащих эмиссий. В условиях периодического влияния аэровыбросов или при слабом их воздействии рекомендуемый ассортимент гораздо шире, в том числе за счет использования видов, обладающих высокой регенерационной и аккумулирующей способностью. Наибольшая аккумуляция фтора обнаружена в листьях кизильника черноплодного (в 22 раза выше фонового уровня), тополя душистого (в 20 раз превышает фон), душекии кустарниковой (в 19 раз), бузины кистистой (в 16 раз), тополя дрожащего и спиреи средней (в 15 раз).

Ключевые слова: древесные и кустарниковые растения, фумигация фтористым водородом, устойчивые виды, аккумуляция фтора листьями, рекомендации по озеленению

SELECTION OF TREES AND SHRUBS FOR PLANTING TERRITORIES POLLUTED BY TECHNOGENIC FLUORIDES

Mikhaylova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V.

Siberian Institute of Plant Physiology & Biochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, e-mail: mikh@sifibr.irk.ru

Experimentally identified species of trees and shrubs that are suitable for creating greenery in areas polluted with fluorinated aerial outliers. The relevance of the work is due to the need to improve the environment of the cities where large enterprises are located, in the emissions of which fluorides form a significant part. For the studies, film chambers were used, in which artificial fumigation of plants with hydrogen fluoride for three months was carried out, the generated gas concentration was on average 0.15 mg / m^3. Plant resistance to HF was determined by the degree of leaf damage (by percentage of necrosis) immediately after the end of fumigation and 10 months later, at the beginning of the next vegetation period. The accumulation of fluorine by leaves was evaluated by the difference in its content before and after fumigation. Large differences were found in the test plants according to the degree of leaf damage and the level of fluorine accumulation. High resistance to the effects of gaseous fluorine was shown by Cotoneaster melanocarpus, Sambucus racemosa, Cornus alba, Lonicera tatarica, Populus tremula, Sorbaria sorbifolia, Syringa vulgaris, Ribes alpinum, Malus pallasiana. These plants are recommended for creating protective plantings in areas of chronic exposure to fluoride-containing emissions. Under the conditions of periodic impact of emissions or when their impact is weak, the recommended assortment is much wider, including species with a high regeneration and accumulative capacity. The greatest accumulation of fluorine was found in the leaves of the Cotoneaster melanocarpus (22 times higher than the background level), Populus suaveolens (20 times higher), Duschekia fruticosa (19 times), Sambucus racemosa (16 times), Populus tremula and Spirea media (15 times).

Keywords: tree and shrub plants, fumigation with hydrogen fluoride, resistant species, accumulation of fluoride in leaves, recommendation on planting

При выполнении задачи по улучшению экологической ситуации на урбанизированных территориях и созданию комфортной среды для населения требуется решить немаловажный вопрос, связанный с увеличением площади различных типов и категорий зеленых насаждений. На территориях городов и других населенных пунктов именно деревья и кустарники выполняют основные средообразующие и санитарно-защитные функции (выделение кислорода, поглощение загрязняющих веществ, улучшение гидротермических условий, создание комфортного микроклимата, снижение уровня шума и др.), поэтому их следует рассматривать как главнейший

компонент озеленения. При создании искусственных насаждений требуется учитывать тот факт, что в современный период большинство урбанизированных территорий испытывают значительное воздействие такого негативного фактора, как техногенное загрязнение. Поэтому выбор пород рекомендуется осуществлять, принимая во внимание их устойчивость к загрязняющим веществам и способность к их аккумулированию. Исходя из этого, необходимо выделять участки разного экологического статуса и располагать на них адекватные типы насаждений [1]. Например, при создании зеленой зоны вокруг промышленного объекта или вдоль крупных автомагистралей следует высаживать наиболее устойчивые к техногенному загрязнению виды деревьев и кустарников, обладающие также эффективной фильтрующей способностью. При этом важно учитывать уровень техногенных эмиссий, присутствие в их составе поллютантов высокотоксичных для растений и биоты в целом. Среди газообразных поллютантов наиболее агрессивны фтор- и хлорсодержащие, диоксид серы, стойкие органические загрязнители (в том числе бензпирены), аэрозоли тяжелых металлов, соответственно, для озеленения территорий, подвергающихся хроническому воздействию таких загрязняющих веществ, крайне важен целевой подбор растений, пригодных для посадок и отличающихся высокими аккумулирующими свойствами и выраженной резистентностью к доминирующим токсикантам. Однако в большинстве случаев при озеленении городских территорий и создании защитных посадок вблизи промышленных предприятий не учитывается устойчивость древесных растений к техногенному загрязнению вследствие недостатка соответствующих сведений и исследований. Например, показано, что отсутствие критического анализа при выборе ассортимента видов для городского озеленения привело к тому, что больше половины древесных и кустарниковых пород (53 % списочного состава) оказались непригодными для этих целей, поскольку они относятся к категории сильно повреждающихся [2].

Регион исследования – Иркутская область (Восточная Сибирь) характеризуется высоким уровнем техногенного загрязнения воздушного бассейна большинства городов. В составе аэровыбросов постоянно присутствуют упомянутые токсиканты, причем в концентрациях, значимо превышающих ПДК [3]. Особо следует выделить высокотоксичные фториды, поступающие с эмиссиями крупных алюминиевых заводов, расположенных на территории области. Проводимые нами мониторинговые исследования показывают, что загрязнение атмосферного воздуха фторидами, как газообразными, так и в составе твердого аэрозоля, не носит локального характера, то есть регистрируется не только вблизи алюминиевых заводов, но и на смежных территориях, где располагаются жилые районы городов. Например, это показано для Братска и Шелехова [4, 5]. Поэтому представляется весьма актуальным улучшение среды этих и других городов через создание эффективного защитного зеленого фонда, слагаемого из растений, наиболее устойчивых к техногенному загрязнению фтором и способных к высокой его аккумуляции.

Цель исследования: экспериментальным путем выявить виды древесных и кустарниковых растений, пригодные для создания зеленых насаждений на территориях, загрязняемых фторсодержащими аэровыбросами.

Материалы и методы исследования

Для испытания на устойчивость к фторидам было отобрано 30 видов древесных и кустарниковых растений (всего 150 экземпляров), отличающихся хорошей выживаемостью в условиях Восточной Сибири. Все растения были высажены на экспериментальный участок института за год до начала работ. За это время они хорошо укоренились и адаптировались. На следующий год в конце мая растения закрыли крупногабаритными пленочными камерами объемом 20 м^3 каждая, одна камера вмещала 30 растений. Искусственная фумигация растений проводилась фтористым водородом в 2013 г. в течение трех месяцев, с июня по август, его концентрация в камерах в среднем составляла 0,15 мг/м^3. Газ подавался из небольшого баллона слабой струей, а для равномерного распределения HF камеры непрерывно вентилировали путем автоматической подачи чистого воздуха. Для контроля за концентрацией HF проводился отбор проб воздуха из камер аспиратором, содержание фтора в пробах определяли фотометрически. Для большей достоверности результатов концентрация газа в камерах была заведомо более высокой, чем на городских территориях, и примерно соответствовала ее уровню в рабочей зоне алюминиевого завода. Периодически, 1–2 раза в месяц, проводили

полив почвы в камерах, при ярком солнечном свете камеры затеняли белыми полотняными пологами от перегрева. Устойчивость растений к HF определяли по степени повреждения листьев, то есть по проценту некрозов на них, проявившихся сразу после окончания фумигации и через 10 месяцев, то есть в следующем году в начале вегетационного периода. К слабоповреждающимся относили растения, имеющие менее 25 % хлорозов и некрозов от общей площади листьев, к среднеповреждающимся – имеющие >25–60 %, к сильноповреждающимся – имеющие >60 % [6]. Площадь листовой поверхности определяли по формулам, приведенным в работе А.И. Уткина с соавторами [7], а расчет площади некрозов производили с помощью статистической программы MatdCad 15 и графической Corel DRAW X8. Содержание фтора в листьях определяли до фумигации и после нее, чтобы установить способность к аккумуляции этого токсиканта разными видами испытуемых древесных растений. Определение содержания фтора в листьях проводилось спектрофотометрически при длине волны 540 нм с индикатором ксиленоловым оранжевым после сухого озоления растительного образца и дистилляции полученной золы с водяным паром в хлорной кислоте, с использованием сернокислого серебра для удаления сопутствующих примесей хлора. Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением программы «Среда статистических вычислений R», версия 3.1.1 (2014 г.). Содержание фтора вычисляли в мг/кг сухой массы листьев (хвои), рассчитывали среднюю величину, ошибку средней (квадратичное отклонение), стандартное отклонение.

Результаты исследования и их обсуждение

Обнаружены большие различия у растений по степени повреждения листьев и уровню аккумуляции фтора (таблица). Слабая степень повреждения листьев (менее 25 %) сразу после фумигации регистрировалась у 15 видов, в то же время среди них наблюдался очень большой разброс в аккумуляции фтора – кратность превышения фонового содержания фторидов в листьях после фумигации составляла от 4 у розы морщинистой до 22 у кизильника черноплодного (таблица). Довольно высокая аккумуляция фтора зафиксирована также для ряда видов, получивших 50 % повреждения, например в листьях спиреи средней она превышала фоновое значение в 15 раз, душекии кустарниковой – в 19 раз, тополя душистого – в 20 раз. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии зависимости между уровнем накопления фтора в листьях и степенью их повреждения. Поэтому можно предположить, что механизмы, обеспечивающие устойчивость к фтору, у испытанных растений различаются – с одной стороны, это могут быть анатомо-морфологические особенности, препятствующие высокому накоплению токсиканта, например у дерена белого, с другой стороны, возможно, при нарастании накопления токсиканта осуществляется его нейтрализация или связывание путем физиолого-биохимических реакций, эта способность может проявляться у бузины кистистой и кизильника черноплодного.

К началу следующего вегетационного периода три вида (пузыреплодник калинолистный, крушина ломкая, крушина слабительная), обнаруживших слабое повреждение сразу после фумигации, практически полностью погибли. У семи видов после перезимовки обнаружилась гибель половины побегов (50 %). Несколько видов (спирея средняя, роза иглистая, акация желтая, тополь душистый, ива козья), у которых регистрировалось среднее или сильное повреждение листьев сразу после фумигации, на следующий год практически полностью восстановились. Следует отметить, что эти виды обладают не только хорошей регенерационной способностью, но и высокой емкостью поглощения фтора. Наконец, среди испытуемых видов выделяются те, что показали сильную повреждаемость и невысокий уровень аккумуляции токсиканта – это лиственница даурская, барбарис амурский, черемуха виргинская, бересклет европейский, боярышник кроваво-красный, груша уссурийская.

Исходя из полученных данных, наибольшей устойчивостью к воздействию газообразного фтора обладают кизильник черноплодный, бузина кистистая, дерен белый, жимолость татарская, тополь дрожащий, рябинник рябинолистный, сирень обыкновенная, смородина альпийская, яблоня сибирская. Эти растения рекомендуется использовать в первую очередь для создания защитных посадок, особенно на территориях хронического воздействия фторсодержащих эмиссий. В условиях периодического влияния аэровыбросов или при слабом их воздействии пригодны также виды, обладающие хорошей регенерационной способностью и высокой аккумуляцией фторидов – спирея средняя, роза иглистая, акация желтая, тополь душистый, ива козья.

Степень повреждения (процент некрозов листьев) древесных и кустарниковых пород и содержание фтора в листьях до и после фумигации фтористым водородом

Видовое название растения	Степень повреждения (%%)		Содержание фтора (мг/кг)	
	после фумигации HF	через 10 месяцев после фумигации	до фумигации	после фумигации
Лиственница даурская	70	40	23,4 ± 0,9	173,0 ± 1,1
Акация желтая	40	10	19,6 ± 0,3	171,2 ± 0,8
Барбарис амурский	70	50	28,4 ± 0,6	110,5 ± 1,9
Береза повислая	60	40	16,6 ± 0,7	162,4 ± 3,0
Бересклет европейский	50	50	15,6 ± 0,1	122,0 ± 1,1
Боярышник кроваво-красный	60	50	32,3 ± 0,3	113,0 ± 1,2
Бузина кистистая	10	некрозы отсутствуют	9,6 ± 0,1	159,6 ± 0,8
Вяз перистоветвистый	10	50	13,7 ± 0,5	148,8 ± 1,4
Груша уссурийская	70	50	27,0 ± 0,3	117,1 ± 0,4
Дерен белый	10	некрозы отсутствуют	20,8 ± 0,3	104,0 ± 2,8
Душекия кустарниковая	50	40	10,3 ± 0,8	193,1 ± 3,8
Жимолость татарская	20	некрозы отсутствуют	17,1 ± 0,3	104,7 ± 0,2
Ива козья	40	10	17,0 ± 0,2	141,3 ± 1,6
Кизильник черноплодный	20	некрозы отсутствуют	10,1 ± 0,8	224,8 ± 2,5
Клен ясенелистный	60	30	12,4 ± 0,7	91,6 ± 1,1
Крушина ломкая	25	90	8,9 ± 1,0	122,1 ± 1,8
Крушина слабительная	10	90	13,3 ± 0,6	95,2 ± 0,9
Лох серебристый	20	50	15,9 ± 0,1	75,4 ± 2,1
Осина (Тополь дрожащий)	20	некрозы отсутствуют	12,6 ± 0,5	193,0 ± 0,7
Пузыреплодник калинолистный	20	90	15,8 ± 0,3	97,3 ± 0,9
Роза иглистая	60	10	20,0 ± 0,4	173,5 ± 1,9
Роза морщинистая	10	50	20,6 ± 0,4	81,8 ± 0,8
Роза сизая	40	30	28,1 ± 0,3	143,6 ± 0,7
Рябинник рябинолистный	20	некрозы отсутствуют	12,9 ± 0,6	125,7 ± 4,1
Сирень обыкновенная	20	некрозы отсутствуют	13,1 ± 0,7	145,5 ± 4,1
Смородина альпийская	20	некрозы отсутствуют	23,6 ± 1,1	143,1 ± 0,8
Спирея средняя	50	10	13,6 ± 0,4	203,4 ± 2,3
Тополь душистый	50	10	9,6 ± 0,4	191,7 ± 1,6
Черемуха виргинская	60	80	21,3 ± 0,7	137,5 ± 0,7
Яблоня сибирская	20	некрозы отсутствуют	16,0 ± 0,5	142,8 ± 1,6

В лесопарках, внутриаллейных посадках под защитой насаждений из перечисленных видов можно использовать для создания «зеленого фитофильтра» и другие виды – березу повислую, душекию кустарниковую, клен ясенелистный, лох серебристый, лиственницу даурскую, многие из которых показывают повышенную аккумулирующую способность в отношении фторидов.

Полученные нами в модельном эксперименте результаты сравнивались с рекомендациями других авторов по подбору древесных растений, устойчивых к атмосферному загрязнению. Следует отметить, что большинство авторов, приводящих ассортименты устойчивых растений, не указывают, каким образом они были выделены. В ряде случаев подобные рекомендации разрабатываются на основе оценки изменения морфологических параметров городских растений и уровня загрязняющих веществ в их листьях [8]. Наиболее подробная характеристика устойчивости разных видов к атмосферному загрязнению приводится для г. Москвы [9]. Несмотря на значительные различия природных условий и разные подходы к исследованию устойчивости растений, выявляется ряд совпадений между нашими результатами и данными этого автора, к устойчивым отнесены кизильник, бузина, яблоня сибирская. Однако много и не совпадающих моментов, что связано с целым рядом причин. Во-первых, с видовыми различиями, когда рекомендуются разные виды одного семейства, например бересклет Маака отнесен к устойчивым [9], а бересклет европейский по нашим данным – сильно повреждаемый вид; похожие

данные и относительно пузыреплодника калинолистного. Во-вторых, для выявления устойчивости растений в эксперименте нами создавались заведомо более жесткие условия (использование сильного токсиканта в высокой концентрации), чем те, что наблюдаются в среде городов, даже с большим объемом выбросов автотранспорта. Наконец, рекомендуемые ассортименты весьма существенно отличались по выбору видов, так, в «московском» списке отсутствует сирень обыкновенная, в то время как нами она отнесена к устойчивому виду. Учитывая, что фтористый водород является наиболее фитотоксичным поллютантом, рекомендуемый нами ассортимент древесных растений можно применять не только на территориях, загрязняемых фторидами, но и при загрязнении воздуха другими токсикантами (диоксидом серы, хлором, аэрозолями тяжелых металлов).

Заключение

В модельном эксперименте, имитирующем воздействие аэротехногенного газообразного фтора (в виде фтористого водорода), выявлены виды древесных и кустарниковых растений с разной степенью устойчивости к этому токсиканту и с разной способностью аккумуляции его в ассимиляционных органах. Судя по полученным данным, из 30 испытанных видов наибольшей устойчивостью к воздействию газообразного фтора обладают кизильник черноплодный, бузина кистистая, дерен белый, жимолость татарская, тополь дрожащий, рябинник рябинолистный, сирень обыкновенная, смородина альпийская, яблоня сибирская. Эти растения рекомендуется использовать для создания защитных посадок на территориях хронического воздействия фторсодержащих эмиссий. В условиях периодического влияния аэровыбросов или при слабом их воздействии вдобавок к перечисленным можно высаживать виды, обладающие хорошей регенерационной способностью и высокой аккумуляцией фторидов – это спирея средняя, роза иглистая, акация желтая, тополь душистый, ива козья. В лесопарках, внутриаллейных посадках под защитой насаждений из вышеназванных видов можно использовать для создания «зеленого фитофильтра» и другие деревья и кустарники – березу повислую, душекию кустарниковую, клен ясенелистный, лох серебристый, лиственницу даурскую, многие из которых показывают повышенную аккумулирующую способность в отношении фторидов. Наибольшая аккумуляция фтора обнаружена в листьях кизильника черноплодного, тополя душистого, душекии кустарниковой, бузины кистистой, тополя дрожащего и спиреи средней, где содержание фтора превышает фоновый уровень от 15 до 22 раз.

Список литературы / References

1. Михайлова Т.А., Шергина О.В. Экологические критерии для расчета площади зеленых насаждений в промышленных городах // Успехи современного естествознания. 2015. № 6. С. 123–128.

Mikhailova T.A., Shergina O.V. Ecological criteria for calculation green plantations area within industrial cities // Advances in current natural sciences. 2015. № 6. P. 123–128 (in Russian).

2. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.

Shikhova N.S., Polyakova E.V. Trees and shrubs in the landscaping of the city of Vladivostok. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. 236 p. (in Russian).

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». Иркутск: ООО Мегапринт, 2017. 274 с.

State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2016». Irkutsk: OOO Megaprint, 2017. 274 p. (in Russian).

4. Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. Phytomonitoring of technogenic fluorides in Baikal region. Fluorine notes. 2011. vol. 3. no. 76. P. 5–6.

5. Kalugina O.V., Mikhailova T.A., Shergina O.V. Pinus sylvestris as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions. Environmental Science and Pollution Research. 2017. vol. 24. no. 11. P. 10279–10291. DOI: 10.1007/s11356-017-8674-5.

6. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, 2010. UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre. Hamburg. URL: http://www.icp-forests.org/Manual.htm (date of access: 17.10.2018).

7. Уткин А.И., Ермолова Л.С., Уткина И.А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292 с.

Utkin A.I., Yermolova L.S., Utkina I.A. Surface area of forest plants: the essence, parameters, use. M.: Nauka, 2008. 292 p. (in Russian).

8. Лыкшитова Л.С., Ловцова Н.М. Морфологическая адаптация деревьев и кустарников к загрязнению атмосферного воздуха г. Улан-Удэ // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, География. 2014. № 4 (1). С. 51–54.

Lykshitova L.S., Lovtsova N.M. Morphological adaptation of trees and shrubs to atmosphere and air pollution in Ulan-Ude // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, Geografiya. 2014. №. 4 (1). P. 51–54 (in Russian).

9. Кочарян К.С. Эколого-экспериментальные основы зеленого строительства в крупных городах Центральной части России (на примере Москвы). М.: Наука, 2000. 184 с.

Kocharyan K.S. Ecological and experimental foundations of green construction in large cities of the central part of Russia (on the example of Moscow). M.: Nauka, 2000. 184 p. (in Russian).

УДК 630*181.65:633.877.3(571.54/55)

КОЛЕБАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПРИРОСТОВ В МОЛОДЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Пак Л.Н.

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН», Чита, e-mail: pak_lar@bk.ru

Одной из наиболее распространенных древесных пород на территории Забайкальского края является сосна обыкновенная. Потребность восстановления сосновых лесов является одной из приоритетных проблем в последнее время. Анализ существующей практики закладки сосновых искусственных насаждений, говорит о тенденции большого списания лесных культур, созданных на механически обработанных участках на не покрытых лесом землях. Чтобы решить эту проблему, нами проведены исследования по выращиванию лесных культур, созданных на неподготовленной почве. Исследования показали, что в искусственных насаждениях, независимо от варианта, на фоне общего повышения среднего годичного роста в высоту за рассматриваемый период, отмечается период его снижения в отдельные годы (2013–2015 гг.). Величина колебания индивидуального прироста деревьев в вариантах по годам имела максимальные значения в 2013–2015 гг. Распределение годичного роста в высоту по градациям по годам показало на переход к следующей возрастной группе (с ростом в высоту 1–25 см) в 2014 г. Между метеопараметрами и годичным ростом в высоту, колебанием прироста лесных культур установлена положительная корреляция только с учетом средней температуры воздуха (r = 0,49). Лесные культуры относительно спокойно реагируют на перепады количества выпавших осадков в учетном году. Между годами (пиками) солнечной активности и рассматриваемыми показателями лесных культур, а также количеством выпавших осадков установлена положительная связь (r = 0,6). Учитывая данный факт, лесокультурные работы необходимо проводить в большом объеме в годы солнечной активности независимо от варианта. С экономической точки зрения лесные культуры, созданные на неподготовленной почве, снижают затраты на проведение трудоемких и дорогостоящих работ.

Ключевые слова: Забайкальский край, лесные культуры, сосна, рост, колебания

FLUCTUATION OF LINEAR GROWTH IN YOUNG CULTURES OF PINE IN ZABAIKALSKY KRAI

Pak L.N.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS, Chita, e-mail: pak_lar@bk.ru

One of the most common tree species at the territory of Zabaikalsky Krai is Scots pine. The need to restore pine forests is one of the priority problems in recent years. Analysis of current practice, bookmark pine artificial plantations, suggests a large decline in forest crops created on mechanically treated plots on non-forested lands. To solve this problem, research on the cultivation of forest crops created on untreated soil were conducted. Studies have shown that in artificial plantations, regardless of the option, against the background of an overall increase in the average annual growth in height for the period under review, there is a period of decline in some years (2013-2015). The magnitude of the fluctuation of individual growth of trees in the variants by year had the maximum values in 2013-2015. The distribution of the annual height increased according to the gradations by year showed a transition to the next age group (with a height increase of 1-25 cm) in 2014. Between the meteorological parameters and the annual growth in height, the fluctuation in the growth of forest cultures established a positive correlation only considering the average air temperature (r = 0.49). Forest cultures react relatively calmly to variations in the amount of precipitation in the reference year. Between the years (peaks) of solar activity and the considered indicators of forest crops, as well as the amount of precipitation, a positive relationship was established (r = 0.6). Considering this fact, silvicultural works should be carried out in a large volume during the years of solar activity, regardless of the variant. From an economic point of view, forest cultures created on unprepared soil reduce the costs of laborious and expensive work.

Keywords: Zabaikalsky Krai, planted forest, pine, growth, fluctuation

Одной из наиболее распространенных древесных пород на территории Забайкальского края является сосна обыкновенная (*Pínus sylvéstris*). На ее долю приходится 7,8% от общей площади лесов и 9,0% от покрытой лесом площади края (по состоянию на 01.01.2018 г.) [1].

Потребность восстановления сосновых лесов является одной из приоритетных проблем в связи с их интенсивной эксплуатацией, повышением рекреационной нагрузки, многочисленно повторяющимися лесными пожарами, массовым поражением лесными вредителями и болезнями, смены пород, а также климатическими изменениями, направленными на сокращение лесопокрытой площади.

Анализ существующей практики закладки сосновых искусственных насаждений на супесчаных и песчаных почвах Забайкальского края на протяжении последних 10 лет говорит о тенденции большого списания лесных культур, созданных на механически обработанных участках на непокрытых лесом землях. Чтобы решить эту проблему, учитывая ежегодные значи-

тельные объемы лесокультурных работ, сократить материальные и трудовые затраты, ускорить посадку лесных культур на вырубках и гарях, нами проведены исследования по выращиванию лесных культур, созданных на неподготовленной почве. Тем более что положительный опыт закладки искусственных насаждений данным способом в стране уже был [2–4].

Цель настоящей работы заключалась в изучении величины и колебаний роста в высоту в лесных культурах, созданных на подготовленной и неподготовленной почве, которые являются одними из показателей, характеризующих состояние деревьев и насаждения в целом по вариантам.

Материалы и методы исследования

Экспериментальный объект (лесные культуры сосны, созданные на неподготовленной почве) расположен в окрестностях Ингодинского лесного стационара ИПРЭК СО РАН в нижнем течении бассейна р. Какова (в 40 км от г. Читы). Согласно лесорастительному районированию эта территория относится к Забайкальскому горному лесному району.

Закладку сосновых насаждений (экспериментальный вариант) проводили в 2010 г., одновременно с производственными посадками (контрольный вариант) на вырубках по гарям 2000 и 2008 гг. Эти участки ранее были заняты сосняком рододендроново-разнотравным III–IV классов бонитета.

Обработку почвы для производственных посадок осуществляли с помощью плуга ПКЛ-70, с нарезкой борозд через 3 м. Посадку 3-летних сеянцев, выращенных в питомнике Сивяковского участкового лесничества (рядом с Ингодинским лесным стационаром ИПРЭК СО РАН), выполняли вручную, под меч Колесова, в дно борозды, с шагом посадки – 0,7 м. Все производственные работы проведены работниками Читинского лесничества.

Экспериментальные посадки выполнены нами на неподготовленной почве (целине) между бороздами в трехкратной повторности (300 штук сеянцев в каждой повторности) на каждом из участков.

Изучение роста деревьев для сравнения и оценки вариантов закладки осуществляли в период 2012–2017 гг., т.е. на 2–7-й год после посадки. Для работы использовали общепринятую методику В.В. Огиевского, А.А. Хирова [5].

Для изучения колебания индивидуальных приростов проведено сравнение приростов по каждому году с приростами предыдущего года каждого дерева. Затем определен процент участия в насаждении деревьев с повышенным в данном году приростом. Таким образом, показатель величины колебания индивидуальных приростов в насаждении характеризовался процентом деревьев с повышенным приростом в изучаемом году по сравнению с предыдущим годом. Если более 50% деревьев увеличивало прирост, то колебание индивидуальных приростов считалось положительным, если менее 50% – отрицательным.

Для детального исследования искусственных насаждений проведено расчленение деревьев по величине колебания индивидуальных ростов в высоту на следующие градации: от 1 до 25, от 26 до 50, от 51 до 75, от 76 до 100, от 101 до 125, от 126 до 150, от 151 до 175, от 176 до 200 см по сравнению с предыдущим годом.

Изучение динамики колебаний основных метеопараметров (температуры и влажности воздуха) за период 2010–2017 гг. проводили с использованием данных сайта rp5.ru. Рассмотрению подлежали показания за период с апреля по сентябрь по каждому учетному году.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проведенного исследования показали, что кульминация среднего годичного роста в высоту в вариантах еще не наступила (табл. 1). За весь рассматриваемый период максимальные значения отмечались в последний учетный год (52,8 и 57,0 см – экспериментальный вариант и контрольный вариант соответственно).

В варианте лесных культур, созданных на неподготовленной почве, средний годичный рост в высоту по годам менялся следующим образом: после посадки, в первые два года, он был незначительным и практически одинаковым. Затем, в 2012 г. рост в высоту увеличился на 52,5% и на протяжении двух лет постепенно снижался. В 2015 г. он упал до 11,5% по сравнению с предыдущим годом, а потом, в последующие учетные годы, вновь повысился на 21,8% – в 2016 г. и 22,4% – в 2017 г. (по сравнению с предыдущим годом). Похожая ситуация просматривалась и в лесных культурах, созданных на подготовленной почве. Здесь незначительное повышение прироста отмечалось на второй год после посадки, которое затем существенно возросло в 2012 г. (на 72,6%) и на протяжении

двух лет стало снижаться с небольшими колебаниями. В 2015 г. годичный прирост культур резко уменьшился до 5,0 %, а потом начал изменяться в сторону повышения на 19,6 % – в 2016 г. и 21,6 % – в 2017 г., но все же оставался небольшим на фоне общего тренда увеличения роста в высоту.

В год посадки лесных культур, независимо от варианта, колебания индивидуальных приростов были отрицательными (менее 50 %) (рис. 1). Начиная с 2011 г. значительно возросли колебания в варианте лесных культур, созданных на неподготовленной почве (на 37,1 %). Экспериментальный вариант превышал контрольный – на 18,2 %.

За рассматриваемый период, в варианте лесных культур, созданных на неподготовленной почве, колебания индивидуальных приростов были максимальными в 2013 г. (71,7 %), после чего отмечалось постепенное снижение показателя и к 2017 г. оно уменьшилось на 9,4 %. В контрольном варианте лесных культур максимальное значение приходилось на 2014 г. (66,9 %). Колебания индивидуальных приростов за весь рассматриваемый период не превышали 70 %, располагались в пределах 62,1–66,9 %. С 2014 г. колебания снизились на 3,5 %.

Распределение индивидуального прироста по градациям по годам показало на переход ко второй группе с ростом в высоту 26–50 см в 2014 г. в экспериментальном варианте (рис. 2).

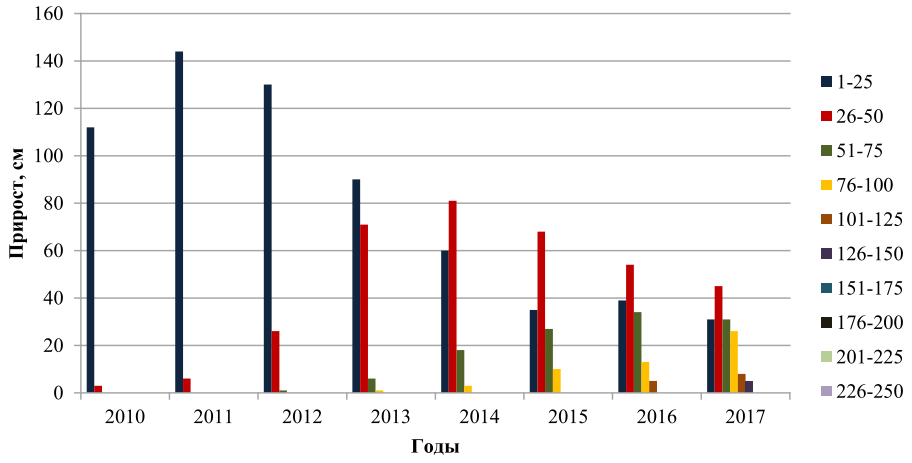
Здесь преобладание прироста данной группы сохранилось до 2017 г. В контрольном варианте переход ко второй группе в 2014 г. продолжался всего лишь один год, с 2015 г. по настоящее время снова наметилась тенденция снижения, перехода к первой группе деревьев с ростом в высоту 1–25 см.

Статистическая обработка метеопараметров показала, что в течение рассматриваемых лет данные не оставались постоянными, наблюдалась их незначительная изменчивость. Так, в первые два года после посадки средняя температура воздуха имела небольшую изменчивость в сторону повышения, а с 2012 г. начала постепенно снижаться (на 6,0 % по сравнению с предыдущим годом). В 2013 г. эта тенденция продолжилась еще на 3,6 %, поэтому год был прохладным. С 2014 г. средняя температура воздуха возросла на 11 % и в последующие два года незначительно колебалась, в пределах от 0,9 % до –4,7 %. В 2017 г. она вновь возросла на 6,1 %. Изменчивость количества выпавших осадков по годам была более значительной. Так, начиная с 2010 по 2012 гг. шло постепенное увеличение количества осадков. С 2013 г. отмечается существенное снижение (на 79,3 %) данного показателя, которое продолжилось в следующем учетном году еще на 38,6 %. Небольшое повышение количества осадков в 2015 и 2016 гг. вновь сменилось снижением данного показателя на 7,4 %.

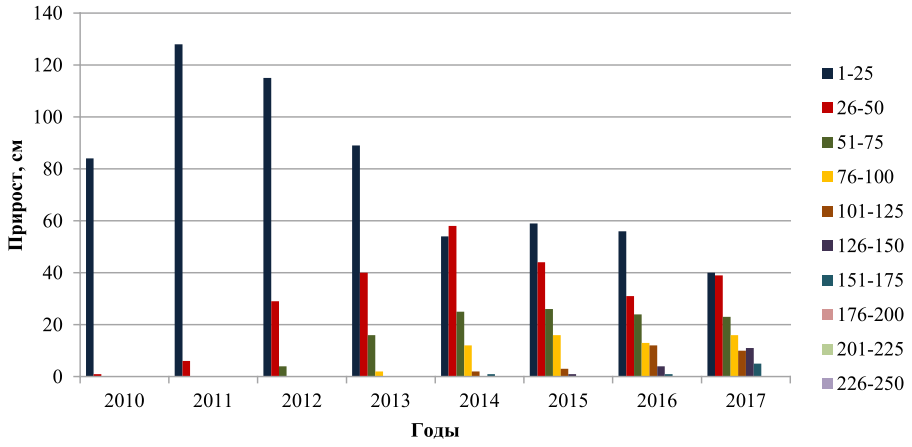
Статистические данные среднего годичного роста в высоту за период с 2010 по 2017 г.

Год	Средний прирост и ошибка средней ($M + m$)	Среднее квадратическое отклонение ($\pm\sigma$)	Коэффициент вариации (V)	Показатель точности (p),%	Критерий достоверности разницы прироста (t)
Экспериментальный вариант					
2010	11,56 ± 0,57	6,1	53,1	4,9	0,8
2011	11,35 ± 0,59	7,3	64,3	5,1	1,1
2012	17,32 ± 0,82	10,34	59,6	4,7	5,8
2013	23,7 ± 1,10	14,37	60,6	4,6	1,3
2014	31,76 ± 1,44	18,48	59,1	4,5	0,1
2015	35,43 ± 1,81	22,34	63,0	5,1	0,1
2016	43,17 ± 2,25	27,40	63,4	5,2	0,1
2017	52,86 ± 2,73	33,20	62,8	5,1	
Контрольный вариант					
2010	8,34 ± 0,61	5,63	67,5	7,3	0,1
2011	9,53 ± 0,67	7,86	82,4	8,0	1,3
2012	16,45 ± 1,06	12,90	78,4	6,4	9,6
2013	24,47 ± 1,85	17,20	70,2	5,8	6,8
2014	37,30 ± 2,08	25,60	68,6	5,5	0,5
2015	39,20 ± 2,30	28,70	73,2	5,8	0,1
2016	46,90 ± 3,0	36,60	78,0	6,3	0,1
2017	57,05 ± 3,63	44,40	77,8	6,3	

Рис. 1. Колебания приростов по вариантам за период с 2010 по 2017 гг., %



а)



б)

Рис. 2. Распределение деревьев по индивидуальным линейным приростам по годам и вариантам: а) экспериментальный вариант; б) контрольный вариант)

Выявление зависимости между метеопараметрами и годичным ростом в высоту, колебанием прироста лесных культур показало, что положительная корреляция прослеживается в обоих вариантах, только с учетом средней температуры воздуха (r = 0,49). Связь между всеми рассматриваемыеми показателями лесных культур и количеством выпавших осадков установить не удалось. Очевидно, что лесные культуры относительно спокойно реагируют на перепады количества выпавших осадков в учетном году.

Интересно отметить тот факт, что существенное снижение годичного прироста в вариантах (по сравнению с предыдущими годами после посадки) отмечается в период 2013–2015 гг., когда в вариантах происходят наибольшие колебания повышенного прироста и когда идет переход к следующей группе прироста с ростом в высоту 26–50 см.

Изучение зависимости между солнечной активностью и рассматриваемыми показателями лесных культур, а также метеопараметрами показало на наличие положительной корреляции между годами солнечной активности и колебаниями прироста (в диапазоне r = 0,5–0,6) и между годами солнечной активность и количеством выпавших осадков (r = 0,2).

Выводы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. В искусственных насаждениях, независимо от варианта, на фоне общего повышения среднего годичного роста в высоту за рассматриваемый период, отмечается период его снижения в отдельные годы (2013–2015 гг.).

2. Величина колебания индивидуального прироста деревьев в вариантах по годам имела максимальные значения в 2013–2015 гг.

3. Распределение годичного роста в высоту по градациям по годам показало на переход к следующей возрастной группе (с ростом в высоту 1–25 см) в 2014 г.

4. Между метеопараметрами и годичным ростом в высоту, колебанием прироста лесных культур установлена положительная корреляция только с учетом средней температуры воздуха (r = 0,49). Лесные культуры относительно спокойно реагируют на перепады количества выпавших осадков в учетном году.

5. Между годами (пиками) солнечной активности и рассматриваемыми показателями лесных культур, а также количеством выпавших осадков установлена значимая связь (r = 0,6). Учитывая данный факт, лесокультурные работы необходимо проводить в большом объеме в пики солнечной активности независимо от варианта. В нашем случае – это 2013–2015 годы. С экономической точки зрения лесные культуры, созданные на неподготовленной почве, выгодно создавать, так как они снижают затраты на проведение трудоемких и дорогостоящих работ.

Список литературы / References

1. Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2017 год. Чита: ГБУ «Забайкальский краевой экологический центр», 2018. 240 с.

The report on an ecological situation in Zabaykalsky Krai for 2017. Chita: GBU «Zabajkal'skij kraevoj ehkologicheskij centr», 2018. 240 p. (in Russian).

2. Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л. Формирование искусственных сосновых древостоев в условиях карельской таежной зоны // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 23–33. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.23.

Gavrilova O.I., Pak K.A., Morozova I.V., Yuryeva A.L. Formation of Artificial Pine Stands in the Karelian Taiga Zone // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry Journal). 2017. № 4. P. 23–33 (in Russian).

3. Морозова И.В., Гаврилова О.И. Закономерности роста культур сосны в течение первых пяти лет после посева семян и посадки сеянцев на вырубках Южной Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 2 (115). С. 49–51.

Morozova I.V., Gavrilova O.I. Regularities of growth of cultures of a pine within the first five years after crops of seeds and landing of seedlings on cuttings of the Southern Karelia // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 2 (115). P. 49–51 (in Russian).

4. Хлюстов В.К., Гаврилова О.И., Морозова И.В. Рост культур сосны в конкурентных отношениях с живым напочвенным покровом вырубок // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. Вып. 2. С. 27–34.

Hlyustov V.K., Gavrilova O.I., Morozova I.V. Growth of cultures of a pine in a competitive relationship with the living ground cover of the felling // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2010. Vyp. 2. P. 27–34 (in Russian).

5. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Ленинград: Типография № 6 Управления печати Ленгорисполкома, 1967. 50 с.

Ogievskij V.V., Hirov A.A. Examination and study of forest crops. Leningrad: Tipografiya № 6 Upravleniya pechati Lengorispolkoma, 1967. 50 p. (in Russian).

УДК 630*16/.18:639.055.36

ИЗМЕНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ПОЛОСЫ ОТВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «УПОРОВСКИЙ»

[1]Попова Е.И., [1]Харитонцев Б.С., [2]Цапцова Т.Н.

[1]Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, e-mail: popova-3456@mail.ru;
[2]Тобольский педагогический институт имени Д.И. Менделеева (филиал) Тюменского государственного университета, Тобольск, e-mail: t.n.capcova@utmn.ru

В статье отражены результаты оценки биоразнообразия естественных и антропогенных экосистем (линии электропередач) территории заказника регионального значения «Упоровский» (Упоровский район, Тюменская область). Анализ выявленного флористического состава показывает принадлежность растительных сообществ исследованной территории к лесным формациям таежной природной зоны. Расширение сети линий электропередач сопряжено с возрастающим многофакторным воздействием на естественные экосистемы. Выявлено, что флора изученного района в пределах трансект, исследуемых участков территории заказника включает 112 видов сосудистых растений, объединенных в 24 семейства, из них 46 видов обнаружено на участке E_1 (естественный), 29 видов – на участке A_2 (антропогенный), остальные 37 видов были общими для обоих участков. Степень участия отдельных видов в травостое определяли методами учета их относительного обилия. Использовали шкалу Друде, в которой различные степени обилия обозначаются баллами на основе величин наименьших расстояний между особями вида и их встречаемости. При проведении линий электропередач на территории отвода уменьшается биоразнообразие флоры за счет выпадения ряда видов. Вследствие нарушения целостности коренных сообществ на территории полосы отвода линии электропередач поселяются синантропные виды, формирующие рудеральные ассоциации с доминирующими видами *Vicia sepium* L., *Polygonum aviculare* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. Обилие видов в коренных сообществах на полосе отвода снижается. Ряд видов, в первую очередь светолюбивых, угнетаемых в коренных сообществах, на открытых участках полосы отвода повышают свое обилие в следующих вариантах: solitaries → sparsae; solitaries → copiosa; sparsae → copiosa.

Ключевые слова: линии электропередач, обилие видов, заказник, полоса отвода, трансекты

PLANT BIODIVERSITY CHANGES AT THE TERRITORY OF ELECTRIC MAINS IN THE BOUNDARIES OF THE REGIONAL RESERVE «UPOROVSKIY»

[1]Popova E.I., [1]Kharitontsev B.S., [2]Tsaptsova T.N.

[1]Tobolsk Complex Scientific Station UD RAS, Tobolsk, e-mail: popova-3456@mail.ru;
[2]Tobolsk Pedagogical Institute named after D.I. Mendeleev (branch) of the Tyumen State University, Tobolsk, e-mail: t.n.capcova@utmn.ru

This article presents the results of assessing the biodiversity of natural and anthropogenic ecosystems (power lines) of the regional reserve «Uporovsky» territory (Uporovsky district, Tyumen region). Analysis of the identified floristic composition shows the affiliation of the plant communities of the investigated area to forest formations of the taiga natural zone. The expansion of power lines network is associated with an increasing multi-factor impact on natural ecosystems. It was revealed that the flora of the studied area of the reserve's territory within the transect includes 112 species of vascular plants, combined into 24 families, 46 species of which were found on site E1 (natural), 29 species – on site A2 (anthropogenic), the remaining 37 species were common to both sites. The degree of participation of certain species in the herbage was determined by taking into account their relative abundance. We used the Drude scale, in which different degrees of abundance are indicated by points based on the values of the smallest distances between individuals of the species and their occurrence. When conducting power lines on the territory of the allotment, the biodiversity of the flora decreases due to the loss of a number of species. Due to the violation of the indigenous communities integrity in the area of the power line distribution line, synanthropic species settle, forming ruderal associations with the dominant species *Vicia sepium* L., *Polygonum aviculare* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. The abundance of species in indigenous communities in the right of way decreases. A number of species, primarily light-loving, oppressed in indigenous communities, in open areas of the right of way, increase their abundance in the following ways: solitaries → sparsae; solitaries → copiosa; sparsae → copiosa.

Keywords: power lines, abundance of species, reserve, right of way, transects

Биологическое разнообразие является основой для поддержания экологического баланса и устойчивого развития биоты регионов.

Одной из форм сохранения фиторазнообразия служит сеть особо охраняемых природных территорий. Однако эти территории, хотя и исключены из активной хозяйственной деятельности, также подвергаются антропогенной трансформации [1, 2].

В центре Упоровского района Тюменской области на землях гослесфонда, межхозяйственного лесхоза и колхоза «Колос», в семи километрах от села Упорово находится заказник «Упоровский», площадь которого оценивается в 6920,0 га. Он существует

с 1996 г., реорганизован 20 апреля 2009 г., в настоящее время является действующим. Это комплексный природоохранный объект областного ранга.

Растительный покров этих мест представлен сосновыми и мелколиственными лесами.

По территории заказника регионального значения «Упоровский» (Упоровский район, Тюменская область) проходит линия ЛЭП (линия электропередач) 110 кВ протяженностью 8 км и шириной полосы отвода около 30 м. Сеть ЛЭП неуклонно возрастает в связи с увеличением промышленного использования электроэнергии. Расширение сети ЛЭП сопряжено с возрастающим многофакторным воздействием на естественные экосистемы.

Целью исследования является оценка биоразнообразия в пределах полосы отвода ЛЭП.

Материалы и методы исследования

Северная граница заказника начинается в северо-западной части Буньковского участкового лесничества (N 56.1452, E 66.0610) и идет в северо-восточном направлении по правой обочине дороги Буньково – Упорово. Не доходя 500 м до деревни Скородум, в крайней северной точке с координатами N 56.1450, E 66.0930 граница поворачивает на юго-восток и идет по лесной дороге Буньковского участкового лесничества.

Восточная граница начинается в юго-восточной части Буньковского участкового лесничества (N 56.1310, E 66.1435) и идет на юго-запад по восточной границе Буньковского участкового лесничества до его юго-восточной части. Далее в юго-восточном направлении по правой обочине лесной дороги в направлении село Морево (N 56.1141, E 66.1537). Затем граница поворачивает на юг и идет до правого берега реки Емуртла (N 56.1015, E 66.1537).

Южная граница начинается на правом берегу реки Емуртла, идет по правому берегу реки вниз по течению на запад, заканчивается в точке с координатами N 56.0945, E 66.0820.

Западная граница начинается у села Буньково, граница поворачивает на север по кривой радиусом 1,5 км с юго-восточной, восточной и северной сторон огибает село Буньково и выходит к правой обочине дороги Буньково – Упорово (N 56.1055, E 66.0705), далее идет на север по правой обочине дороги, совпадая с западной границей Упоровского участкового сельского лесничества [3].

Описание растительности производилось в вегетационные сезоны 2017 г. согласно методическим приемам и подходам, принятым в фитоценологии и широко используемым при проведении геоботанических исследований.

Для изучения компонентов изучаемых фитоценозов закладывали трансекты. Сбор образцов территориально ограничивался их площадью. Трансекты представляли прямоугольник (500×20 м) на естественном (не нарушенном, E_1) и антропогенном (полоса отвода под ВЛЭП, A_2) участках.

Для определения обилия использовали шкалу Друде – систему балльных глазомерных оценок обилия вида: soc (socialis) – растения смыкаются надземной частью, сплошь; cop_3 (от copiosa – обильно) – очень обильно; cop_2 – обильно; cop_1 – весьма обильно; sp (sparsae) – рассеянно; sol (solitaries) – редко, мало; un (unicum) – встречается единично [4–6].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ выявленного флористического состава показывает принадлежность растительных сообществ исследованной территории к лесным формациям таежной природной зоны. В целом в районе проведения исследований преобладают леса южнотаежного облика с господством хвойных пород деревьев: *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L. Подобные коренные леса произрастают на исследованной территории на плакорных участках или по выположенным или более крутым склонам на хорошо дренируемых почвах подзолистого ряда (дерново-подзолистых), образуя первичные сообщества, в которых эдификаторами выступают вышеперечисленные древесные породы. Пример такого типа леса – сосняк плауновый. Формула древостоя 10С, сомкнутость древесного полога 0,6. Сообщество четырехъярусное. Первый ярус высотой около 27 м, образован *Pinus sylvestris* L., средний диаметр ствола 0,5 м, максимальный – 0,6 м. Средний возраст 120–130 лет. Второй ярус сформирован *Pinus sylvestris* L. высотой 12–15 м, средний диаметр ствола 0,3 м (максимальный 0,4 м). Из подроста в данном сообществе отмечены *Picea obovata* в возрасте 14–18 лет. В травяном ярусе доминируют *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Fragaria vesca* L. В первом подъярусе травяного яруса отме-

чены *Antennária dióica* (L.) Gaertn., *Trifolium lupinaster* L., *Lathyrus pratensis* L., *Polygonatum odoratum* (Miller) Druce. Во втором подъярусе высота 0,5–0,6 м произрастают *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem и др. Третий подъярус травяного яруса высотой 0,4 м и ниже сформирован *Pyrola rotundifólia* L., *Viola hirta* L.

Таким образом, на исследованной территории к коренным (первичным) сообществам относятся существенно остепненные с типичным набором южнотаежных трав, кустарников и кустарничков.

На многих участках ВЛЭП исследованной территории коренные леса вследствие вырубок замещены производными (вторичными) лесами, составленными мелколиственными породами – *Betula pendula* Roth и *Populus tremula* L. Подобные леса находятся на разных стадиях сукцессионной серии и постепенно замещаются коренными сообществами, чему способствует отсутствие сдерживающих развитие факторов, включая антропогенные. Подрост хвойных пород деревьев хорошо развит, что благоприятствует естественному ходу восстановления коренной растительности.

На небольших по площади более открытых участках, образующих лесные поляны, развиваются травяно-кустарниковые сообщества, образованные видами лугово-опушечного комплекса *Solidágo virgáurea* L., *Campanula cervicaria* L., *Hypericum perforatum* L., *Dianthus versicolor* Fischer ex Link, *Carlina biebersteinii Bernh*. ex Hornem., *Astragalus danicus* Retz.с участием видов *Calluna vulgaris* (L.) Cull, *Trifolium lupinaster* L., *Leucanthemum vulgare L.*, *Achilléa millefólium* L. и др.

Флора изученного района в пределах трансект, исследуемых участков территории заказника, составлена 112 видами сосудистых растений, объединенных в 24 семейства, из них 46 видов обнаружено на участке E_1, 29 видов – на участке A_2, остальные 37 видов были общими для обоих участков.

Степень участия отдельных видов в травостое определяется методами учета их относительного обилия. Наиболее распространенным из таких методов является использование шкалы Друде, в которой различные степени обилия обозначаются баллами на основе величин наименьших расстояний между особями вида и их встречаемости.

На закладываемых трансектах было отмечено наибольшее обилие растений семейства Compositeae (19 видов). Обнаружено восемь видов, которые произрастали на территории участка E_1: *Artemisia marschalliana* L. (cop_1), *Artemisia frigida* Willd. (sp.), *Pilosella officinarum* L. (sp.), *Serratula coronata* L. (sp.), *Solidágo virgáurea* L. (sp.), *Antennária dióica* (L.) Gaertn. (cop_2), *Inula salicina* L. (sp.), *Carlina biebersteinii* Bernh. ex Hornem. (sp.). На участке A_2 встречались три вида, которые были найдены только на данном участке: *Conyza canadensis* L. (cop_2), *Erigeron ácer* L. (sp.), *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. (sp.). Остальные виды были общими для двух изучаемых участков (E_1, A_2), однако с разной степенью обилия: *Artemisia austrica* Jacq. (sp., sol.), *Artemisia vulgaris* L. (un., sp.), *Leucanthemum vulgare* Lam. (sol., cop_1), *Senecia jacobea* L. (sol, sp.), *Gnaphalium sylvaticum* L. (sol., sp.), *Hieracium umbellatum* L. (sol., sp.), *Círsium heterophyllum* (L.) Hill (sp., sp.), *Achilléa millefólium* L.

Обильными были виды семейства Fabaceae. В этом семействе также встречались виды, произрастающие только на участке E_1: *Astragalus danicus* Retz. (cop_1), *Astragalus onobrychis L.* (sp.), *Trifōlium aureum* Poll. (sp.), *Trifolium lupinaster* L. (sp.), *Vicia tenuifolia* Roth. (sp.), *Lathyrus pisiformis* L. (sp.), *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel (sp.), *Orobus vernus* L. (sp.).

На участке A_2 Fabaceae представлены видами: *Medicago falcata* L. (cop_3), *Medicago lupulína* L. (cop_1), *Trifolium repens* L. (sp.), *Trifolium medium* L. (sp.), *Vicia sepium* L. (sp.), *Trifolium arvense* L. (sp.), *Vícia cracca* L. (sp.), *Lathyrus pratensis* L. (sp.).

Семейство Graminea представлено двенадцатью видами, из которых всего четыре – общие для участков (E_1, A_2): *Agrostis tenuis* Sibth. (sp., sp.), *Agrostis gigantea* Roth. (sol., un.), *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. (sp., cop_3), *Poa pratensis* L.(un., sp.).

Виды *Molinia caerulea* (L.) Monch. (sp.), *Agrostis clavata Trin.* (sp.), *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv (sol.), *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth (cop_3), *Phleum pratense* L. (sp.) встречались на участке E_1, а *Festuca rubra* L. (sp.), *Festuca pratensis* Hudson (sp.), *Poa angustifolia* L. (sol.) отмечены на участке (A_2).

На исследуемых трансектах также встречались растения семейства Rosaceae. Четыре вида были общими для участков: *Potentilla erecta* (L.) Raeuschel (cop_3, sol.), *Fragaria vesca* L. (sol., cop_3), *Rubus saxatilis* L. (sol., cop_3), *Rubus melanolasius* Levl. (un., sp.). Остальные шесть видов встречались только на участке E_1: *Geum urbanum* L. (sol.), *Potentilla canescens* Besser (sol.), *Filipendula vulgaris* Moench (cop_3), *Fragaria viridis* Duch. (sol.), *Sanguisorba officinalis* L. (sp.), *Agrimonia pilosa* Ledeb. (sp.).

Изменение обилия видов сосудистых растений исследуемых участков заказника регионального значения «Упоровский»

№ п/п	Семейства, виды	Участок 1	Участок 2
	Ranunculaceae		
1	*Pulsatilla flavescens* (Zucc.) Juz.)	cop_1	sol.
2	*Ranunculus polyanthemos* L.	sol.	cop_3
3	*Trollius europaeus* L.	sol.	cop_2
	Polygonaceae		
4	*Polygonum hydropiper* L.	–	cop_3
5	*Polygonum aviculare* L.	–	cop_2
	Geraniaceae		
6	*Geranium sylvaticum* L.	sp.	–
7	*Geranium sibiricum* L.	–	sp.
	Hypericaceae		
8	*Hypericum perforatum* L.	–	sp.
	Violaceae		
9	*Viola hirta* L.	sol.	sp.
10	*Viola rupestris* DC.	sol.	sp.
	Onagraceae		
11	*Epilobium collinum* C.C. Gmelin	–	sp.
12	*Chamerion angustifólium* (L.) Holub	un	sp.
	Umbelliferae		
13	*Pimpinella saxifraga* L.	sol.	sp.
14	*Pleurospermum uralense* Hoffm.	sp.	–
15	*Heracleum sibiricum* L.	–	sol.
	Ericaceae		
16	*Calluna vulgaris* (L.) Cull	cop_1	cop_3
17	*Ledum palustre* L.	sol.	–
	Pyrolaceae		
18	*Chimaphila umbellata* (L.) W.Barton	sp.	–
19	*Pyrola rotundifólia* L.	cop_3	–
20	*Pyrola chlorantha* Swartz	sp.	–
	Vacciniaceae		
21	*Vaccinium vitis-idaea* L.	sol.	sp.
22	*Vaccinium myrtillus* L.	sp.	–
	Boraginaceae		
23	*Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem	cop_3	–
	Labiateae		
24	*Dracocephalum ruyschiana* L.	sol.	cop_3
25	*Prunella vulgaris* L.	sp.	cop_3
	Campanulaceae		
26	*Campanula cervicaria* L.	sp.	cop_3
27	*Campanula glomerata* L.	sp.	cop_2
	Liliaceae		
28	*Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz.	sp.	–
29	*Polygonatum odoratum* (Miller) Druce	sp.	–
	Orchidaceae		
30	*Epipactis helleborine* (L.) Crantz	sp.	–
31	*Platanthera bifólia* (L.) L.C.Mrich.	cop_3	sp.
	Juncaceae		
32	*Juncus compressus* Jacq.	sp.	cop_3
33	*Luzula pilosa* (L.) Willd.	sp.	–
	Cyperaceae		
34	*Carex leporina* L.	sp.	–
35	*Carex ericetorum* Pollich	cop_3	–
36	*Carex macroura* Meinsh	cop_3	sol.

В семействе Caryophyllaceae три вида произрастали на участке E_1: *Dianthus versicolor* Fischer ex Link (cop_3), *Gypsophila altissima* L. (sp.), *Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl. (sp.). Четыре вида этого семейства обнаружены на участке A_2: *Gypsophila muralis* L. (sol.), *Melandrium album (Miller)* Garcke (sol.), *Viscaria vulgaris* L. (sp.), *Scleranthus annuus L.* (cop_2). *Silen nutans* L. (sp., sp.), *Eremogene saxatilis* (L.) Ikonn ($cop._2$, sp.) отмечены на всех участках.

Veronica spicata L. (sp.), *Veronica longifolia* L. (sp.), *Melampyrum pratense* L. (sp.), *Digitalis grandiflora* Miller (cop_3) – семейства Scrophylariaceae указаны на участке A_2. Другие виды этого семейства *Verbascum thapsus* L. (sp.), *Verbascum nigrum* L. (sp.). обнаружены на участке E_1. *Veronica chamaedrys* L. (sp., cop_1), *Melampyrum cristatum* L. (sp., cop_2) произрастают на всех исследуемых участках.

Остальные семейства были представлены одним-тремя видами (таблица).

Выводы

Обобщая влияние ЛЭП на растительность заказника регионального значения «Упоровский», следует отметить следующее направление такого воздействия: при проведении ЛЭП на территории отвода уменьшается биоразнообразие за счет выпадения следующих видов: *Artemisia marschalliana* L., *Artemisia frigida* Willd., *Pilosella officinarum* L., *Serratula coronata* L., *Solidágo virgáurea* L., *Antennária dióica* (L.) Gaertn., *Inula salicina* L., *Carlina biebersteinii* Bernh. ex Hornem., *Astragalus danicus* Retz., *Astragalus onobrychis* L., *Trifōlium aureum* Poll., *Trifolium lupinaster* L., *Vicia tenuifolia* Roth., *Lathyrus pisiformis* L., *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel, *Orobus vernus* L., *Agrostis tenuis* Sibth., *Agrostis gigantea* Roth., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Poa pratensis* L и др.

Вследствие нарушения целостности (естественных) коренных сообществ на территории отвода поселяются синантропные виды, приводящие к увеличению биоразнообразия. К ним относятся: *Conyza canadensis* L., *Vicia sepium* L. (sp.), *Polygonum aviculare* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. и др.

Обилие аборигенных видов из коренных сообществ на полосе отвода изменяется. Ряд видов, в первую очередь светолюбивых, угнетаемых в этих сообществах, на открытых участках полосы отвода повышают свое обилие в следующих вариантах: solitaries → sparsae; solitaries → copiosa; sparsae → copiosa. В то же время виды теневыносливые понижают обилие с cop_3 до sol. или совсем не встречаются на участке A_2.

В установленном порядке и при необходимости на особо охраняемых природных территориях должны проводиться мероприятия по восстановлению нарушенного биоразнообразия в экосистемах, например, транслокация редких и охраняемых видов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0018 «Анализ состояния фитоценозов Западной Сибири в современных антропогенных условиях».

Список литературы / References

1. Махнев А.К., Махнева Н.Е. Ландшафтно-экологические и популяционные аспекты стратегии восстановления нарушенных земель // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17. № 3. С. 453–459.

Makhnev A.K., Makhneva N.E. Landscape-ecological and population aspects of the strategy of restoration of disturbed lands // Contemporary Problems of Ecology. 2010. T. 3. № 3. P. 318–322. DOI: 10.1134/S1995425510030100.

2. Казанцева М.Н., Хайдукова А.Ю. Естественное возобновление древесных растений в рекреационных сосняках зеленой зоны г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 2. С. 111–118.

Kazantseva M.N, Khaidukova A.Iu. Natural regeneration of woody plants in pine forests of recreational green zone of the city of Tyumen // Vestnik Tiumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiia i prirodopol'zovanie. 2015, Vol. 1. № 2. P. 111–118 (in Russian).

3. Распоряжение Администрации Тюменской области от 30.12.1996 № 891-р «Об учреждении государственного комплексного зоологического заказника областного значения «Упоровский» в Упоровском районе» // Тюменские известия. № 78, 05.05.2009 г. URL: http://oopt.aari.ru/oopt.ru (дата обращения: 21.11.2018).

Order of the Administration of the Tyumen region of 12.30.1996 № 891-p «On the establishment of the state complex zoological reserve of regional importance» Uporovsky «in Uporovsky district» // Tyumenskie izvestiya. № 78. 05.05.2009. URL: http://oopt.aari.ru/oopt.ru (date of access: 21.11.2018) (in Russian).

4. Глазунов В.А., Науменко Н.И., Хозяинова Н.В. Определитель сосудистых растений Тюменской области. Тюмень: ООО «РГ «Проспект», 2017. 744 с.

Glazunov V.A., Naumenko N.I., Hozyainova N.V. The determinant of vascular plants of the Tyumen region. Tyumen: OOO «RG «Prospekt», 2017. 744 p. (in Russian).

5. Александрова В.Д. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах. Л.: Изд-во «Наука», Ленинград. отд., 1969. 275 с.

Aleksandrova V.D. Classification of vegetation. Overview of the principles of classification and classification systems in different geobotanical schools. L.: Nauka, 1969. 275 p. (in Russian).

6. Алехин В.В. Методика полевого изучения растительности и флоры. М.: Наркомпроса, 1938. 208 с.

Alekhin V.V. Methods of field study of vegetation and flora. M.: Narkomprosa, 1938. 208 p. (in Russian).

УДК 631.459:631.51.01:631.311

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, СНИЖАЮЩЕГО ВОДНУЮ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЭРОЗИЮ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В., Либерцев С.А., Покусаев П.А.

ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», Саратов, e-mail: ariser@yandex.ru

На основании анализа основных факторов, влияющих на интенсивность водной и технологической (механической) эрозии на склоновых землях, усовершенствован процесс противоэрозионной обработки почвы, обеспечивающий восстановление верхнего плодородного слоя по толщине, за счет возврата, ранее смещённого по склону водной и технологической эрозией верхнего плодородного почвенного слоя. Представленные исследования проводились в трехкратной повторности, по общепринятым отраслевым стандартам и разработанным методикам, на агрофонах типичных для Поволжья. Проведенными лабораторно-полевыми исследованиями установлено, что на участках по стерне яровой пшеницы, при влажности почвы 15,1 и 21,5%, применение разработанного технологического процесса обработки обеспечивает создание на поверхности пашни, одновременно с основной обработкой почвы, гребне-стерневых кулис, путем подрезания лемешно-подрезающими рабочими органами орудия и смещения вверх по склону подрезанного слоя почвы с растительными остатками. Это позволяет за одну обработку произвести перенос (возврат) вверх по склону 145–190 т/га ранее смытой плодородной почвы на расстояние до 0,35 м и за счет образованного противоэрозионного микрорельефа сократить интенсивность водной и технологической эрозии. Основные агротехнические показатели, полученные в полевых условиях, соответствуют требованиям, предъявляемым к обработке почв, подверженных эрозии. Предварительными исследованиями установлено, что применение технологического процесса компенсационной обработки почвы позволит снизить энергозатраты на основной обработке почвы и сократить потери почвенных и водных ресурсов. Предлагаемая обработка почвы может применяться на склоновых полях с уклоном до 8° на зяби и весенне-летних обработках паровых полей.

Ключевые слова: водная и технологическая эрозия, технологический процесс, компенсационная обработка почвы, противоэрозионная кулиса, агротехнические показатели

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOIL TREATMENT FOR DECREASING WATER AND TECHNOLOGICAL EROSION ON SLOPE LANDS

Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V., Libertsev S.A., Pokusaev P.A.

NIISH South-East, Saratov, e-mail: ariser@yandex.ru

Based on the analysis of the main factors affecting the intensity of water and technological (mechanical) erosion on the slopes, the process of anti-erosion treatment of the soil has been improved, ensuring the restoration of the upper fertile layer in thickness due to the return of the upper fertile soil layer previously displaced along the slope. The presented studies were carried out in triplicate according to generally accepted industry standards and developed methods on agricultural backgrounds typical for the Volga region. Conducted laboratory and field studies showed that in areas of stubble plot of spring wheat, with soil moisture of 15.1 and 21.5%, the application of the developed technological process of processing ensures the formation on the field surface, simultaneously with the soil processing, soil ridges and stubble, by cutting soil ploughshare and moving up the slope. This allows to transfer (return) on the slope of 145-190 tons of soil per hectare of previously washed fertile soil to a distance of up to 0.35 m and, due to the formed erosion-resistant microrelief, to reduce the intensity of water and technological erosion. The main agrotechnical indicators obtained in the field meet the requirements for tillage on the slopes. Preliminary studies have established that the use of the technological process of compensatory tillage will reduce the energy consumption for the main tillage and reduce the loss of soil and water resources. The proposed tillage can be applied on fields with a slope of up to 8°, on winter tillage and spring-summer treatments of steam fields.

Keywords: water and technological erosion, technological process, compensatory tillage, anti-erosion scenes, agrotechnical indicators

Активное проявление эрозионных процессов на склоновых землях приводит к разрушению почвенного покрова, снижению плодородия обрабатываемых земель и загрязнению окружающей среды. В таких условиях процесс эрозии протекает под действием водной и технологической (механической) эрозии, которые, как правило, усиливают друг друга. В итоге происходит ежегодное постепенное сползание вниз по склону верхнего слоя почвы. Результат такого перемещения почвы под действием рабочих органов машин, силы гравитации и кинетической энергии водных потоков хорошо виден весной. Все вершины склоновых полей имеют более светлую или бурую окраску [1–3].

Результаты исследований показывают, что на склоновых землях ежегодно теряется около 50% зимних осадков и до 10 т/га почвы Основной причиной потери почвенных и водных ресурсов является то, что при обработке почвы существующими техническими средствами не создаются условия для регулирования стока, который является первопричиной водной эрозии [4].

Цель исследования: повышение качества основной противоэрозионной обработки, за счет разработки технологического процесса и технических средств для компенсационной обработки почвы, обеспечивающих снижение водной и технологической эрозии на склонах.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились согласно отраслевым стандартам: ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний; СТО АИСТ 4.2-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки показателей; ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки; ГОСТ Р 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. Так же по разработанным частным методикам в трехкратной повторности на агрофонах, характерных для зоны Поволжья.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что процесс эрозии на склонах во многом зависит от типа почв, климатических особенностей зоны, рельефа местности, а также приёмов и интенсивности обработки почвы. Эти основные факторы можно разделить на три группы (рис. 1).

К первой группе относятся постоянные факторы, которые независимо от применяемой технологии не меняются во времени. Особенность неуправляемых факторов заключается в том, что они зависят от климатических особенностей зоны, поэтому эти факторы каждый год могут принимать совершенно различные величины. Третья группа управляемых факторов, как и первые две группы, оказывают большое влияние на процесс водной и технологической эрозии. Особенностью этих факторов является то, что их можно изменить в широких пределах применяя для этого, например, различные рабочие органы и приемы обработки почвы.

Рис. 1. Схема основных факторов, влияющих на эрозионный процесс на склоновых землях

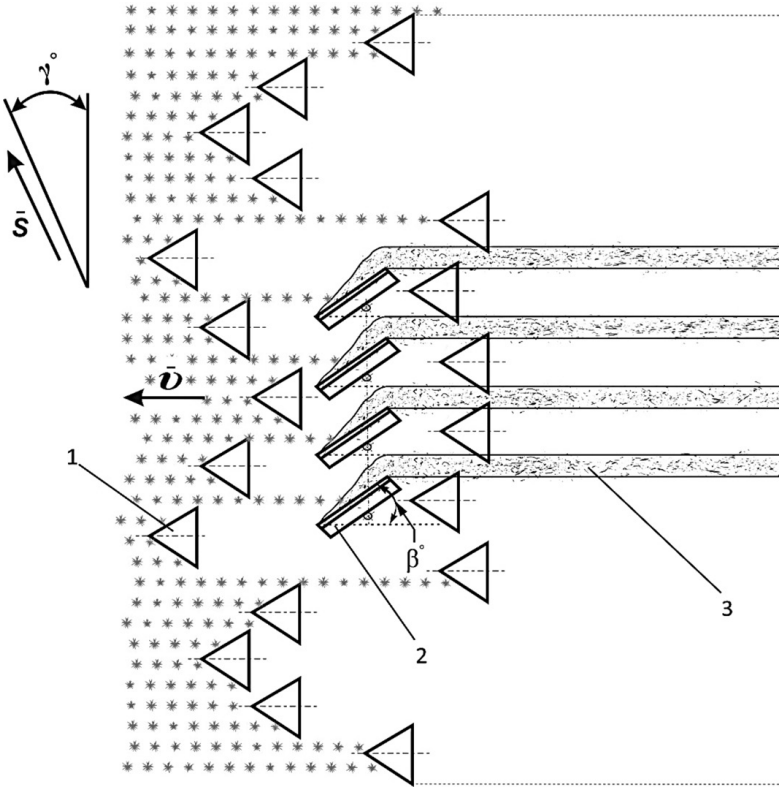


Рис. 2. Схема процесса компенсационной обработки почвы (1 – рыхляще-подрезающие лапы, 2 – лемешно-подрезающие рабочие органы, 3 – гребне-стерневая кулиса, $\bar{\upsilon}$ – направление движения агрегата, $\bar{S}$ – направление перемещения пожнивных остатков и почвы, γ° – уклон поля, β° – угол атаки режущей кромки – односторонних лемешно-подрезающих рабочих органов)

В производстве в данное время склоновые земли обрабатывают поперек склона плугами или орудиями с безотвальными органами. Это позволяет в определённых условиях снизить частично только водную эрозию. Применение оборотных плугов на смытых склоновых участках является неэффективным ввиду того, что при вспашке происходит вынос на поверхность поля менее плодородной почвы, а выровненная рыхлая поверхность поля при этом легко размывается водными потоками.

Неразрывная связь основных факторов, влияющих на водную и технологическую эрозию, говорит о том, что задачу сохранения почвенных и водных ресурсов надо решать комплексно. Для этого в НИИСХ Юго-Востока усовершенствован технологический процесс и орудие для выполнения компенсационной обработки почвы (рис. 2) [5, 6].

Его отличительная особенность заключается в том, что при основной обработке почвы на поверхности поля образуется микрорельеф в виде чередующихся противоэрозионных кулис, разделяющих склоновый участок поля на множество элементарных замкнутых участков. Такое размещение кулис позволяет внутри созданных замкнутых участков предотвратить возникновение нарастающего потока воды и процесса эрозии.

Противоэрозионные гребне-стерневые кулисы 3 формируют путем подрезания рабочими органами 2 орудия верхнего слоя почвы с пожнивными остатками и смещения вверх по склону подрезанного 3–6-ти сантиметрового слоя почвы с растительными остатками постоянно вверх по склону. В результате технологического процесса выполняется сплошная обработка почвы рыхляще-подрезающими лапами 1 и восстановление верхнего плодородного слоя по толщине, за счет возврата, ранее смещённого по склону водной и технологической эрозией верхнего плодородного почвенного слоя. Данный способ обработки можно применять как на зяби, так и на обработке паровых полей в весенне-летний период.

Проверка эффективности предлагаемой компенсационной обработки почвы и оптимизация конструктивных и технологических параметров основных органов экспериментального орудия проводились в лабораторно-полевых условиях. Влажность почвы на участках после уборки яровой пшеницы составляла: первый вариант W = 15,1; второй вариант W = 21,5 %, на склоновом участке с уклоном γ от 1 до 8 ° (рис. 3).

В ходе исследований было отмечено, что при влажности W = 15,1 % односторонние лемешно-подрезающие рабочие органы при установленной глубине обработки h = 3 см не обеспечивали равномерное заглубление в почву. С увеличением глубины хода лемешно-подрезающих рабочих органов до h = 5–6 см равномерность их хода становилась устойчивой, образуемая гребне-стерневая кулиса имела постоянные параметры по высоте и ширине. Масса одного погонного метра образуемой и перемещенной вверх по склону кулисы Q в зависимости от влажности почвы W изменялась от 22 до 30 кг на один погонный метр кулисы (кг/п.м), что соответствует 145–190 т/га перемещенной вверх по склону почвы за одну обработку.

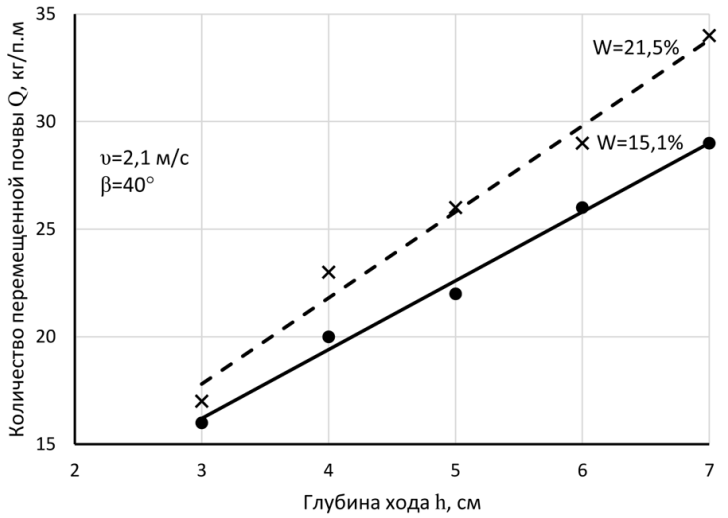


Рис. 3. Зависимость количества перемещенной почвы – Q вверх по склону от глубины хода – h лемешно-подрезающих рабочих органов и влажности почвы – W

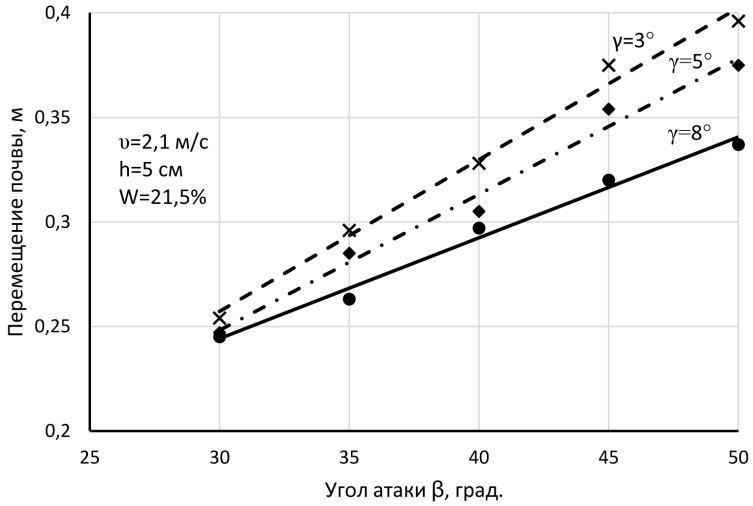


Рис. 4. Влияние угла атаки – β лемешно-подрезающих рабочих органов и уклона поля – γ на величину перемещения почвы вверх по склону

Величина перемещения вверх по склону подрезанной почвенно-стерневой массы определялась на участках с уклоном γ равным 3°, 5° и 8° (рис. 4). В зависимости от угла атаки β режущей кромки – односторонних лемешно-подрезающих рабочих органов перемещение подрезанного верхнего слоя почвы на уклоне γ = 3° изменялось от 0,25 м при β = 30° до 0,39 м при β = 50°. На уклоне γ = 8° величина перемещения при тех же углах атаки -β составляла 0,24 м и 0,34 м. В ходе эксперимента отмечалось сгруживание перемещаемой почвенно-стерневой массы, при углах атаки -β более 45°, это приводило к нарушению технологического процесса.

Основные результаты агротехнических и эксплуатационно-технологических показателей работы орудия для компенсационной обработки почвы представлены в табл. 1 и 2.

При проведении испытаний средняя скорость движения агрегата на зяблевой обработке составила 7,2 км/ч, средняя глубина обработки рыхляще-подрезающими лапами при этом была равна 0,151 м. Производительность экспериментального агрегата за один час составила 4,3 га/ч, удельный расход топлива при этом был равен 8,5 кг/га. На обработке парового поля, при средней глубине обработки 0,082 м, производительность агрегата равнялась 5,5 га/ч, удельный расход топлива при этом составил 5,9 кг/га.

Предварительными исследованиями установлено, что применение технологического процесса компенсационной обработки почвы, за счет минимизации, позволит уменьшить энергетические затраты на обработке почвы до 20…30%, увеличить запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы до 10…15%, а также сократить поверхностный сток во время снеготаяния и при ливневых осадках до 40% и потери верхнего плодородного слоя в 1,5…2,5 раза в сравнении с традиционными технологиями.

Выводы

1. Создание на поверхности пашни гребне-стерневых кулис путем подрезания и смещения вверх по склону подрезанного 3–6-ти сантиметрового слоя почвы с растительными остатками позволяет за одну обработку произвести перенос (возврат) вверх по склону 145–190 т/га ранее смытой плодородной почвы на расстояние до 0,35 м и сократить интенсивность водной и технологической эрозии.

Таблица 1

Показатели агротехнической оценки

Показатели	Техническое задание	Экспериментальные данные	
Состав агрегата	Класс трактора 30–40 кН	Т-150К + орудие	
Вид работ		Обработка зяби	Обработка паров
Скорость движения агрегата, км/ч	до 10	7,2	9,1
Ширина захвата агрегата, м	6,00 ± 0,05	6,00	6,00
Глубина обработки почвы рыхляще-подрезающими лапами, м	До 0,16	0,151	0,082
Среднее квадратическое отклонение от глубины обработки, ±м	0,015	0,012	0,013
– величина подрезания почвы со стернёй лемешно-подрезающими органами, м	0,03–0,06	0,052	0,045
Крошение почвенного пласта,%, размер комков менее 0,05 м	≥50,0	68,3	82,8
Количество противоэрозионных кулис, создаваемых за проход агрегата, шт.	4	4	4
Размеры создаваемых кулис, м – по ширине – по высоте	 0,25…0,38 0,08…0,17	 0,345 0,118	 0,313 0,104
Перемещение верхнего слоя почвы вверх по склону, м	Не менее 0,25	0,31	0,34
Подрезание сорняков,%	100	100	100
Содержание эрозионно-опасных частиц в верхнем 5-см слое	Не должно увеличиваться	Не увеличивалось	Не увеличивалось
Нарушение технологического процесса	Не допускается	Отсутствовало	Отсутствовало

Таблица 2

Результаты технико-эксплуатационной оценки орудия

Показатели	Значение показателей:		
	Техническое задание	Экспериментальные данные	
Состав агрегата	Класс трактора 30–40 кН	Т-150К + орудие	
Вид работ		Обработка зяби	Обработка пара
– скорость агрегата, км/ч	до 10	7,2	9,1
– конструкционная ширина захвата, м	6,00 ± 0,05	6,00	6,00
– глубина обработки почвы рыхляще-подрезающими лапами, м	До 0,16	0,151	0,082
– величина подрезания почвы со стернёй лемешно-подрезающими органами, м	0,03–0,06	0,052	0,045
Производительность агрегата за 1 час, га: Обработка на 0,10–0,16 м – основного времени – сменного времени – эксплуатационного времени Обработка до 0,10 м – основного времени – сменного времени – эксплуатационного времени	 3,6…4,8 – 2,7…3,8 4,8…6,0 – 3,7…4,6	 4,3 3,4 3,3 – – –	 – – – 5,5 4,4 4,3
Удельный расход топлива, кг/га	–	8,5	5,9
Эксплуатационные и технологические коэффициенты: – надежности технологического процесса; – использования сменного времени; – использования эксплуатационного времени;	 Не ниже 0,98 Не ниже 0,78 Не ниже 0,77	 0,98 0,79 0,77	 0,99 0,80 0,78
Качество выполнения технологического процесса: – крошение почвенного пласта, %, размер комков менее 0,05 м Размеры создаваемых кулис, м – по ширине – по высоте – содержание эрозионно-опасных частиц в верхнем 5-см слое	 ≥50,0 0,25…0,38 0,08…0,17 Не должно увеличиваться	 68,3 0,345 0,118 Не увеличивалось	 82,8 0,313 0,104 Не увеличивалось

2. Лабораторно-полевыми исследованиями установлено, что орудие для компенсационной обработки почвы по основным показателям – равномерности глубины обработки и крошения почвы, параметрам образуемых гребне-стерневых кулис – полностью соответствуют техническому заданию. Производительность агрегата с трактором класса 30 кН на обработке паров составляет 5,6 га/ч, удельный расход топлива – 5,9 кг/га.

3. Орудие для выполнения компенсационной обработки почвы целесообразно применять на склоновых полях с уклоном до 8° на зяби и весенне-летних обработках паровых полей.

Список литературы / References

1. Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Фархутдинов И.М., Валиуллин И.Э., Ахметянова И.И. Моделирование технологического процесса обработки почвы на склоновых агроландшафтах // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 1 (39). С. 87–91. DOI: 10.12737/19332.

Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S., Farhutdinov I.M., Valiullin I.E., Akhmetyanova I.I. Modeling of tillage workflow on sloping agricultural landscapes // Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2016. Volume 11. №1 (39). P. 87–91 (in Russian).

2. Макарова М.С., Зацаринный В.А. Перемещение пласта почвы при вспашке склоновых полей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 8. С. 16–18.

Makarova M.S., Zatsarinny V.A. Movement of the soil layer during plowing of slope fields // Mechanization and electrification of agriculture. 2008. № 8. P. 16–18 (in Russian).

3. Рахимов З.С. Механическая эрозия почвы на склонах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 5. С. 37–38.

Rakhimov Z.S. Mechanical soil erosion on slopes // Tractors and agricultural machines. 2005. № 5. P. 37–38. (in Russian).

4. Шабаев А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья. Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2003. 284 с.

Shabaev A.I. Adaptive-ecological systems of agriculture in the Volga region agrolandscapes. Saratov FGOU VPO «Saratovskij GAU», 2003. 284 p. (in Russian).

5. Соколов Н.М., Шабаев А.И., Стрельцов С.Б., Худяков В.В. Способ обработки почвы в паровом поле. Патент РФ № 2564849. Патентообладатель ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». 2015. Бюл. № 28.

Sokolov N.M., Shabaev A.I., Streltsov S.B., Khudyakov V.V. The method of processing soil in the steam field. RU 2564849. Patentee Federal State Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region». 2015. Bulletin number 28 (in Russian).

6. Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В., Шабаев А.И., Соколов В.Н. Орудие для противоэрозионной обработки почвы. Патент РФ № 26122111. Патентообладатель ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». 2017. Бюл. № 45.

Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V., Shabayev A.I., Sokolov V.N. A tool for anti-erosion tillage. RU 26122111. Patentee Federal State Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region». 2017. Bulletin number 45 (in Russian).

УДК 633.16:631.453:546.56:581.3

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЯЧМЕНЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ МЕДЬЮ

Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И., Рачкова В.М.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», Обнинск, e-mail: rirae70@gmail.com

Медь является одним из биологически значимых и незаменимых микроэлементов для растений, однако при повышенных концентрациях может вызывать токсическое действие. Исследования влияния меди на рост и различные биохимические показатели растений проводятся, как правило, в водной или гидропонной культуре, в упрощенных по сравнению с естественной средой обитания для большинства растений модельных системах. Целью нашей работы являлось изучение ответной реакции растений ячменя в онтогенезе при воздействии различных концентраций меди в вегетационном эксперименте на двух типах почв. Контроль окислительно-восстановительного гомеостаза растений в ходе эксперимента показал, что внесение меди в дерново-подзолистую почву и чернозем в концентрациях соответственно до 200 и 400 мг/кг, не вызвал заметного стресса у ячменя. Установлено, что реакция растений на действие меди зависит от фазы развития, концентрации металла и типа почвы. Внесение меди в почву вызвало заметную задержку в развитии растений, по сравнению с контролем. Отмечена прямая зависимость длительности органогенеза от содержания меди в почве, наиболее выраженная для дерново-подзолистой почвы. Для развития биомассы растений на дерново-подзолистой почве стимулирующим оказался диапазон 50–150 мг/кг содержания меди в почве, при превышении этого уровня, начиная с ранних стадий развития растений (30 суток), наблюдается резкое преимущественное увеличение биомассы корней и снижение надземной биомассы. Для растений, культивируемых на черноземе, отмечено зависимое от уровня содержания меди в почве снижение как надземной, так и корневой биомассы, при содержании меди в почве свыше 150 мг/кг.

Ключевые слова: ячмень, онтогенез, медь, почвы, ростовые и биохимические показатели

RESPONSE REACTION OF BARLEY IN ONTOGENESIS FOR POLLUTION BY COPPER

Tsygvintsev P.N., Goncharova L.I., Rachkova V.M.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, e-mail: rirae70@gmail.com

Copper is one of the biologically significant and irreplaceable microelements for plants, however, at elevated concentrations it can cause toxic effects. Studies of the effect of copper on growth and various biochemical parameters of plants are carried out, as a rule, in aquatic or hydroponic culture, in a simplified model system compared to the natural habitat for most plants. The aim of the study was the response research of barley plants in ontogenesis under the influence of different copper concentrations in a vegetation experiment on two types of soils. Control of the oxidation-reduction plant homeostasis during the experiment showed that the introduction of copper into sod-podzolic soil and chernozem in concentrations of 200 and 400 mg / kg, respectively, did not cause significant stress in barley. It is established that the reaction of plants to the copper influence depends on the phase of development, the concentration of the metal and the type of soil. The introduction of copper into the soil caused a significant delay in the development of plants, in comparison with the control group. A direct dependence of the duration of organogenesis on the copper content in the soil is noted, most pronounced for sod-podzolic soil. For the development of plant biomass on sod-podzolic soil, the range of 50–150 mg / kg of copper content in the soil turned out to be stimulating. When this level is exceeded, starting from the early stages of plant development (30 days), a sharp predominant increase in root biomass and a decrease in aboveground biomass was observed. For plants cultivated on chernozem, a decrease in both above-ground and root biomass, depending on the level of copper content in the soil, was observed, when the content of copper in the soil exceeded 150 mg / kg.

Keywords: barley, ontogeny, copper, soils, growth and biochemical indicators

Медь является одним из биологически значимых и незаменимых микроэлементов для растений [1], однако при повышенных концентрациях может вызывать токсическое действие [2–4]. Медь, входя в состав ферментов, регулирует фотосинтез и концентрацию ингибиторов роста, водный обмен и перераспределение углеводов [5]. Недостаток меди вызывает у растений задержку роста [6]. Избыток меди вызывает ответную реакцию антиоксидантной защиты. В результате индуцируемого медью оксидативного стресса происходит усиленное образование свободных радикалов и активных форм кислорода, вызывающих перекисное окисление липидов (ПОЛ), инактивацию энзимов и нарушение в структуре ДНК. В реализации защитного потенциала растений от избытка тяжелых металлов (ТМ) важная роль отводится системе антиоксидантной защиты (синтез низкомолекулярных соединений, индукция пероксидаз, свободного пролина и т.д.). При высоком содержании меди в почве отмечается снижение роста и продуктивности как диких [7–9], так и культурных растений [10–12].

Исследования влияния меди на рост и различные биохимические показатели растений проводятся, как правило, в водной или гидропонной культуре, в упрощенных по сравнению с естественной средой обитания для большинства высших растений модельных системах. В литературе нет единого мнения о механизмах действия меди на растения при выращивании на различных типах почв. Эффективность действия ТМ на сельскохозяйственные культуры зависит от степени окультуренности почв, возраста растений и т.д. [13]. Наибольшее значение для формирования урожая растений имеет фаза их интенсивного роста, когда происходит закладка продуктивных органов и основное накопление биомассы растений.

Цель работы: изучение ответных реакций растений ячменя в онтогенезе на фазе интенсивного роста при воздействии различных концентраций меди.

Материалы и методы исследования

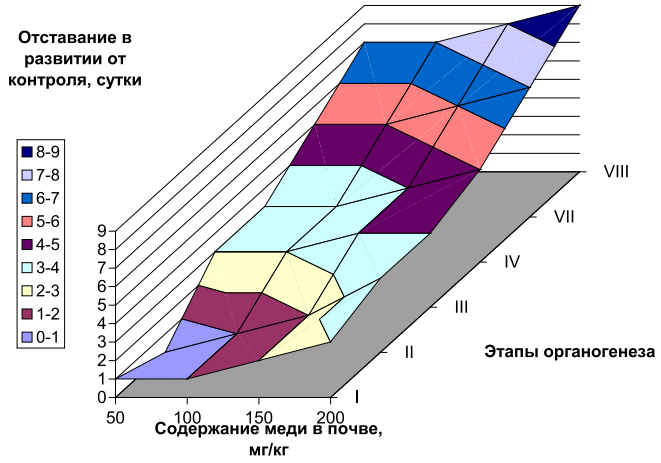
В вегетационном опыте объектом исследований служил ячмень *Hordeum vulgare* L., сорта Зазерский 85. Использовали два типа почв – дерново-подзолистую супесчаную и чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Агрохимические характеристики почв составили соответственно: pH_{KCl} 5,47 и 5,53; гумус – 1,7% и 4,8%; обменный K_2O – 64,7 и 134,3 мг/кг; подвижный P_2O_5 – 805 и 214 мг/кг; гидролитическая кислотность – 2,7 и 3,0 мг-экв/100 г; сумма обменных оснований – 7,6 и 31,7 мг-экв/100 г. В контроле валовое содержание меди в почвах составляло 3,8 и 9,1 мг/кг. Для посева растений использовали вегетационные сосуды диаметром 22 см, высотой 20 см, с дренажем. За десять дней до посева медь добавляли в почву в виде водных растворов соли $Cu(NO_3)_2$ x $3H_2O$ в концентрациях, соответствующих её содержанию: в дерново-подзолистой супесчаной почве – 50; 100; 150; 200 мг/кг; в черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом – 100; 150; 300; 400 мг/кг, что с учетом валового содержания давало превышение ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) [14] от 1,6 до 6,2 раза. Фон азота в разных вариантах опыта после добавления нитрата меди выравнивали внесением NH_4NO_3 до 200 мг/кг почвы по азоту. Полив растений осуществляли дистиллированной водой через дренажную трубку по мере высыхания почвы с контрольным взвешиванием сосудов. Ячмень выращивали в течение 60 суток. Плотность посева – 13 растений на сосуд, повторность опыта пятикратная.

Через 20, 30, 45 и 60 суток от даты всходов проводили анализ ростовых и биохимических показателей растений. Этапы органогенеза определяли по Ф.М. Куперман [15]. Массу надземной (без учета веса колоса) и корневой частей растений оценивали гравиметрическим методом для воздушно-сухого состояния. Спектрофотометрическим методом на приборе UNICO-1200 (Санкт-Петербург, РФ) определяли интенсивность ПОЛ по содержанию малонового диальдегида (МДА) и накопление свободного пролина согласно методике [16], повторность трехкратная. Данные в таблице приведены в виде средних и их стандартных ошибок. Достоверность различий вариантов устанавливали на основе двустороннего *t*-критерия для средних.

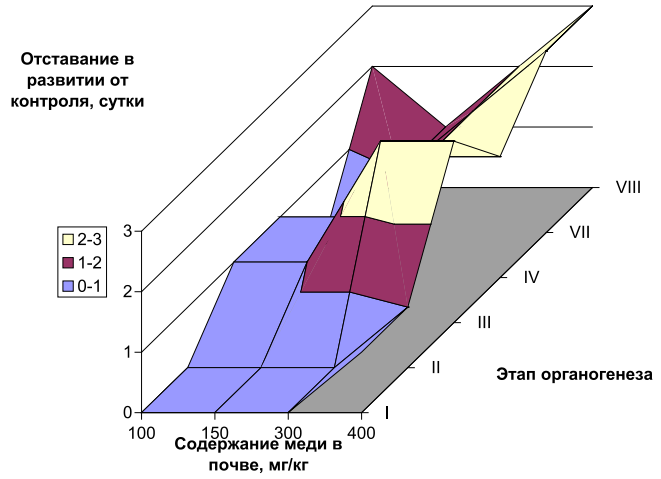
Результаты исследования и их обсуждение

Следует отметить, что внесение меди в почву вызвало заметную задержку в развитии растений, по сравнению с контролем (рис. 1). Можно отметить прямую зависимость длительности органогенеза от содержания меди в почве, наиболее выраженную для дерново-подзолистой почвы. VIII этап органогенеза (колошение) в данном случае наступал на 7–9 дней позже, чем у контроля, и данное отставание в развитии накапливалось постепенно, во все этапы органогенеза. Наблюдаемые закономерности хорошо согласуются с динамикой накопления меди корнями и наземной биомассы данных растений [17]. Однако наблюдаемый эффект зависит не только от содержания меди в растениях, но и от типа почвы, возможно в данном случае проявление эффекта задержки развития обусловлено также количеством гумуса в почве или другими агрохимическими характеристиками почвы.

Контроль окислительно-восстановительного гомеостаза растений в ходе эксперимента показал, что внесение меди в почву в данных концентрациях не вызывает заметного стресса у ячменя (рис. 2). Содержание МДА в листьях на раннем этапе развития растений находилось в пределах, 40–60 нМоль/г, снизившись в дальнейшем до 20–30 нМоль/г, и не зависело от концентрации меди. На позднем этапе роста растений (фаза цветения – колошения) можно отметить достоверное ($p < 0,05$) увеличение (до 50 нМоль/г) содержания МДА в листьях растений, культивируемых на дерново-подзолистой почве при содержании меди в ней 100 мг/кг и выше, и на черноземе при концентрации меди 400 мг/кг (рис 2, А, Б).



А)



Б)

Рис. 1. Задержка в наступлении этапов органогенеза (по Ф.М. Куперман) в зависимости от валового содержания меди в дерново-подзолистой (А) почве и черноземе (Б)

Концентрация пролина в листьях растений не зависела от содержания меди в почве и в течение всего эксперимента находилась в пределах 0,5–0,7 мкМоль/г (рис. 2, В, Г). Активизация в накоплении пролина у растений в ответ на неблагоприятные факторы является особенностью биосинтеза и метаболизма этого соединения для поддержания клеточного гомеостаза и может проходить независимо от возраста растений. Поэтому относительно стабильный и не зависимый от концентрации меди в растениях уровень пролина свидетельствует об отсутствии стресса растений и подтверждает, что закономерности накопления меди ячменем, представленные в работе [17], получены на фоне нормального физиологического состояния растений.

В таблице приведены данные динамики биомассы надземной и корневой части растений ячменя в онтогенезе. Для дерново-подзолистой почвы можно отметить рост надземной биомассы растений по сравнению с контролем при валовом содержании меди в почве в районе 50–100 мг/кг и ее угнетение при уровне меди 200 мг/кг почвы. На черноземе эффекта увеличения надземной биомассы не наблюдалось, но отмечено достоверное ее снижение по сравнению с контролем на ранних (до 30 суток) и поздних (60 сутки) этапах роста растений, при этом выраженность эффекта зависела от содержания меди в почве и отмечалась при уровнях 300–400 мг/кг почвы.

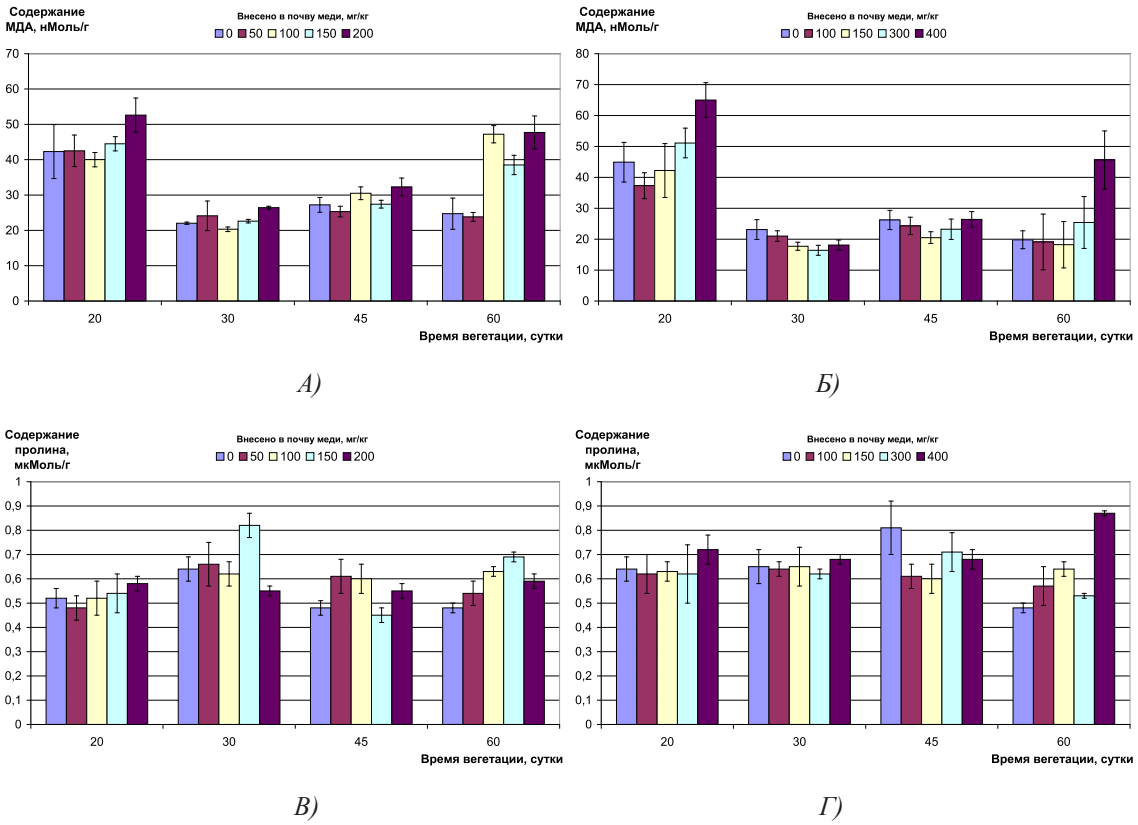


Рис. 2. Окислительно-восстановительный гомеостаз растений ячменя на различных типах почв при внесении различных доз меди: А) содержание МДА, нМоль/г (дерново-подзолистая почва); Б) содержание МДА, нМоль/г (чернозем); В) содержание пролина, мкМоль/г (дерново-подзолистая почва); Г) содержание пролина, мкМоль/г (чернозем)

Влияние меди на биомассу надземной и корневой части растений ячменя

Показатель	Внесено меди в почву, мг/кг	Время вегетации, сутки			
		20	30	45	60
Дерново-подзолистая супесчаная почва					
Надземная биомасса, г	0	1,17 ± 0,09	1,76 ± 0,07	4,27 ± 0,04	9,96 ± 0,04
	50	1,36 ± 0,02	2,19 ± 0,06*	5,12 ± 0,04*	11,18 ± 0,50
	100	1,42 ± 0,11	2,16 ± 0,03*	5,10 ± 0,05*	14,4 ± 0,52*
	150	1,43 ± 0,01	2,02 ± 0,02*	4,76 ± 0,07*	9,62 ± 0,05
	200	1,22 ± 0,06	1,57 ± 0,11	2,91 ± 0,03*	7,94 ± 0,54*
Масса корней, г	0	0,18 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,43 ± 0,04	0,7 ± 0,06
	50	0,18 ± 0,04	0,38 ± 0,05	0,39 ± 0,06	0,8 ± 0,04
	100	0,18 ± 0,01	0,38 ± 0,01*	0,44 ± 0,02	1,15 ± 0,09*
	150	0,24 ± 0,01	0,64 ± 0,07*	1,16 ± 0,01*	1,2 ± 0,01*
	200	0,26 ± 0,02	0,48 ± 0,11*	1,36 ± 0,10*	1,54 ± 0,20*
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый					
Надземная биомасса, г	0	1,69 ± 0,02	2,68 ± 0,05	5,14 ± 0,18	13,5 ± 0,23
	100	1,46 ± 0,05	2,46 ± 0,04	4,55 ± 0,08	14,3 ± 0,11
	150	1,36 ± 0,10*	2,36 ± 0,02*	5,10 ± 0,28	10,6 ± 0,62
	300	1,34 ± 0,02*	2,15 ± 0,04*	5,23 ± 0,16	9,03 ± 0,09*
	400	1,38 ± 0,07	2,14 ± 0,25*	5,04 ± 0,07	8,56 ± 0,31*
Масса корней, г	0	0,18 ± 0,02	0,34 ± 0,01	0,53 ± 0,06	1,16 ± 0,02
	100	0,17 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,44 ± 0,02	1,25 ± 0,11
	150	0,16 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,48 ± 0,03	0,95 ± 0,08*
	300	0,16 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,62 ± 0,08*
	400	0,19 ± 0,02	0,32 ± 0,01	0,55 ± 0,07	0,64 ± 0,03*

П р и м е ч а н и е . Различия с контролем значимы при: *p < 0,05.

Аналогичная картина снижения биомассы при уровнях содержания меди 150–400 мг/кг чернозема наблюдалась и для корневой системы ячменя на позднем этапе роста (60 сутки). В то же время на дерново-подзолистой почве с увеличением концентрации меди до 150–200 мг/кг происходит увеличение коневой биомассы, до 2–3 раз, по сравнению с контролем. Данный, зависимый от содержания меди в почве, рост корней растений ячменя возможно следует рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на снижение концентрации меди в корневой системе за счет эффекта «разбавления». Однако на черноземе при тех же концентрациях меди в корнях ячменя [17] данный эффект не наблюдается.

Отмеченные возрастные особенности формирования надземной и корневой части биомассы ячменя в зависимости от концентрации меди на изученных типах почв, по-видимому, обусловлены различиями в барьерных функциях, развивающихся в условиях загрязнения ТМ почв, обладающих различными буферными свойствами и уровнем плодородия [13].

Выводы

1. Ответная реакция растений ячменя в ходе онтогенеза на возрастающие концентрации меди в почвах зависит от фазы развития и концентрации металла и в наибольшей степени проявляется на поздних этапах роста (фаза цветения и колошения).

2. Внесение меди в почву вызвало заметную задержку в развитии растений, по сравнению с контролем. Отмечена прямая зависимость длительности органогенеза от содержания меди в почве, наиболее выраженная для дерново-подзолистой почвы.

3. Контроль окислительно-восстановительного гомеостаза растений в ходе эксперимента показал, что внесение меди в дерново-подзолистую почву и чернозем в концентрациях соответственно до 200 и 400 мг/кг, не вызвал заметного стресса у ячменя. На позднем этапе роста растений (фаза цветения-колошения) можно отметить достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания МДА в листьях растений (с 20 до 50 нМоль/г), культивируемых на дерново-подзолистой почве при содержании меди в ней 100 мг/кг и выше и на черноземе при концентрации меди 400 мг/кг.

4. Особенности формирования надземной и корневой части биомассы ячменя в условиях повышенной концентрации меди в почве могут существенно зависеть не только от содержания меди в растениях, но и от типа почвы. Данные адаптивные реакции, по-видимому, обусловлены различиями в барьерных функциях, развивающихся в условиях загрязнения ТМ почв, обладающих различными буферными свойствами и уровнем плодородия.

Список литературы / References

1. Stern B.R. Essentiality and toxicity in copper health risk assessment: Overview, update and regulatory considerations. J Toxicol Env Heal A. 2010. 73(2): P. 114–127. DOI: 10.1080/15287390903337100.

2. Hendrik Küpper, Birgit Götz, Ana Mijovilovich, Frithjof C. Küpper, Wolfram Meyer-Klaucke. Complexation and Toxicity of Copper in Higher Plants. I. Characterization of Copper Accumulation, Speciation, and Toxicity in Crassula helmsii as a New Copper Accumulator. Plant Physiology. 2009. Oct. 151(2). P. 702–714. DOI: 10.1104/pp.109.139717.

3. Wang X., Ma Y., Hua L., McLaughlin MJ. Identification of hydroxyl copper toxicity to barley (Hordeum vulgare) root elongation in solution culture. Environmental Toxicology and Chemistry. 2009. Vol. 28. № 3. P. 662–667. DOI: 10.1897/07-641.1.

4. White P.J., Brown P.H. Plant nutrition for sustainable development and global health. Ann Bot. 2010. Vol. 105. Issue 7. P. 1073–1080. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcq085.

5. Hansch R., Mendel R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Bioljgy. 2009. Vol. 12. Issue3. P. 259–266. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.006.

6. Nair P.M., Chung I.M. Impact of copper oxide nanoparticles exposure on Arabidopsis thaliana growth, root system development, root lignificaion, and molecular level changes. Environ Sci Pollut Res Int. 2014. Nov. 21 (22). P. 12709–12722. DOI: 10.1007/s11356-014-3210-3.

7. Junren Chen, Mohammad Shafi, Song Li, Ying Wang, Jiasen Wu, Zhengqian Ye Danli Peng, Wenbo Yan, Dan Liu. Copper induced oxidative stresses, antioxidant responses and phytoremediation potential of Moso bamboo (Phyllostachys pubescens). Scientific Reports. 2015. 5. 13554. Published online 2015 Sep 4. DOI: 10.1038/srep13554.

8. Talukdar D. Studies on antioxidant enzymes in Canna indica plant under copper stress. J. Environ Biol. 2013. Jan. 34 (1). P. 93–98.

9. Andresa Lana Thome Bizzo, Aline Chaves Intorne, Pollyana Honorio Gomes, Marina Satika Suzuki, Bruno dos Santos Esteves. Short-term physiological responses to copper stress in Salvinia auriculata Aubl. Acta Limnologica Brasiliensia. 2014. Vol. 26. No. 3. P. 268–277. DOI: 10.1590/S2179-975X2014000300006.

10. Manuel Azenha, Antonio F. Silva, Alexandra de Sousa, Ana Santiago, Pedro Ferraz, Jorge Teixeira. Copper-induced stress in Solanum nigrum L. and antioxidant defense system responses. Food and Energy Security. 2013. Vol. 2. Issue 1. P. 70–80. DOI: 10.1002/fes3.20.

11. Helene Lequeux, Christian Hermansa, Stanley Luttsb, NathalieVerbruggen. Response to copper excess in Arabidopsis thaliana: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. Plant Physiology and Biochemistry. 2010. Vol. 48. Issue 8. P. 673–682. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.05.005.

12. Sanchez-Pardo B., Fernandez-Pascual M., Zornoza P. Copper microlocalisation, ultrastructural alterations and antioxidant responses in the nodules of white lupin and soybean plants grown under conditions of copper excess. 2012. Environmental and Experimental Botany. 2012. Vol. 84. P. 52–60. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.04.017.

13. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. М.: Агроконсалт, 1999. 175 с.

Black N.A., Milashchenko N.Z., Ladonin V.F. Ecotoxicological aspects of pollution of soils heavy metals. M.: Агроконсалт, 1999. 175 p. (in Russian).

14. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020-94. Госкомсанэпиднадзор России. М., 1995. 8 с.

The Approximately Admissible Concentration (AAC) of heavy metals and arsenic in soils. Hygienic standards of GN 2.1.7.020-94. State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance of Russia. M., 1995. 8 p. (in Russian).

15. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.

Kupperman of F.M. Morfofiziologiya of plants. M.: The higher school, 1984. 240 p. (in Russian).

16. Bates L.S., Waldern R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 1973. V. 39. № 1. P. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060.

17. Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И., Манин К.В., Рачкова В.М. Определение оптимального содержания меди в почвах разного типа на основании динамической модели ее накопления в надземной биомассе и корнях растений (на примере ячменя Hordeum vulgare L.) // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 3. С. 570–577. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.570rus.

Tsygvintsev P.N., Goncharova L.I., Manin K.V., Rachkova V.M. Estimation of the Optimal Cu Content in Different Soil Types Based of the Dynamic Model for Copper Accumulation in above Ground Parts and Roots (On the Example of Barley Hordeum vulgare L. PLants) // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. 2018. T. 53. № 3. P. 570–577 (in Russian).

УДК 551.583:910.2(517.3)

КЛИМАТОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НИВАЛЬНО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Волкова Е.С., Мельник М.А., Бородавко П.С.

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем» Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru, bor@ggf.tsu.ru

В данной работе представлены результаты оценки происходящих изменений в региональном температурном режиме Западной Монголии, а также описаны и проанализированы последствия их воздействия на природные и антропогенные системы. В качестве индикаторных объектов, довольно быстро реагирующих на изменение температурного фона и оказывающих влияние на местные природные и антропогенные системы, были выбраны нивально-гляциальные ландшафты Монгольского Алтая. Анализ происходящих изменений проведен с использованием материалов и методов экспедиционных наблюдений и стационарных исследований. На основе многолетних метеоданных выявлены основные тенденции изменения температурного режима в Западной Монголии за 1956–2017 гг. Установлено, что в целом по региону наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха: за 60-летний период в среднем он составил 2,3 °С. Полевые исследования, выполненные на тестовых полигонах в пределах горных массивов Сутай и Цамбагарав, выявили причинно-следственные связи необратимых изменений в структуре нивально-гляциальных и криогенных ландшафтов высокогорий Монгольского Алтая. Здесь температурные сдвиги вызвали значительную трансформацию нивально-гляциальных ландшафтов, выражающуюся в устойчивом сокращении оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты. Как следствие, на территории недавно освободившейся от ледникового покрова, активизируются опасные экзогенные процессы, такие как температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст. С другой стороны, заселение первичной растительностью недавно освобожденных ото льда высокогорных территорий приводит к увеличению площадей, пригодных для развития отгонного пастбищного хозяйствования, тем самым улучшая условия природопользования.

Ключевые слова: Монгольский Алтай, оледенение, высокогорные ландшафты, температурный режим

CLIMATE-RELATED TRANSFORMATION OF THE NIVAL-GLACIAL LANDSCAPES OF WESTERN MONGOLIA AND THEIR CONSEQUENCES

Volkova E.S., Melnik M.A., Borodavko P.S.

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems **o**f the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru, bor@ggf.tsu.ru*

The results of the assessment of changes in the regional temperature regime of Western Mongolia are presented, and the consequences of their impact on natural and anthropogenic systems are described and analyzed in this paper. The Nival-glacial landscapes of the Mongolian Altai were chosen as indicator objects that quickly react to temperature changes and have an impact on local natural and anthropogenic systems. The analysis of the changes was made using the materials and methods of expeditionary observations and stationary studies. The main trends in the temperature regime in Western Mongolia for the period 1956-2017 based on long-term meteorological data are revealed. It is established that the average annual temperature increased in the whole region for the 60-year period: the growth is 2.3 °C. Done at test ranges within the mountain ranges of Stay and Tsambagarav field studies determined the cause-and-effect relationships of irreversible changes in the structure of Nival-glacial and cryogenic landscapes of high mountains of the Mongolian Altai. Here, temperature change have caused an impressive transformation of Nival-glacial landscapes, resulting in a stable reduction of glaciation and near-surface degradation of Alpine permafrost. As a result, dangerous exogenous processes, such as temperature weathering, solifluction, cryogenic landslide and thermokarst, are activated in the territory recently freed from the ice cover. On the other hand, the settlement of primary vegetation in the newly liberated high-mountain areas leads to an increase in the areas suitable for the development of pasture farming, thereby improving the conditions of nature management.

Keywords: Mongolian Altai, glaciation, Alpine landscapes, temperature regime

Глобальные климатические изменения, нашедшие свое отражение и в региональном масштабе, не обошли стороной территорию Западной Монголии. Анализ среднегодовой температуры воздуха за период с 1956 по 2016 гг. по метеостанциям Западной Монголии выявил устойчивый рост для большинства станций. Поскольку температура воздуха является основным метеорологическим параметром, то ее пространственно-временная оценка представляет исключительный интерес. Она дает основу для понимания происходящих климатических изменений и их закономерностей не только на территории Западной Монголии, но и в соседней Северо-Восточной Азии.

Изменение температурного режима вызывает ряд трудно предсказуемых последствий и обуславливает трансформацию многих природных процессов. Наглядным индикатором происходящей трансформации являются, прежде всего, существен-

ные сдвиги в пространственной структуре нивально-гляциальных и криогенных систем высокогорий Монгольского Алтая, выражающиеся в устойчивом сокращении оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты; усилении экзогенных процессов; видовой перестройке растительных сообществ; сдвиге ландшафтных высотных поясов и т.п. Все это накладывает отпечаток на состояние и развитие сферы природопользования, где особенно заметное воздействие испытывает отгонное скотоводство. С этих позиций актуальной научно-практической задачей становится исследование происходящих изменений в региональном температурном режиме Западной Монголии и возможных последствий трансформации нивально-гляциальных ландшафтов, как для природных систем, так и для человека.

Материалы и методы исследования

Для решения исследовательской задачи были использованы материалы и методы экспедиционных наблюдений и статистического анализа. В результате экспедиционных работ 2016–2017 гг. на тестовых полигонах в высокогорных районах хребтов Сутай, Цамбагарав были собраны и обработаны гляциологические и геоморфологические данные, проведены стационарные метеонаблюдения, а также заложены и описаны геоботанические площадки. Геоинформационное картографирование исследуемых объектов осуществлялось на основе данных дистанционного зондирования, полученных из открытых сетевых порталов и файловых архивов Геологической службы USGS, NASA EOSDIS и Геопортала Роскосмоса. Основным источником инструментальных метеонаблюдений послужил специализированный массив международной базы данных NOAA`s National Centers for Enviromental Information (NCEI) [1]. Использовались показатели суточной температуры воздуха по 14 метеостанциям Западной Монголии. Максимальный временной период покрытия составил интервал 1956–2017 гг. Достоверность полученных данных подтверждается результатами статистического анализа и сопоставлением с некоторыми схожими по тематике исследованиями [2].

Исследуемые полигоны располагаются на территории Западной Монголии в пределах горных сооружений Монгольского Алтая. Географическое положение почти в центре материковой части Евразии обуславливает господство резко континентального климата, с высотой влияние континентальных воздушных масс ослабляется и усиливается роль Атлантики. Горные районы выше 2500 м с преобладанием нивально-гляциальных ландшафтов – основного района полевых исследований уже находятся под влиянием западного переноса, где на наветренных склонах остается большая часть осадков (200–300 мм). Здесь наблюдается инверсия температур; градиент температуры варьирует в зависимости от высоты и времени года. Зимой в горах температура воздуха бывает на 10–15 °С выше, чем на равнинах; в летнее время с подъемом среднесуточные температуры падают в среднем на 0,6 °С/100 м [3].

Под влиянием горного рельефа широтная зональность растительного покрова сменяется вертикальной, поэтому пустыни можно встретить рядом с лесами, залесённые горные склоны соседствуют в южных районах с сухими степями, а пустыни и полупустыни проникают далеко на север [4]. Природно-географические и исторические факторы предопределили основное направление сельского хозяйства этого района – отгонное пастбищное животноводство, особенно развито овцеводство. Последствия климатических изменений довольно наглядно проявляются в районе проводимых полевых работ и отражаются на состоянии нивально-гляциальных систем, растительных сообществ и на развитии пастбищного скотоводства.

Результаты исследования и их обсуждение

Статистическая обработка метеоданных показывает, что среднемноголетняя температура для станций Западной Монголии за исследуемый период в целом имеет отрицательное значение, лишь на станции Ulgi она представлена положительной величиной (+0,74 °С). В целом наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха: за период с 1956 по 2017 г. в среднем он составил 2,3 °С, при этом самое высокое значение 3,1 °С характерно для станции Hovd, расположенной на средневысотных отметках в центральной части исследуемого района (табл. 1). Самая низкая температура воздуха за исследуемый период по всем станциям наблюдалась в 1984 г., ее значение было ниже среднемноголетнего более чем на 2 °С. Наиболее высокие значения среднегодовых температур зафиксированы в 1998 и в 2007 гг., они превысили среднемноголетние показатели на 2,3 °С.

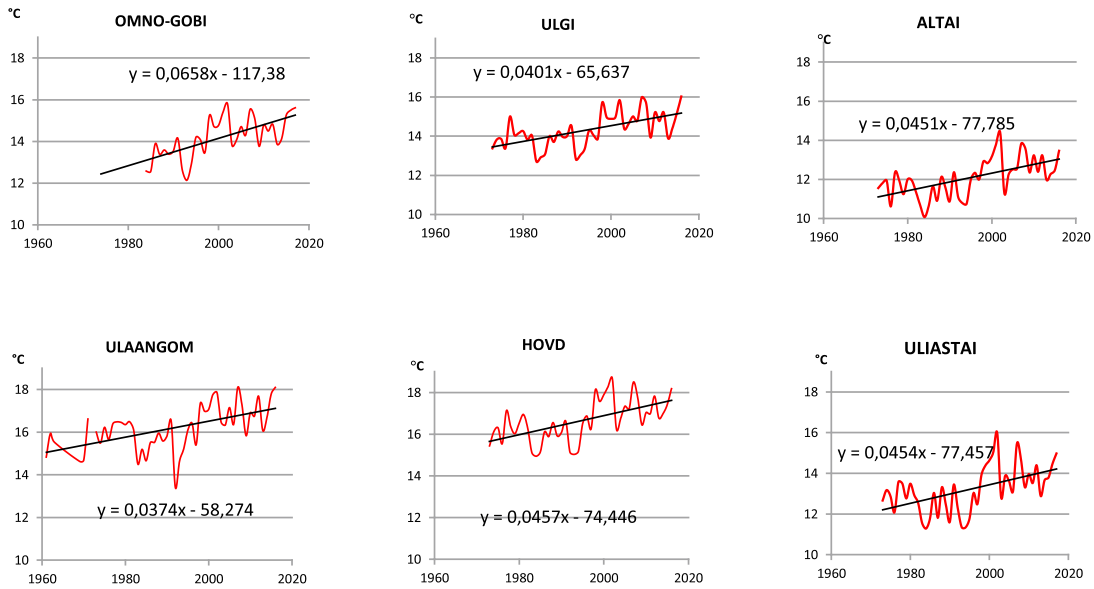
Изменение температуры и количества осадков по метеостанциям, расположенным на территории Западной Монголии, за 1956–2017 гг.

Станции	Период наблюдений	h_{abs}, m	$\overline{t}$, °C	Δt, °C	k	σ, °C
Altai	1956–2017	2181	–1,01	+2,07	+0,037	0,96
Uliastai		1759	–1,85	+1,53	+0,026	1,01
Ulgi		1715	+0,74	+2,22	+0,039	1,24
Hovd		1405	–0,96	+3,07	+0,053	1,37
Ulaangom		939	–2,53	+2,03	+0,037	1,19
Altai	1984–2017	2181	–0,77	+1,54	+0,048	0,99
Uliastai		1759	–1,62	+1,41	+0,044	1,06
Ulgi		1715	1,02	+1,82	+0,057	1,18
Hovd		1405	1,19	+1,89	+0,059	1,27
Ulaangom		939	–2,19	+1,60	+0,050	1,14
Omno-Gobi		1590	–0,53	+1,29	+0,030	1,14
Baruunturuun		1232	–3,01	+1,66	+0,052	1,20
Baitag		1186	2,84	+1,53	+0,048	1,16
Altai	2000–2017	2181	–0,46	+0,27	+0,017	0,77
Uliastai		1759	–1,30	+0,30	+0,019	0,86
Ulgi		1715	1,46	+0,30	+0,019	0,79
Hovd		1405	1,52	+0,27	+0,017	1,03
Ulaangom		939	–1,94	+0,21	+0,013	0,97
Omno-Gobi		1590	–0,38	+0,36	+0,021	1,34
Baruunturuun		1232	–2,71	–0,21	–0,013	1,01
Baitag		1186	3,12	+1,23	+0,077	1,01
Erdeni		2417	5,82	+1,90	+0,163	1,19
Tolbo		2101	–2,42	+0,67	+0,043	0,74
Tonhil		2095	0,12	+0,74	+0,053	0,71
Nogoonnur		1480	0,65	+0,04	+0,126	0,68
Urgamal		1263	0,88	+1,89	+0,135	1,40
Hunhataoortoo		1051	1,00	+1,20	+0,083	1,05

Примечание: h_{abs} – абсолютная высота над уровнем моря, $\overline{t}$ – среднегодовая температура, Δt – изменение среднегодовой температуры, k – коэффициент тренда, σ – среднеквадратичное отклонение.

Анализ данных за 30-летний период наблюдений (таблица) также показал положительный тренд с угловыми коэффициентами от 0,03 до 0,06. В этот отрезок времени рост температур меньше, чем за 60-летний период – среднее потепление составляет 1,6 °C и наблюдаются незначительные межрегиональные различия в увеличении среднегодовых температур по метеостанциям. С 2000 по 2017 г. метеоданные представлены для большей сети станций, которая достаточно равномерно покрывает исследуемую территорию. Проанализированный ряд показателей термического режима выявил дальнейший устойчивый рост среднегодовых температур – около 0,6 °C, наибольшие значения 1,9 °C характерны для станции Erdeni, имеющей самые большие отметки абсолютной высоты.

Для понимания последствий влияния температурных изменений на таяние ледников и состояние криолитозоны дополнительно проведен анализ динамики средней температуры абляционного периода. На рисунке на примере нескольких станций с самым продолжительным периодом наблюдений показан устойчивый положительный тренд температур летнего периода. Анализируя ход среднегодовых температур для территории Западной Монголии, можно выделить основные периоды потепления: 1997–1999 гг. и период с 2013 г. по настоящее время. Первый период характеризуется резким увеличением как среднегодовой, так и средней летней температуры; в течение трех лет значение среднегодовой температуры превысило значение среднемноголетней более чем на 1,4 °C, а для станции Hovd даже на 2,3 °C.



Динамика средней температуры абляционного периода для метеостанций Западной Монголии

При исследовании причин устойчивого сокращения оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты наряду с изменениями температурного режима нужно учитывать и количество осадков. За последний сорокалетний период на территории Западной Монголии наблюдается несущественное (менее 25 мм) увеличение этого показателя [5]. При этом изменение количества осадков в зимний период, оказывающих наибольшее влияние на нивально-гляциальные ландшафты и криолитозону высокогорных областей, носит колебательный характер по годам наблюдений и не выявляет четкой направленности в сторону увеличения и отличается территориальной неоднородностью.

Таким образом, изменение температуры воздуха является главным фактором, который способствует существенным и необратимым трансформациям в пространственной структуре нивально-гляциальных и криогенных систем высокогорий Монгольского Алтая. Эти трансформации выражаются, прежде всего, в устойчивом сокращении площади оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты [6, 7]. По нашим расчетам наибольшие значения среднегодовых температур воздуха в 1997–1999 гг. были более чем на 2 °С выше среднемноголетних; в этот период наблюдалось также повышение летних температур. Трехлетний период увеличения температурного режима нашел свое отражение в активном пике ледниковой регрессии. Следующий период повышения температуры зафиксирован с 2012 по 2016 г., при этом в 2012, 2015 и 2016 гг. летние температуры были также выше среднемноголетних значений. И это также коррелирует с периодами активных процессов таяния ледников.

По мнению монгольских ученых, процесс дегляциации протекает достаточно быстро и интенсивно за последние десятилетия, и при этих темпах большинство современных ледниковых массивов (например, хребтов Сутай, Цамбагарав и Мунххайрхан) может практически исчезнуть уже к 2100 г. [8]. Наши исследования на тестовых гляциологических полигонах показали, что в максимум трансгрессивной стадии ледниковые ландшафты занимали 16 км^2 территории Сутая и 99 км^2 в пределах хребта Цамбагарав. К августу 2015 г. суммарная площадь оледенения Сутая сократилась почти на 5 км^2, а хребта Цамбагарав почти на треть. Вследствие увеличения среднемноголетней температуры воздуха в районе отступания ледников субгляциальные отложения переформировались в субаэральные, на молодой литогенной основе стали образовываться новейшие перигляциальные ландшафты.

К числу наиболее значимых процессов, принимающих участие в их формировании, относятся температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст.

В течение последних 25 лет изменение геотермического режима альпийской мерзлоты сопровождается увеличением мощности слоя сезонного протаивания на 24%. Аналитическая обработка данных дистанционного зондирования за период с 1962 по 2016 г. показала повсеместное и устойчивое увеличение числа и площади озер термокарстового генезиса в пределах моренных комплексов Малой ледниковой эпохи массива Цамбагарав.

Поскольку ледники в горах Монголии обеспечивают примерно 11% от общего объема водных ресурсов страны, то последствия их сокращения оказывают прямое и косвенное воздействие на многие стороны хозяйственной деятельности. Происходящие трансформации нивально-гляциальных и криогенных ландшафтов увеличивают риски природопользования в горных областях, где, как отмечалось выше, идет интенсивный выпас скота. Соответственно, с сокращением площади оледенения наблюдается закономерный процесс появления новых пастбищных площадей, что, с одной стороны, ведет к возможностям увеличения поголовья скота, но, с другой стороны, способно нарушить существующее геоэкологическое равновесие [9]. Кроме того, процессы солифлюкции повышают опасность развития селей и камнепадов; протаивание грунтов ведет к деформациям дорожного полотна, уменьшая и без того низкую степень транспортной доступности, и т.п. На более низких гипсометрических уровнях, в поясе прерывистого залегания многолетнемерзлых пород, отмечена тенденция обмеления и сокращения акваторий «зрелых» термокарстовых водоемов. В долине р. Хух Гол (район хребта Сутай) площадь термокарстовых озер с 1966 по 2017 г. сократилась на 35%, а в пределах Эхэн-Нурской впадины на 27%.

Заключение

Проведенный в ходе исследования анализ показывает изменение температурного режима на территории Западной Монголии в сторону роста среднегодовых температур. Быструю индикаторную реакцию на этот процесс со стороны геосистем можно хорошо наблюдать на примере достаточно динамичных ледниковых и криогенных комплексов, расположенных на территории Западной Монголии. Так, температурные изменения последних десятилетий привели к перестройке пространственной структуры нивально-гляциальных ландшафтов Монгольского Алтая, при этом произошел рост среднегодовой температуры криолитозоны и уменьшение площади деятельного слоя в горных районах. При этом субгляциальные отложения перешли в разряд субаэральных, т.е. освобожденных ото льда и активно подвергающихся действию экзогенных процессов. На молодых участках морен в поясе дегляциации начинает формироваться первичная растительность.

Последствия изменений температурного режима в целом могут носить разнородный характер и отразиться на многих аспектах сферы природопользования. Например, с сокращением площади оледенения наблюдается закономерный процесс появления новых пастбищных площадей, что ведет к возможностям увеличения поголовья скота [9]. В то же время усиливаются опасные криогенные рельефообразующие процессы: температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст.

Список литературы / References

1. NOAA`s National Centers for Enviromental information (NCEL). URL: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod (date of access: 12.09.2018).

2. Mongolia Second Assessment Report on Climate Change (MARCC-2014). Ulanbataar, Ministry of Environment and Green Development of Mongolia. 2014. 302 p. URL: http://www.jcm-mongolia.com/wp-content/uploads/2015/10/MARCC-Final-Bk-2014-book-lst.9.17-ilovepdf-compressed.pdf (date of access: 11.08.2018).

3. Чистяков К.В., Селивестров Ю.П. Региональная экология малоизмененных ландшафтов: Северо-Запад Внутренней Азии. СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 1999. 264 с.

Chistyakov K.V., Selivestrov Yu.P. Regional ecology of little-changed landscapes: North-West of Inner Asia. SPb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 1999. 264 p. (in Russian).

4. Амортаргал Аюурдана. Исследование химического состава эфирных масел отдельных видов полыни в Монголии // Сохранение разнообразия растительного мира Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии: материалы I международной конференции. Кызыл: Изд-во ТувИКОПР СО РАН, 2016. С. 59–60.

Amortargal Ayuurdana. Investigation of the chemical composition of essential oils of certain types of wormwood in Mongolia // Maintaining variety of flora of Tuva and adjacent regions of Central Asia: materials I of the international conference. Kyzyl: Izd-vo TuvIKOPR SO RAN, 2016. P. 59–60 (in Russian).

5. Batima P., Natsagdorj L., Gombluudev P., Erdenetsetseg B. Observed climate change in Mongolia AIASS// Working Paper No. 12 June 2005. URL: Observed climate change in Mongolia AIASS (date of access: 23.10.2018).

6. Отгонбаяр Дэмбэрэл. Морфометрическая и ресурсная характеристика современного оледенения Монгольского

Алтая (горный узел Цамбагарав, хребты Мунххайрхан и Сутай) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 367. С. 183–185.

Otgonbayar Dehmbehrehl. Modern glaciers of mountain range Tsambagarav (Mongolian Altai) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 367. P. 183–185 (in Russian).

7. Kamp U., Pan C.G. Inventory of glaciers in Mongolia, derived from Landsat imagery from 1989 to 2011. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 2015. Vol. 97. Issue 4. P. 653–669. DOI: 10.1111/geoa.12105.

8. Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В. Современное оледенение хребта Цамбагарав (Северо-Западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода // Лед и снег. 2016. Т. 56. № 4. С. 437–452.

Ganyushkin D.A., Otgonbayar D., CHistyakov K.V., Kunaeva E.P., Volkov I.V. Recent glacierization of the Tsambagarav ridge (North-Western Mongolia) and its changes since the Little Ice Age maximum // Led i sneg. 2016. T. 56. № 4. P. 437–452 (in Russian).

9. Волкова Е.С., Тимошок Е.Е., Отгонбаяр Демберел. Влияние климатических изменений и антропогенной деятельности на трансформацию растительного покрова в долине р. Хушуут // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 117–122.

Volkova E.S., Timoshok E.E., Otgonbayar Demberel. Transformation of plant covers in the Hushuut valley under the influence of changing climate and human activity // Advances in current natural sciences. 2017. № 12. P. 117–122 (in Russian).

УДК 551.234(571.642)

АМУРСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ (ОСТРОВ САХАЛИН)

[1]Жарков Р.В., [1]Козлов Д.Н., [1]Веселов О.В., [1]Ершов В.В., [2]Сырбу Н.С., [1]Никитенко О.А.

[1]ФГБУН «Институт морской геологии и геофизики» ДВО РАН, Южно-Сахалинск, e-mail: rafael_zharkov@mail.ru;

[2]ФГБУН «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва» ДВО РАН, Владивосток

Представлены результаты исследований современных физико-химических свойств термальных вод Амурских источников на острове Сахалин, полученные в ходе полевых исследований в марте 2017 г. и августе 2018 г. По сравнению с единственными имеющимися до настоящего времени данными 1953 г., существенных изменений физико-химических свойств гидротерм не произошло. На 500-метровом участке поймы реки, как и в 1953 г., можно выделить несколько обособленных групп термальных источников с температурой 18–30,2 °С. По химическому составу гидротермы относятся к щелочным, пресным, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым. Дебит отдельных источников небольшой, в потоках тёплой воды развиваются сине-зеленые нитчатые водоросли. В термальных источниках и со дна реки наблюдаются интенсивные выходы газов, состоящих преимущественно из метана (85–87%). Результаты физико-химических исследований позволили провести оценку перспективности использования термальных вод в бальнеотерапии. Физико-химические свойства воды и суммарный дебит Амурских термальных источников, оцененный примерно в 80000 литров в сутки, предполагает возможность их практического использования в бальнеотерапии. По аналогии с Майкопскими минеральными водами показания к внутреннему применению Амурских гидротерм могут включать болезни желудочно-кишечного тракта, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. Наружное применение в настоящее время невозможно из-за невысокой температуры и дебита гидротерм. В будущем, при условии бурения скважин, гидротермы при наружном (бальнеологическом) применении можно будет использовать по аналогии с Горячинским типом кремнистых термальных вод при лечении и профилактике широкого спектра заболеваний.

Ключевые слова: термальные воды, геохимические особенности, остров Сахалин

AMURSKY HOT SPRINGS (SAKHALIN ISLAND)

[1]Zharkov R.V., [1]Kozlov D.N., [1]Veselov O.V., [1]Ershov V.V., [2]Syrbu N.S., [1]Nikitenko O.A.

[1]Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, e-mail: rafael_zharkov@mail.ru;

[2]Pacific Oceanological Institute named V.I. Ilyichev Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

The results of studies of the modern physic-chemical properties of the thermal waters of Amursky springs in Sakhalin Island, obtained during the field studies in March 2017 and August 2018, are presented. Comparing the only data, having at present time and available to 1953, there are no significant changes in the physic-chemical properties of the hydrotherms. On the 500-meter section of the floodplain of the river, as in 1953, there are several distinct groups of thermal springs with a temperature of 18-30.2 °C. According to the chemical composition the hydrotherms are divided to alkaline, fresh, hydro-carbonate-sodium chloride waters. The yield of separated springs is small; blue-green filamentous algae develop in springs of warm water. In the thermal springs and from the bottom of the river, the intense outflows of gases are observed, consisting mainly of methane (85-87%). The results of physic-chemical studies allowed to do the assessment of the prospects for the use of thermal waters in balneotherapy. The physic-chemical properties of water and the total yield rate of the Amursky thermal springs, estimated at about 80,000 liters per day, suggest the possibility of their practical use in balneotherapy. By analogy with the Maykop mineral waters, for Amursky hydrotherms can be used for the internal use in the cases of gastrointestinal diseases, metabolic diseases, diseases of the urinary tract. External use is currently not possible due to the low temperature and yield rate of hydrothermal springs. In the future, when wells are drilled, the hydrothermal waters for external (balneological) application can be used by analogy with the Goryachinsky type of siliceous thermal waters in the treatment and prevention of a wide range of diseases.

Keywords: thermal waters, geochemical features, Sakhalin Island

Наиболее известные и крупные термальные источники на острове Сахалин распространены на севере (Дагинские и Лунские термальные источники), небольшие термопроявления расположены в долинах рек Паромай, Агнево, Тавда (Лесогорские термальные источники), Приточная и Амурская (рисунок, а). Рассматриваемые в данной работе Амурские термальные источники расположены на полуострове Крильон (юго-запад о. Сахалин), в средней части долины р. Амурская, в 7,5 км от побережья Татарского пролива.

Осадочный комплекс юго-западного Сахалина сложен формациями от позднего мела до плиоцена. Он подразделяется стратиграфически на свиты в порядке уменьшения геологического возраста: синегорскую,

снежинкинскую, краснопольевскую, такарадайскую, аракайскую, холмскую, невельскую, верхнедуйскую, курасийскую. Амурские термальные источники (рисунок, б) приурочены к раннемиоценовой невельской свите (N_1nv), разрез которой представлен чередованием кремнистых туфоалевролитов и аргиллитов, туффитов, туфосодержащих пород, образующих трансгрессивные ритмы [1–3].

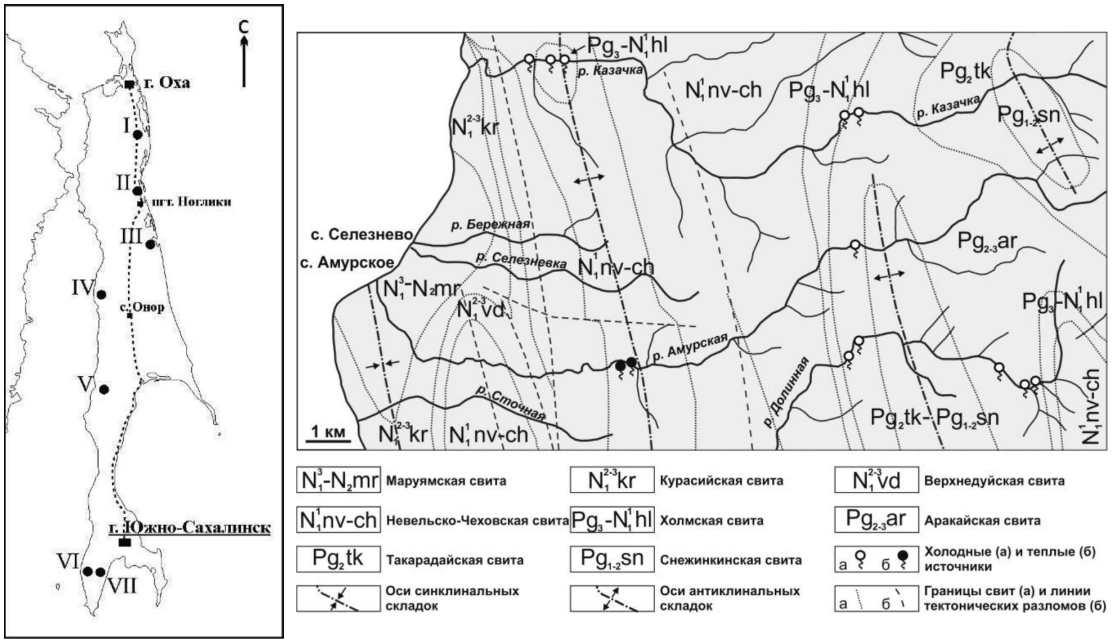
Из-за труднодоступности Амурские термальные источники практически не известны. В научной и фондовой литературе, посвященной термальным и минеральным водам Сахалина, о них есть сведения только в начале 1950-х гг. [4]. О современном состоянии Амурских термальных источников до настоящего времени никаких данных не публиковалось. Обследования Амурских термальных источников авторами проводились в марте 2017 г. и августе 2018 г. Кроме этого, были попытки обнаружить эти источники в 2014–2015 гг. В разные годы в полевых выездах в район исследований принимали участие сотрудники ИМГиГ ДВО РАН Р.В. Жарков, Д.Н. Козлов, И.М. Климанцов, сотрудники ДВГИ ДВО РАН Г.А. Челноков, И.В. Брагин, а также группа туристов «Отряд Бальбоа» под руководством Д.П. Голубкова Основной целью исследований было выявление современных физико-химических особенностей термальных вод и оценка перспектив их использования в бальнеотерапии. Для выполнения поставленной цели для двух наиболее представительных термальных источников был проведен химический анализ воды. В основном термальном источнике и в русле реки был определён состав свободно выделяющихся со дна газов. Подобный комплекс исследований химического и газового состава был выполнен на других проявлениях термальных и минеральных вод острова Сахалин [5–8].

Материалы и методы исследования

В ходе полевых исследований проводились определения основных физико-химических параметров термальных вод (pH, температура), производился отбор проб газов, термальных вод источников. Анализы газов выполнены на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М» с детекторами ионизации в пламени и теплопроводности, и портативном газовом хроматографе «Газохром-2000». Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте лаборатории газогеохимии ПС 1.047-18, утвержденном свидетельством Росстандарта № 41 от 17.09.2018 (лаборатория газогеохимии ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток). Анализ химического состава водных проб проводился в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН. Содержание Li^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, F^-, Cl^-, Br^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-} определялось методом ионной хроматографии на высокоэффективном жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрической ячейкой (Shimadzu, Япония). Содержание неорганического углерода (IC – inorganic carbon) и общего азота (TN – total nitrogen) определялось на анализаторе углерода TOC-L CSN с приставкой TNM-L для определения общего азота (Shimadzu, Япония). Принцип действия анализатора основан на каталитическом окислении компонентов, содержащих углерод и азот, при нагревании с последующим детектированием образовавшегося диоксида углерода с помощью недисперсионного инфракрасного детектора, а оксида азота – с помощью хемилюминесцентного детектора. Водные пробы при этом предварительно очищались с помощью мембранных фильтров (0,45 мкм). Концентрация HCO_3^- и CO_3^{2-} определялась титриметрическим методом с визуальной индикацией конечной точки титрования. Для измерения водородного показателя использовался портативный pH-метр WTW 3110 ProfiLine.

Результаты исследования и их обсуждение

Амурские термальные источники расположены в долине одноименной реки. Выходы воды сопровождаются бурным выделением газа, наблюдаются как на правом, так и на левом берегу реки, почти у самого уреза воды. По сохранившимся японским данным, здесь в 1935 г. была пробурена скважина, которая на глубине 700 м вскрыла газоносный горизонт. При обследовании источников В.В. Ивановым в 1953 г. [4] установить точное местоположение японской скважины не удалось. Вероятно, ствол этой скважины служит каналом для подъёма гидротерм с глубины порядка 700 м. Сопоставляя повышенную температуру воды источников (26–28 °C) с температурой слоя постоянной годовой температуры района (6–7 °C) и принимая геотермический градиент, равный среднему значению 28,6–30 °C/км, следует предположить, что вода Амурских термальных источников поднимается именно с глубин порядка 700–750 м.



а) *б)*

Схема термопроявлений и месторождений термоминеральных вод о. Сахалин (а) и геологическая схема (по [1, 2], с дополнениями) западной части п-ва Крильон (б). Цифрами на схеме (а) показаны группы термальных источников: I – Паромайские; II – Дагинские; III – Лунские; IV – Агневские; V – Лесогорские; VI – Амурские; VII – Приточные

В своих описаниях 1953 г. В.В. Иванов отмечает в долине р. Амурская два тёплых источника и многочисленные выходы газа в русле реки. Ниже приводится описание источников по В.В. Иванову [4]. Источник № 1 расположен на правом берегу р. Амурской, в 1 м от уреза воды. Термы выходят в виде двух грифонов из каналообразных отверстий в суглинистых отложениях у первой речной террасы высотой около 1,5 м. Основной грифон каптирован досками в виде деревянного желобка. Вода источника теплая, прозрачная, с легким запахом и привкусом сероводорода. Присутствие его подтверждено также наличием характерных нитевидных студенистых осадков серы желтовато-белого цвета. Температура воды основного грифона в 1953 г. составляла 26,5 °С, дебит источника примерно 0,5 л/с. По химическому составу термы источника относятся к пресным (минерализация около 0,4 г/л), щелочным (pH 8,4) гидрокарбонатно-хлоридным натриевым (табл. 1). В источнике и в русле реки в 2–3 м от него наблюдаются интенсивные выделения пузырьков газа, состоящего преимущественно из метана (табл. 2). Источник № 2 отмечался на левом берегу р. Амурской напротив источника № 1 в пойме реки, в 2 м от ее русла. Вода выходила из суглинисто-галечниковых аллювиальных отложений. В источнике наблюдались бурные выделения пузырьков газа. Температура воды в 1953 г. составляла 23 °С, дебит незначительный. В 10 м от источника № 2, ниже по течению реки, в русле её (у левого берега) также были видны многочисленные выходы газа. Вода термального источника гидрокарбонатно-хлоридная, натриевая, щелочная. Газ состоит в основном из метана (80–85 %) и содержит в небольшом количестве примесь азота. Сероводород в воде не обнаружен.

В настоящее время Амурские термальные источники, как и 65 лет назад, расположены в пойме р. Амурская. По результатам обследования 2017–2018 гг. можно выделить термальный источник № 1, соответствующий описанию В.В. Иванова [4]. Источник № 1 на правом берегу реки, в 2–3 м от уреза воды (в летнюю межень) представляет собой сплошной выход терм вдоль реки на протяжении нескольких метров. Два основных выхода гидротерм расположены у подошвы первой речной террасы. Один выход характеризуется более значительным дебитом, температура воды в марте 2017 г. составляла 28,3 °С,

в августе 2018 г. достигала 30 °С. В русле этого выхода обильно развиты сине-зеленые нитчатые водоросли с отложениями желтовато-белой серы. По химическому составу гидротермы этого выхода относятся к щелочным, пресным, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым (табл. 1). Ближе к урезу реки находится ещё один выход гидротерм, представленный воронкой диаметром 80 см и глубиной 30 см, со дна воронки идёт интенсивное выделение газов. В газовом составе этого выхода (табл. 2) преобладают метан (87 %), гелий (10 %) и азот (5 %). Температура воды в воронке в августе 2018 г. достигала 30,2 °С, а в марте 2017 г. воронка была полностью залита речной водой. На правом берегу реки, в нескольких метрах восточнее и западнее источника № 1, также отмечаются малодебитные выходы гидротерм с выделением газов, в потоках тёплой воды развиваются сине-зеленые нитчатые водоросли. Со дна реки в районе этой группы термальных выходов, как и 65 лет назад, наблюдаются интенсивные выходы газов.

Источник № 2, описанный В.В. Ивановым [4] на левом берегу реки, нами не обнаружен. Возможно, в связи с небольшим смещением русла реки, о чём свидетельствует сильный подмыв левобережной первой речной террасы, в настоящее время он находится под речной водой.

На левом берегу, в 500 м ниже по течению от источника № 1, обнаружены дисперсные выходы термальных вод, которые условно можно обозначить как источник № 3. Эти гидротермы не были описаны в 1953 г. В.В. Ивановым. Воды с температурой 18–20 °С выходят из-под первой речной террасы и аллювиальных отложений поймы реки на протяжении примерно 10 м вдоль русла реки. Дебит незначительный, в воде развиты сине-зеленые нитчатые водоросли. По химическому составу гидротермы источника № 3 аналогичны водам источника № 1 и относятся к щелочным, пресным, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым (табл. 1). В районе источника № 3 в русле реки есть несколько выходов газов, преимущественно состоящих из метана (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав Амурских термальных источников (в мг/л)

	Ист. № 1 (Иванов, 1954; 01.10.1953 г.)	Ист. № 1 (25.03.2017 г.)	Ист. № 3 (25.03.2017 г.)
T, °C	26,5	28,3	18,0
pH	8,4	9,3	9,2
Na^+	148,3	166	205
K^+	–	0,3	0,4
Ca^{2+}	9,4	0,4	0,3
Mg^{2+}	3,6	< 0,2	< 0,2
Cl^-	135,8	122	152
SO_4^{2-}	2,0	0,4	0,7
NO_3^-	–	< 0,05	< 0,05
HCO_3^-	12,2	92,0	136,0
CO_3^{2-}	96,0	66,0	80,0
Br^-	5,0	0,4	0,5
F^-	–	6,2	6,1
Li^+	–	< 0,005	< 0,005
IC	–	25,0	43,0
TN	–	0,4	0,5

Таблица 2

Состав свободно выделяющихся газов в термальных источниках и русле реки Амурская (%)

	CO_2	O_2	N_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8
Ист. № 1 (Иванов, 1954; 01.10.1953 г.)	0,52	0,83	13,00	85,00	–	–
Ист. № 1 (25.03.2017 г.)	0,006	0,41	5,00	87,05	0,018	0,00012
Русло реки у ист. № 3 (25.03.2017 г.)	0,487	0,45	6,92	84,61	0,014	0,00003

Физико-химические свойства воды и суммарный дебит Амурских источников, оцененный примерно в 80000 литров в сутки, предполагает возможность их практического использования в бальнеотерапии. Специальных бальнеологических оценок данных гидротерм предшествующими исследователями не проводилось [9], поэтому одной из задач исследований было выяснение этих особенностей. Амурские термальные источники схожи по физико-химическим характеристикам с Агневскими термальными источниками [4], обследованными также нами в 2014 г. [7], поэтому бальнеологические особенности у них будут аналогичными. Согласно ГОСТ Р 54316-2011 [10] Амурские гидротермы, как и Агневские термальные воды, можно отнести к Горячеключевскому № 1 гидрохимическому типу питьевых лечебно-столовых вод I гидрокарбонатной натриевой группы. По аналогии с Майкопскими минеральными водами этого типа [10] показания к внутреннему применению Амурских вод могут быть весьма широкими. Термальные воды можно использовать по назначению врача при болезнях пищевода, хроническом гастрите с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, при болезнях кишечника, печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, поджелудочной железы, при нарушениях органов пищеварения после оперативных вмешательств, болезнях обмена веществ, болезнях мочевыводящих путей. При наружном (бальнеологическом) применении Амурских термальных вод аналогом может являться Горячинский тип кремнистых термальных вод. Эти воды рекомендуется использовать в виде ванн при болезнях системы кровообращения, болезнях нервной системы, болезнях эндокринной системы, расстройстве питания и нарушения обмена веществ (ожирение алиментарное), при болезнях мочеполовой системы, болезнях кожи.

В современных условиях наружное применение Амурских термальных вод практически невозможно, так как у них небольшой дебит, относительно низкая температура (18–30 °С) и близкое расположение к урезу реки (в период половодья и паводков они затапливаются речной водой). При бурении в этом районе скважин глубиной 700–1000 м с выводом на поверхность тёплых вод здесь возможно создать условия для комфортного наружного бальнеологического применения. Для внутреннего лечебного применения в настоящее время есть все необходимые условия. Стоит отметить, что для правильного внутреннего и наружного использования Амурских гидротерм в дальнейшем необходимы комплексные экспериментально-клинические испытания под руководством специалистов аккредитованных организаций, на Дальнем Востоке такой организацией является [9] Владивостокский филиал ФГБУ ДНЦ ФПД СО РАМН – НИИ МКВЛ.

Заключение

На сегодняшний день Амурские термальные источники на острове Сахалин практически не известны и не используются из-за их труднодоступности. За последние 65 лет физико-химические особенности термальных вод не претерпели существенных изменений: источники относятся к тёплым (18–30 °С), щелочным, пресным, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым водам. Возросшая в последние годы экономическая деятельность в нижней части долины р. Амурская, связанная с разработкой и добычей открытым способом угля, нанесла реке значительный урон. Из-за многочисленных оползней и механического изменения русла реки происходит подпруживание и затопление большой территории поймы, загрязнение воды взвешенными частицами стало преградой для нереста лососевых в этой нерестовой реке. С другой стороны, активная экономическая деятельность будет способствовать развитию инфраструктуры и общей транспортной доступности района, что впоследствии может привести к появлению в этом живописнейшем месте бальнеотерапевтического комплекса для внутреннего и наружного применения гидротерм. Данные термальные воды имеют широкий спектр показаний к наружному и внутреннему бальнеотерапевтическому применению. Отличительной особенностью Амурских термальных источников являются, по сравнению, например, с известными и посещаемыми Дагинскими термальными источниками на севере Сахалина, благоприятные климатические условия и окружающие низкогорные ландшафты с елово-пихтовой тайгой.

Список литературы / References

1. Мельников О.А. История формирования структуры Южного Сахалина в палеогене и неогене. М.: Наука, 1970. 170 с.

Melnikov O.A. The history of the formation of the structure of South Sakhalin in the Paleogene and Neogene. M.: Nauka, 1970. 170 p. (in Russian).

2. Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.

Gladenkov Yu.B., Bazhenova OK, Grechin V.I., Margulis L.S., Salnikov B.A. Cenozoic Sakhalin and its petroleum potential. M.: GEOS, 2002. 225 p. (in Russian).

3. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемеловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–44.

Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechayuk A.E. Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane // Geotectonics. 2012. Vol. 46. № 5. P. 333–351 DOI: 10.1134/S0016852112050020.

4. Иванов В.В. Курортные ресурсы Сахалина и перспективы их лечебного использования: отчёт комплексного отряда Сахалинской экспедиции. М.: ЦИК, 1954. 265 с.

Ivanov V.V. Sakhalin resort resources and the prospects for their therapeutic use: report of the integrated squad of the Sakhalin expedition. M.: TIK, 1954. 265 p. (in Russian).

5. Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В., Веселов О.В., Харитонова Н.А., Шакиров Р.Б. Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 5. С. 81–95.

Chelnokov G.A., Zharkov R.V., Bragin I.V., Veselov O.V., Kharitonova N.A., Shakirov R.B. Geochemical characteristics of subterranean fluids of the southern Central Sakhalin Fault // Pacific Geology. 2015. Vol. 34. № 5. P. 81–95 (in Russian).

6. Ершов В.В. К вопросу об изменчивости химического состава сопочных вод (на примере Южно-Сахалинского грязевого вулкана) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 1. С. 80–88.

Ershov V.V. On the problem of variability in the chemical composition of mud-volcanic waters: Evidence from the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano // Pacific Geology. 2017. Vol. 11. № 1. P. 73-80. DOI: 10.1134/S1819714017010031.

7. Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Современные сведения о состоянии Агневских термальных источников (остров Сахалин) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017. № 1 (191). С. 5–11.

Zharkov R.V., Kozlov D.N. Modern data about Agnevsky hot springs (Sakhalin Island) // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. 2017. № 1 (191). P. 5–11 (in Russian).

8. Полоник Н.С., Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. Изучение состава углеводородных компонентов Южно-Сахалинского и Пугачевского вулканов // Доклады академии наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 79–83. DOI: 10.7868/S0869565215130216.

Polonik N.S., Shakirov R.B., Sorochinskaya A.V., Obzhirov A.I. Studies of the composition of hydrocarbon components of the Yuzhno-Sakhalinsk and Pugachevo mud volcanoes // Doklady Earth Sciences. 2015. Vol. 462. № 1. P. 463–467. DOI: 10.1134/S1028334X15050074.

9. Челнокова Б.И., Иванов Е.М., Гвозденко Т.А. Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока. Владивосток: Издательство ДВФУ, 2010. 128 с.

Chelnokova B.I., Ivanov E.M., Gvozdenko T.A. Mineral waters and therapeutic mud of the Far East. Vladivostok: Izdatel'stvo DVFU, 2010. 128 p. (in Russian).

10. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 48 с.

УДК 556.556.2:551.326.85

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ, ПОКРЫТОМ ЛЬДОМ

Зверев И.С., Здоровеннова Г.Э., Богданов С.Р., Волков С.Ю., Гавриленко Г.Г., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Здоровеннов Р.Э., Голосов С.Д., Тержевик А.Ю.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Карелия, e-mail: iliazverev@mail.ru

Приведены результаты тестовых численных расчетов течений в малом бореальном озере в зимний период с использованием 3D-модели гидротермодинамики внутреннего моря (МГВМ), адаптированной для случая малого пресноводного озера. В качестве объекта исследования было выбрано небольшое мезотрофное озеро Вендюрское, расположенное в южной части Карелии. Сеточная область была разработана по данным подробной эхолокационной съемки. Количество расчетных уровней – 10. Размер ячеек по вертикали составлял 0,5–3,5 м, по горизонтали – 80×80 м. Для задания граничных условий на поверхности водоема использовались данные реанализа, воспроизводящие среднемноголетние климатические условия в районе исследований. В качестве граничного условия на дне был добавлен поток тепла между донными отложениями и водной массой озера. Модель адекватно воспроизвела годовой ход температуры воды на разных горизонтах водной толщи, даты наступления и окончания ледостава, его продолжительность, динамику нарастания и таяния ледового покрова. В результате численных расчетов установлено, что вскоре после установления льда формируется циклонический круговорот, охватывающий почти полностью центральную глубоководную котловину озера. Этот круговорот устойчив и существует в течение большей части зимы. Скорости течений в этом круговороте достигают 10–15 мм/с в начальный период ледостава, постепенно снижаясь до 0,2–0,5 мм/с к концу зимы. Сравнение результатов расчетов скоростей течений на МГВМ с данными прямых измерений течений в озере в течение зимы показало хорошее соответствие.

Ключевые слова: бореальное озеро, период ледостава, 3D модель, течения, потоки тепла

MODELING OF CURRENTS IN AN ICE-COVERED LAKE

Zverev I.S., Zdorovennova G.E., Bogdanov S.R., Volkov S.Yu., Gavrilenko G.G., Efremova T.V., Palshin N.I., Zdorovennov R.E., Golosov S.D., Terzhevik A.Yu.

Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Karelia, e-mail: iliazverev@mail.ru

The results of test numerical calculations of currents in a small boreal lake in the winter period are presented using the 3D model of the hydrothermodynamics of the inland sea (MHIS) adapted for the case of a small freshwater lake. A small mesotrophic lake Vendyurskoe, located in the southern part of Karelia, was chosen as the object of study. The grid area was developed according to the detailed echolocation survey. The number of calculated levels was 10. The vertical size of the cells was 0.5-1.0 m, horizontal – 80×80 m. To set the boundary conditions on the surface of the reservoir, data from the re-analysis were used, reproducing the average long-term climatic conditions in the study area. As a boundary condition at the water-bottom boundary, the heat flux between sediments and water body was included into the model code. The model adequately reproduced the annual course of water temperature at different depths of the water column, the dates of the beginning and end of the freeze-up, its duration, and the dynamics of the growth and melting of the ice cover. As a result of numerical calculations, it was established that the cyclonic circulation, which covers almost completely the central deep-water basin of the lake, is formed shortly after freeze-up. This circulation is stable and exists for most of the winter. The velocities of currents in the circulation reach 10–15 mm / s in the initial period of the ice season, gradually decreasing to 0.2–0.5 mm / s by the end of winter. Comparison of the results of calculations of current velocities on MHIS with data from direct measurements of currents in the lake during the winter showed good agreement.

Keywords: boreal lake, ice-covered period, 3D-model, currents, heat flux

Термодинамика мелководных озер умеренной зоны играет важнейшую роль в функционировании их экосистем. Температура и скорости течений определяют интенсивность биохимических процессов в водной толще и придонных слоях водоемов. В частности, температура водной толщи и режим перемешивания оказывают определяющее влияние на развитие придонной аноксии [1], на перераспределение клеток водорослей, биогенов, газов по водной толще [2]. Интенсивность динамических процессов может оказывать заметное влияние на жизненные циклы гидробионтов, создавая «благоприятные» условия для видов с разными предпочтениями по динамическому режиму [3]. Таким образом, очевидна актуальность изучения процессов переноса и перемешивания (годовой цикл) в водной толще мелководных озер и выявления их роли в функционировании озерных экосистем.

Слабая изученность зимнего динамического режима водоемов суши связана, с одной стороны, с тем, что скорости течений в период ледостава в малопроточных озерах малы [4], с другой – со сложностью и высокой стоимостью проведения прямых измерений течений в этот период. Скорости подледных течений редко превышают 1–10 мм/с [5], поэтому для их измерений требуются современные приборы с высоким разрешением, что заметно ограничивает возможности постановки натурных

экспериментов. В этой ситуации численное моделирование заметно расширяет возможности изучения гидротермодинамических процессов в водоемах, покрытых льдом [6].

Цель исследования: оценить возможность применения метода трехмерного численного моделирования для расчета термогидродинамических (ТГД) процессов в небольшом озере в годовом цикле и, особенно в период ледостава.

Материалы и методы исследования

Трехмерная математическая модель гидротермодинамики внутреннего моря (МГВМ), разработанная в Институте вычислительной математики РАН (ИВМ РАН) и в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) [7] и успешно адаптированная в Институте озероведения РАН (ИнОз РАН) для случая пресноводного озера [8], использовалась для воспроизведения циркуляции в небольшом мелководном озере в зимний период.

В модели для описания циркуляции водной массы и термического режима в бассейне произвольной геометрии используются трехмерные уравнения термогидродинамики. Поверхность раздела воздух – вода свободная, воспроизводятся пространственная изменчивость топографии поверхности и изменчивость среднего уровня водоема. Взаимодействие атмосферы и водной массы описывается через потоки импульса, тепла и влаги. При возникновении условий, благоприятных для формирования льда, включается модель льда, описывающая термодинамические процессы (изменение температуры, нарастание, таяние) во льду и динамические процессы (движение, торошение и т.д.). При этом потоки свойств через границу атмосфера – вода заменяются потоками через границы атмосфера – лед и лед – вода. В модели явным образом описываются потоки воды и ее свойств (минерализация, теплосодержание) через боковые границы (сток и приток рек) и поверхность раздела воздух – вода (испарение, осадки). Кроме того, в модели МГВМ для аппроксимации частных производных использован метод конечных объемов (МКО), основанный на интегральной формулировке законов сохранения массы, импульса, энергии и др. Балансовые соотношения записываются для небольшого контрольного объема; их дискретный аналог получается суммированием по всем граням выделенного объема потоков массы, импульса. Поскольку интегральная формулировка законов сохранения не накладывает ограничений на форму контрольного объема, МКО пригоден для дискретизации уравнений гидродинамики как на структурированных, так и на неструктурированных сетках с различной формой ячеек, что решает проблему сложной геометрии расчетной области.

В условиях, как правило, очень сложной геометрии расчетной области для озер Карелии – как глубоких, так и мелководных – последнее является неоспоримым и решающим преимуществом для выбора модели для расчетов.

Для выполнения расчетов МГВМ была адаптирована для использования ее в озерных условиях. Так, в частности, с учетом того, что минерализация воды в озерах Карелии и их притоках различается и ее значения много меньше морской солености, уравнение состояния морской воды было заменено на уравнение состояния слабоминерализованной воды [9]. Кроме того, в мелководных озерах важную роль в тепловом балансе играет теплообмен с дном. Поэтому МГВМ была дополнена специальным модулем для расчета данного параметра [10].

Объектом численного моделирования было выбрано озеро Вендюрское, расположенное в южной Карелии. Подробное описание озера, его батиметрии, особенностей водосбора приведено в работе [11]. Период ледостава продолжается на озере с середины ноября – начала декабря до начала – середины мая. По классификации Льюиса озеро может быть отнесено к классу полимиктических водоемов, поскольку в период открытой воды его водная масса неоднократно перемешивается. Озеро Вендюрское по морфометрическим особенностям и прозрачности, определяющим режим его перемешивания, является типичным представителем класса мелководных полимиктических водоемов, широко распространенных на территории Карелии.

С использованием данных подробной эхолокационной съемки были выполнены соответствующие работы по построению расчетной сетки для Вендюрского озера, параметры которой составили 80×80 м по горизонтали и 10 горизонтов по вертикали с шагом от 0,5 до 3,5 м. Расчеты выполнялись с шагом по времени 30 с.

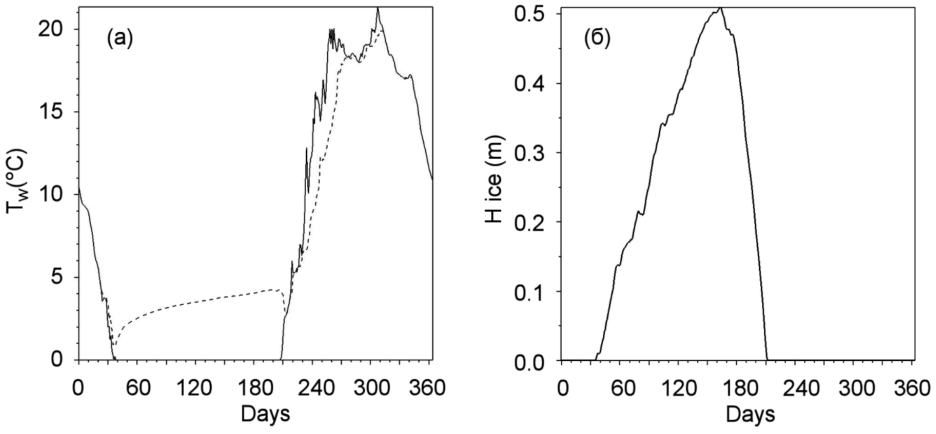
В качестве исходной метеорологической информации для расчета «среднеклиматического» состояния ТГД процессов в озере использовались данные реанализа NCEP/NCAR – совместный проект Национальных центров предсказания окружающей среды (NCEP) и атмосферных исследований (NCAR), США [12].

Тестовые расчеты были проведены для одного «среднемноголетнего» года со стартовой датой 1 октября. Выбор даты для постановки начальных условий не был случайным. Дело в том, что в октябре термическая структура озера гомогенна по пространству [11]. Это практически единственный месяц в году, когда начальные условия могут быть заданы корректно.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ результатов численных расчетов показал, что модель адекватно воспроизводит основные особенности термического и динамического режимов озера в годовом цикле при задании среднемноголетнего для района исследований атмосферного форсинга. Даты наступления и окончания ледостава, его продолжительность, годовая амплитуда изменчивости температуры воды на разных глубинах, полученные в результате расчетов, хорошо согласуются с данными натурных исследований [11]. На рис. 1 в качестве примера приведена эволюция температуры воды на разных горизонтах водной толщи в центральной глубоководной части озера в течение одного модельного года (рис. 1, а), а также динамика нарастания и таяния льда (рис. 1, б). Как следует из результатов расчетов, с точки зрения термического режима озеро Вендюрское представляет собой типичный для Карелии и всего северо-запада РФ мелководный водоем со слабо выраженной плотностной стратификацией в период открытой воды. Отчетливо прослеживается весеннее и осеннее полное конвективное перемешивание озера от поверхности до дна, что свойственно подавляющему большинству озер умеренных широт. На этапе летнего нагревания озеро неоднократно полностью перемешивается от поверхности до дна (рис. 1, а). Таким образом, результаты моделирования подтверждают принадлежность Вендюрского озера к классу полимиктических озер.

В озере отчетливо прослеживается так называемый «эффект подледного прогрева» в период ледостава. Данное явление возникает за счет перераспределения в зимний период накопленного донными отложениями тепла между ними и водной массой озера. Воспроизведение моделью подледного прогрева водной массы озера стало возможным благодаря включению в модель специального модуля для расчета теплообмена между водной массой и донными отложениями (см. выше). При этом температура в придонной области повышается до температуры выше значения, соответствующего максимальной плотности (3,98 °С). Данный эффект стал возможен благодаря тому, что в расчетах по МГВМ было использовано уравнение состояния не для пресной, а для слабоминерализованной воды, которое учитывает повышение температуры максимальной плотности за счет минерализации воды.



а) *б)*

Рис. 1. Температура воды на разных горизонтах водной массы (сплошная линия – поверхность воды, пунктирная – придонный слой) в центральной глубоководной части оз. Вендюрского в течение года (а) и динамика нарастания и таяния льда (б) при задании среднемноголетнего климатического воздействия. Начало расчета – 1 октября

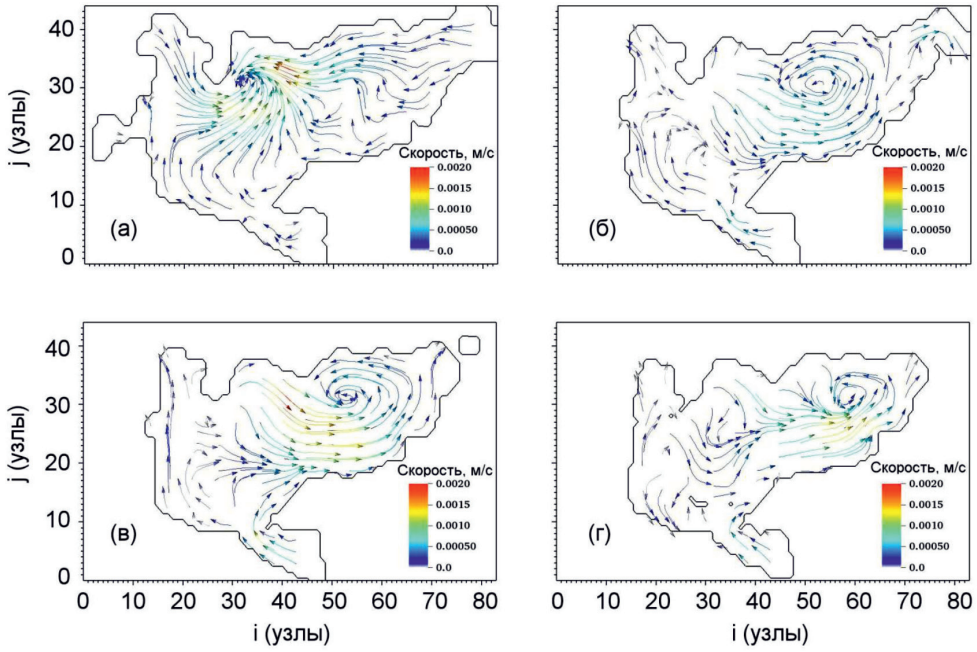


Рис. 2. Поля скоростей течений на глубинах 0,5 м (а), 1,5 м (б), 2,5 м (в) и 5,0 м (г) на 31 января

Также не противоречат данным наблюдений и результаты расчетов образования, нарастания и таяния льда в озере. Так, по данным моделирования первые ледовые явления наступают в озере в начале – середине ноября (рис. 1, б). Нарастание льда происходит до конца марта – середины апреля. Далее наблюдается быстрое таяние ледового покрова с полным его исчезновением в начале – середине мая.

Модельные расчеты течений показали, что вскоре после установления сплошного льда, в озере формируется циклоническая циркуляция, рис. 2, б–г. Эта циркуляция устойчива во времени и существует на протяжении большей части зимы. Скорости течений в поверхностных слоях озера максимальны и достигают 10–15 мм/с в течение первого месяца ледостава, постепенно снижаясь до 0,2–0,5 мм/с в конце зимы. С увеличением глубины скорости течений уменьшаются, достигая 1–1,5 мм/с на глубинах порядка 5 м. На рис. 2 приведены поля течений в приповерхностном слое и на глубинах 1,5; 2,5 и 5 м в середине зимнего сезона (31 января).

Сравнение модельных расчетов скоростей и направлений течений в озере, покрытом льдом, с данными натурных наблюдений [13] показало, что МГВМ удовлетворительно воспроизводит основные особенности динамики водоема в подледный период, а именно, формирование общеозерной циркуляции, существующей на протяжении большей части зимнего сезона и постепенное затухание скоростей течений в течение зимы. Появление общеозерной циркуляции в зимний период может быть обусловлено горизонтальной неоднородностью поля плотности, возникающей за счет разной интенсивности осеннего выхолаживания и теплообмена с донными отложениями зимой на прибрежных мелководьях и в центральной глубоководной части озера.

Масштабный анализ [13, 14] показал, что течения в подледный период в оз. Вендюрском носят геострофический характер. Бароклинный радиус деформации Россби (~200 м) существенно меньше средней ширины озера, а число Россби заметно меньше единицы [14], т.е. эффект вращения Земли может оказывать влияние на формирование крупномасштабной циркуляции. Результаты расчетов на МГВМ показывают формирование циклонического вихря. Натурные измерения, проведенные в разные периоды зимнего сезона, показывают наличие двух циркуляционных ячеек в начале зимнего сезона: циклонической – у северного берега и антициклонической – у южного [13]. Модельное уменьшение скоростей течений к концу зимнего сезона хорошо соответствует наблюдаемому [13] и обусловлено, скорее всего, ослаблением теплообмена водной массы озера с донными отложениями.

Заключение

С использованием трехмерной модели гидротермодинамики внутреннего моря (МГВМ), адаптированной для случая пресного озера, получены расчетные поля скоростей течений и температуры воды на разных глубинах мелководного озера Вендюрского. Результаты расчетов показали, что изменения и дополнения, внесенные в МГВМ, позволяют модели адекватно воспроизводить основные ТГД процессы в озере. Принятые в качестве граничных условий в модели потоки тепла и среднемноголетнее атмосферное воздействие позволили получить расчетные данные о полях температуры и скоростей течений, согласующиеся с данными натурных измерений.

В предстоящих численных экспериментах на адаптированной модели планируется получить схемы течений для основных этапов годового цикла – весенне-летнего нагревания, осенне-зимнего охлаждения, зимнего нагревания, а также провести модельные расчеты для разных гидрометеорологических условий, что позволит выявить основные закономерности формирования и изменчивости структуры течений в озере.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук».

Список литературы / References

1. Diaz R.J. Overview of hypoxia around the World. J. Env. Qual. 2001. V. 30. P. 275–281.

2. Kuha J., Arvola L., Hanson P.C., Huotari J., Huttula T., Juntunen J., Järvinen M., Kallio K., Ketola M., Kuoppamäki K., Lepistö A., Lohila A., Paavola R., Vuorenmaa J., Winslow L., Karjalainen J. Response of boreal lakes to episodic weather-induced events. Inland Waters. 2016. V. 6 (4). P. 523–534. DOI: 10.1080/ IW-6.4.886.

3. Reynolds C.S. The Ecology of Phytoplankton. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2006. 535 p.

4. Rizk W., Kirillin G., Leppäranta M. Basin-scale circulation and heat fluxes in ice-covered lakes. Limnol. Oceanogr. 2014. Vol. 59(2). P. 445–464. DOI:10.4319/lo.2014.59.02.0445.

5. Forrest A.L., Laval B.E., Pieters R., Lim D.S.S. A cyclonic gyre in an ice-covered lake. Limnol. Oceanogr. 2013. Vol. 58 (1). P. 363–375. DOI: 10.4319/lo.2013.58.1.0363.

6. Huttula T., Pulkkanen M., Arkhipov B., Leppäranta M., Solbakov V., Shirasawa K., Salonen K. Modelling circulation in an ice-covered lake. Est. J. Earth Sci. 2010 Vol. 59 (4). P. 298–309. DOI:10.3176/earth.2010.4.06.

7. Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. М.: Геос, 2008. 127 с.

Ibraev R.A. Mathematical modeling of thermohydrodynamic processes in the Caspian Sea. M.: Geos, 2008. 127 p. (in Russian).

8. Зверев И.С., Ушаков К.В., Шипунова Е.А., Голосов С.Д., Ибраев Р.А. Оценка влияния основных притоков Ладожского озера на формирование водной массы бухты Петрокрепость (исток р. Невы) по результатам математического моделирования: материалы I Международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути решения» (Петрозаводск, 11–15 сентября 2017 г.). 2017. С. 228–233.

Zverev I.|S., Ushakov K.V., Shipunova E.A., Golosov S.D., Ibraev R.A. Effect of the main confluents of Lake Ladoga on the formation of water mass of the Petrokrepost' Bay – the effluent of the Neva river (upon the results of mathematical modelling) // Proc. 1st Intern. Conference «Lakes of Eurasia: Problems and solutions» (Petrozavodsk, 2017). 2017. P. 228–233 (in Russian).

9. Chen C.T., Millero F.J. Precise thermodynamic properties for natural waters covering only limnological range. Limnol. Oceanogr. 1986. Vol. 31. № 3. P. 657–662.

10. Golosov S., Kirillin G. A parameterized model of heat storage by lake sediments // Environmental Modelling and Software. 2010. Vol. 25. P. 793–801.

11. Здоровеннова Г.Э., Гавриленко Г.Г., Здоровеннов Р.Э., Mammarella I., Ojala A., Heiskanen J., Тержевик А.Ю. Эволюция температуры водной толщи бореальных озер на фоне изменений регионального климата // Известия РГО. 2017. Т. 149. Вып. 6. С. 59–74.

Zdorovennova G.E., Gavrilenko G.G., Zdorovennov R.E., Mammarella I., Ojala A., Heiskanen J., Terzhevik A.Y. Evolution of the temperature of the water column of boreal lakes against the background of changes in the regional climate // Proceedings of the Russian Geographical Society, 2017. Vol. 149. Issue 6. P. 59–74 (in Russian).

12. Kalnay et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. Vol. 77. P. 437–470.

13. Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study on currents in a shallow ice-covered lake. Limnol. Oceanogr. 1998. Vol. 43. P. 1669–1679.

14. Пальшин Н.И., Здоровеннова Г.Э., Богданов С.Р., Волков С.Ю., Гавриленко Г.Г., Ефремова Т.В., Здоровеннов Р.Э., Тержевик А.Ю. Геострофические течения в малом озере подо льдом // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 89–94.

Palshin N.I., Zdorovennova G.E., Bogdanov S.R., Volkov S.Yu., Gavrilenko G.G., Efremova T.V., Zdorovennov R.E., Terzhevik A.Yu. Geostrophic currents in the small ice-covered lake // Advances in current natural sciences. 2017. № 11. P. 89–94 (in Russian).

УДК 550.424:551.464

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДОЛГОЖИВУЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПАХ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ СЕВЕРОДВИНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Зыков С.Б., Дружинин С.В., Зыкова Е.Н., Яковлев Е.Ю., Покровский О.С.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: abs2417@yandex.ru

Целью исследования являлся актуальный анализ содержания долгоживущих техногенных и природных радиоактивных изотопов в верхних почвенных горизонтах на территории в непосредственной близости к Северодвинскому промышленному району (СПР). В 2017 г. был проведен отбор проб верхних горизонтов двух основных типов почв. Произведен замер и анализ проб на гамма-спектрометрическом комплексе, определена активность техногенных изотопов ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{152}Eu,^{154}Eu и изотопов естественного ряда, таких как ^{40}K, ^{226}Ra,^{232}Th. В процессе работы выявлены точки с повышенными значениями техногенных изотопов. Рассчитаны средние значения активностей для торфяно-подзолистых и болотно-торфяных почв. Выявлены точки с повышенными значениями и рассчитана суммарная активность для каждой из них. Кроме того отобранные пробы обрабатывались радиохимическими методами и анализировались на содержание в них изотопов урана ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U на альфа-спектрометрическом комплексе. В результате обработки полученных данных были выявлены незначительные превышения активности изотопов урана в некоторых точках отбора проб, однако все эти значения не выходят за пределы фоновых значений. В целом повышенные значения техногенных радионуклидов тяготеют к территории, расположенной к западу от Северодвинского промышленного района. Активность ряда естественных гамма-активных изотопов не имеет на исследованной территории каких либо отличий от активности аналогичных почв. Несбалансированность изотопов ^{40}K, ^{226}Ra,^{232}Th также отсутствует, что указывает на то, что верхние горизонты почв в местах отбора не подвергались техногенному воздействию. Была заложена основа для мониторинговых исследований данной территории в будущем.

Ключевые слова: радиоактивные изотопы, геоэкология, почвы, экологический мониторинг, спектрометрия, радиохимия

NEW DATA ON LONG-LIVING TECHNOGENIC AND NATURAL RADIOACTIVE ISOTOPES IN UPPER LAYERS OF SOIL IN THE NEIGHBORHOOD OF THE SEVERODVINSK INDUSTRIAL AREA

Zykov S.B., Druzinin S.V., Zykova E.N., Yakovlev E.Yu., Pokrovskiy O.S.

Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS, Archangelsk, e-mail: abs2417@yandex.ru

The aim of the study was to analyze the content of long-lived man-made and natural radioactive isotopes in the upper soil horizons in the territory in close proximity to the Severodvinsk industrial region (SIR). In 2017, samples were taken of the upper horizons of the two main soil types. Samples were measured and analyzed for the gamma-spectrometry complex, the activity of man-made isotopes 134Cs, 137Cs, 60Co, 152Eu, 154Eu and natural isotopes, such as 40K, 226Ra, 232Th, was determined. In the process, points with elevated values of man-made isotopes were identified. The average values of activities for peat-podzolic and bog-peat soils are calculated. Identified points with elevated values and calculated the total activities for each of them. In addition, the selected samples were processed by radiochemical methods and analyzed for the content of ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U isotopes in them on the alpha-spectrometric complex. As a result of processing the obtained data, insignificant excess of the activity of uranium isotopes was detected at some sampling points; however, all these values do not go beyond the background values. In general, the increased values of man-made radionuclides to the territory located to the west of the Severodvinsk industrial region. The activity of a number of natural gamma-active isotopes does not have any differences in the studied area from the activity of similar soils. The imbalance of the isotopes ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th is also absent, which indicates that the upper soil horizons, at the sites of selection, were not subjected to anthropogenic impact. The foundation was laid for monitoring of the area in the future.

Keywords: radioactive isotopes, geo-ecology, soils, environmental monitoring, spectrometry, radiochemistry

Важнейшей задачей изучения окружающей среды является мониторинг радионуклидов в почвах вокруг крупных промышленных центров. Источниками поступления техногенных и естественных радиоактивных изотопов могут быть ядерные энергетические установки, закрытые, точечные источники излучения, химические соединения, применяемые в производстве и аварии. Среднемировое значение эквивалентной дозы для населения составляет порядка 3,5 м^3 в год, тогда как вклад фонового гамма-излучения в эту дозу составляет не менее 15%, не включая радон и космическое излучение [1]. Определение средних фоновых и повышенных значений активности изотопов вокруг промышленных предприятий является весьма нужным и интересным направлением.

Целью исследования являлся актуальный анализ содержания долгоживущих техногенных и природных радиоактивных изотопов в верхних почвенных горизонтах на территории в непосредственной близости к Северодвинскому промышленному району (СПР). Задача заключалась в том, чтобы определить значения активности таких техногенных и естественных радионуклидов, как ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{152}Eu, ^{154}Eu, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, в верхних горизонтах двух основных типов почв, встречающихся на данной территории. Группа таких радионуклидов, как ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, относится к природным и на постоянной основе, в большей или меньшей степени, содержится в почве и определяет естественный радиоактивный фон.

Первые два техногенных изотопа ^{134}Cs, ($T_{1/2}$ 2,06 лет), ^{137}Cs ($T_{1/2}$ 30,16 лет) весьма радиотоксичны [2]. Образуются преимущественно при делении ядер в ядерных реакторах, взрывах ядерного оружия, содержатся в радиоактивных выпадениях, радиоактивных отходах, сбросах заводов, перерабатывающих отходы атомных энергетических установок. Эти изотопы цезия одни из главных элементов радиоактивного загрязнения биосферы. Активно поглощаются растениями в обедненных кальцием торфяно-болотных почвах. Несмотря на то, что ^{134}Cs имеет более короткий период полураспада, он обладает более жестким по сравнению с ^{137}Cs излучением и большой активностью ($4{,}7\cdot10^{13}$ Бк/г) [3].

Не менее опасны и изотопы ^{58}Co,^{60}Co. В выбросах АЭС, эксплуатирующихся много лет, даже при безаварийной работе, возможно присутствие продуктов активации таких изотопов, как ^{60}Co и других, являющихся следствием коррозии металла и активации растворенных веществ в воде первого контура. Даже при незначительных дефектах оболочек тепловыделяющих элементов продукты деления проникают в теплоноситель. Далее они распространяются по вентиляционным и канализационным системам. Кроме того, ^{60}Co широко применяется в гамма-дефектоскопии для контроля и регулирования уровня расплавленного металла в плавильных печах непрерывной разливки, в гамма-толщиномерах и радиоизотопных электрогенераторах.

Высокотоксичными радионуклидами также являются ^{152}Eu, ($T_{1/2}$ 13,525 лет) ^{154}Eu ($T_{1/2}$ 8,601 лет) [4]. Источниками поступления изотопов европия могут быть разгерметизация и разрушение закрытых источников гамма-излучения на производстве, а также отголоски глобальных выпадений от испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1960-х гг. Международный стандарт ISO 2919:1999 относит радиотоксичность европия ^{152}Eu и ^{154}Eu к той же группе B1 (высокая токсичность), что и токсичность промышленных радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs [4]. Кроме того изотопы европия являются перспективными закрытыми источниками гамма-излучения для нужд промышленности, и их постоянный экологический мониторинг также необходим.

Естественные радиоактивные изотопы ^{40}K ($T_{1/2}$ $1{,}248\cdot10^{9}$ лет), ^{226}Ra ($T_{1/2}$ $1{,}6\cdot10^{3}$ лет), ^{232}Th ($T_{1/2}$ $1{,}405\cdot10^{10}$ лет) вносят существенный вклад в радиационную обстановку местности [5]. Несмотря на то, что генотип человека сформировался на фоне облучения данными радионуклидами их повышенные концентрации в почве и других объектах биосферы оказывают угнетающее и канцерогенное воздействие на организм. Источником избыточного количества ^{40}K в почве могут быть калийные удобрения, соли калия, использующиеся в гальванотехнике и аккумуляторах на предприятиях, при сушке газов в металлургии, варке стекла, ядерных реакторах. Следует отметить, что пероксид калия и супероксид калия используются для регенерации воздуха на подводных лодках. Источником поступления ^{226}Ra в окружающую среду могут быть локальные свалки приборов со светомассой постоянного действия, применявшейся в 1970-х гг. ^{226}Ra также может поступать в окружающую среду в виде продукта распада материнского альфа-активного изотопа ^{230}Th, присутствующего в ядерных энергетических установках. ^{232}Th применяется в атомной энергетике в высокотемпературных жидко-солевых реакторах совместно с ураном, плутонием и используется в металлургии в высокотемпературных печах.

Кроме того большой интерес представляют собой изотопы урана, содержащиеся как в природе, так имеющие и техногенное происхождение. Обогащенный и обедненный уран широко используется в промышленности, военном деле, медицине, науке в качестве радиационной защиты, источника ядерной энергии, ядерного оружия, брони, лучевой терапии и генераторов нейтронов [5]. Разумеется, в любой из этих отраслей возможны его утечки и выбросы, которые могут накапливаться в почвах и оказывать негативное влияние на здоровье человека, благодаря альфа-излучению и химической токсичности.

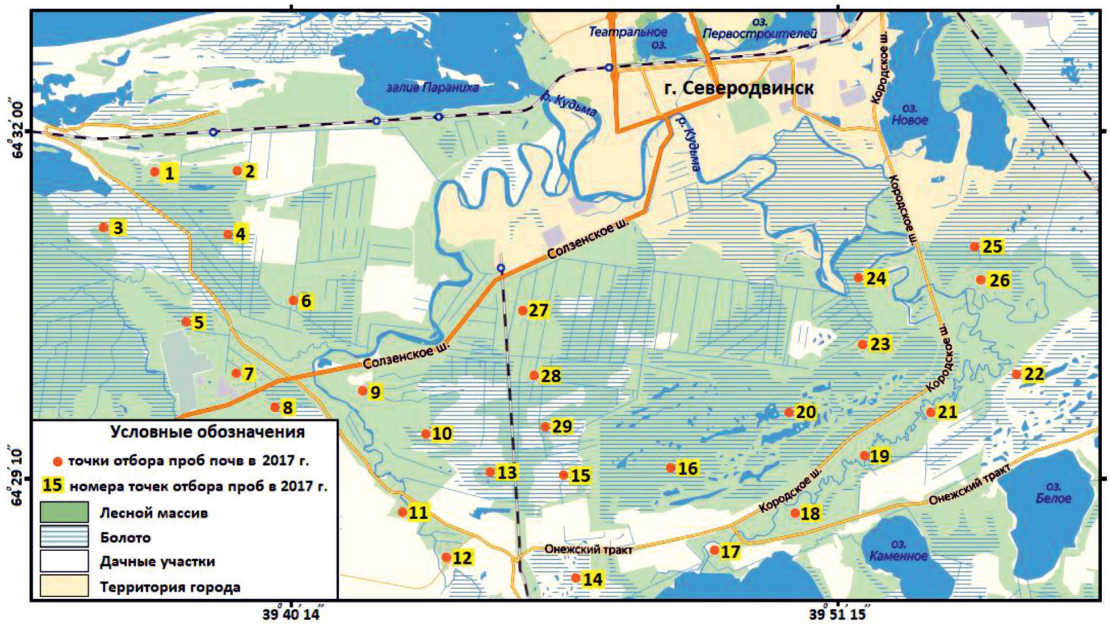


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб почв в районе Северодвинского промышленного района

Материалы и методы исследования

Для решения поставленной задачи была выбрана территория, прилежащая к Северодвинскому промышленному району, на которой содержатся все возможные источники поступления в окружающую среду исследуемых радионуклидов. В ходе экспедиционных работ летом 2017 г. было отобрано 29 проб верхнего почвенного горизонта двух типов почв, которые обозначены как серия образцов SM-XX-17, где XX соответствует номеру точки отбора на рис. 1.

Для болотно-подзолистого типа почв отбирались горизонты Ат-A_1 на глубину 15 см. На местах с торфяно-болотным верховым типом почв отбирался горизонт Т на глубину до 15 см. В том и другом случае перед отбором проб лесная подстилка и сфагновый очес удалялись. Пробы отбирались титановой лопатой, маркировались и упаковывались в полиэтиленовые пакеты. После доставки в лабораторию пробы высушивались в сушильном шкафу при 70 °С и измельчались. Измерение проб производилось на гамма-спектрометре ORTEC с полупроводниковым детектором по геометрии Маринелли. Также был проведен цикл радиохимической подготовки проб для альфа-спектрометрических измерений изотопов урана на спектрометре «Прогресс-альфа». Работы проводились с использованием методики «Определение объемной активности изотопов урана 234 и 238 в пробах почв» [6]. Все результаты измерений подвергались обработке на программном обеспечении спектрометров для расчета результатов и контроля погрешности измерений на необходимом уровне.

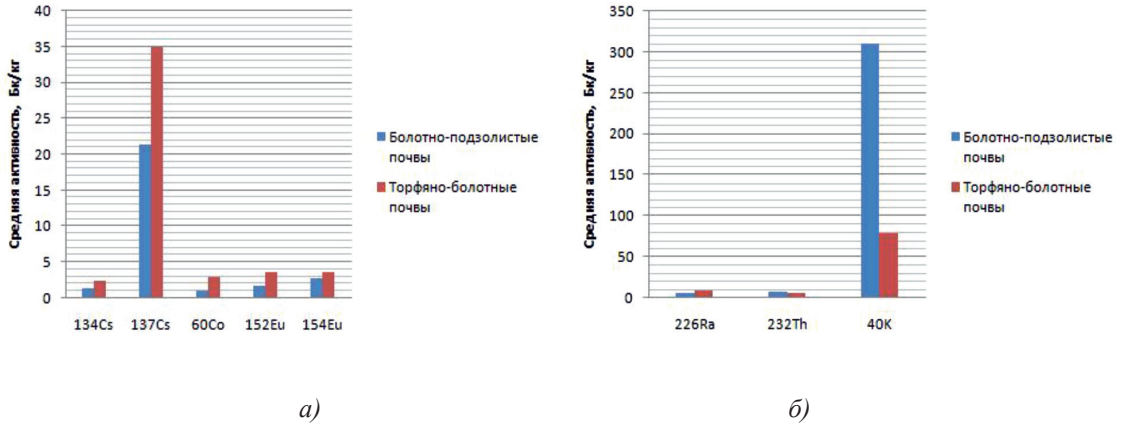
Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований верхних горизонтов двух типов почв были определены значения активности вышеупомянутых радионуклидов. К торфяно-болотному верховому типу почв были отнесены 22 образца, сюда вошли пробы, отобранные в точках 1–8, 10, 12–15, 17–25. К болотно-подзолистому типу почв принадлежат 7 проб, отобранных в точках 9, 11, 16, 26–29.

Средние значения активности техногенных изотопов в торфяно-болотных верховых почвах составляют: ^{134}Cs 2,32 (Бк/кг); ^{137}Cs 21,92 (Бк/кг); ^{60}Co 2,88 (Бк/кг); ^{152}Eu 4,65 (Бк/кг); ^{154}Eu 3,43 (Бк/кг) (рис. 2, а). В верхнем горизонте торфяно-подзолистых почв средняя активность искусственных изотопов варьирует от 2,18 до 29,19 Бк/кг (рис. 2, а). Активность ^{137}Cs, ^{60}Co и ^{154}Eu несколько выше в верхних горизонтах торфяно-болотного верхового типа, чем в болотно-подзолистых почвах. Средние актив-

ности естественных радиоизотопов, таких как торий и калий, немного выше в болотно-подзолистом типе почв (рис. 2, б). Средние значения этих изотопов, обнаруженные на данной территории, составляют в болотно-подзолистой почве 5,85 Бк/кг, а в торфяно-болотной 8,70 Бк/кг. Средняя активность тория варьирует от 7,87 Бк/кг в болотно-подзолистой до 5,78 Бк/кг в торфяно-болотной почве. Калий-40 показывает средние значения активности 79,55 Бк/кг в торфяно-болотных верховых почвах, достигая 310,34 Бк/кг в болотно-подзолистом типе почв.

По площади района исследования наиболее загрязненными техногенными радионуклидами являются участки в точках отбора проб 2, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 20 в которых суммарная гамма-активность техногенных изотопов превышает 50 Бк/кг (рис. 3). Суммарная активность здесь варьирует от 58,3 Бк/кг (точка 2) до 132,1 Бк/кг (точка 7). Наибольший вклад в активность в этих пробах вносит ^{137}Cs, аккумулируемый в основном в растительности и органическом веществе. Этим объясняется и то, что только одна точка 9 из вышеупомянутых относится к болотно-подзолистому типу почв, в которой зафиксировано значение гамма-активности выше 50 Бк/кг. В то время как остальные пробы (2, 4, 5, 6, 7, 13, 20) это торфяно-болотный тип почв с высоким содержанием органических веществ.



а) *б)*

Рис. 2. а) средняя активность техногенных гамма-активных изотопов в верхнем почвенном горизонте; б) средняя активность естественных гамма-активных изотопов в верхнем почвенном горизонте

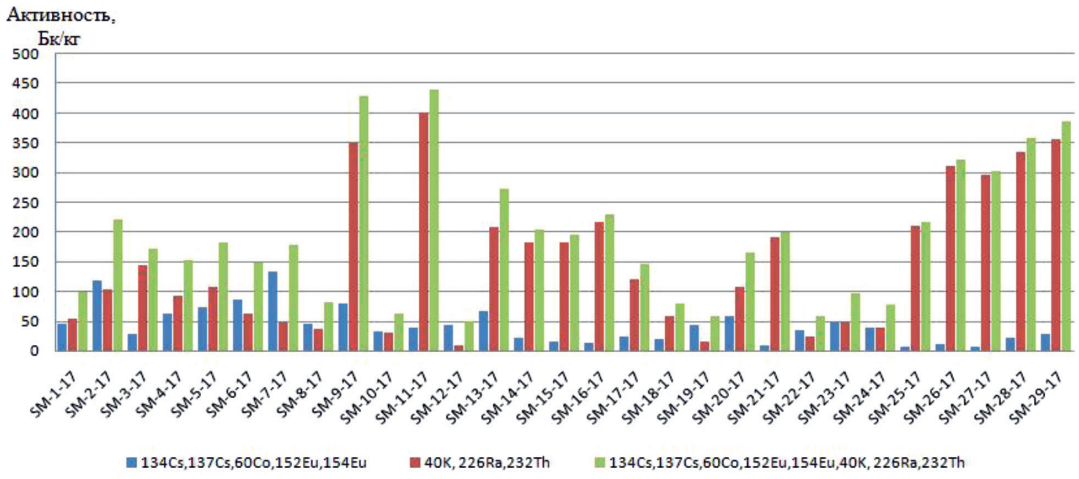


Рис. 3. Соотношение общей гамма-активности техногенных и естественных изотопов и их вклад в общую суммарную активность проб почв

Гамма-активность ряда естественных радионуклидов ^{40}K, ^{226}Ra и^{232}Th, характеризуется на данной территории типичными фоновыми значениями. Суммарная активность в верхнем горизонте Т торфяно-болотных почв колеблется от 7,81 Бк/кг (точка 12) до 210,57 Бк/кг (точка 25) и соответствует фоновым значениям в данном типе почв. Разумеется, максимальный вклад в активность этой группы радионуклидов вносит ^{40}K. Отобранные пробы, относящиеся к болотно-подзолистому типу почв, имеют активность несколько выше, чем торфяно-болотные в силу иного естественного минерального состава, имеющего больше калия. Максимальные значения суммарной активности достигают в данном типе почв 439,81 Бк/кг (точка 11). Повышенных значений указывающих на техногенное поступление ^{40}K, ^{226}Ra и ^{232}Th в почву, на данной территории не выявлено.

Отсутствует также несбалансированность изотопов, которая указывает на техногенное воздействие на верхние слои почвы. Из рис. 3 видно, что вклад техногенных изотопов в общую активность почв иногда значительно превышает долю естественных изотопов. Например, в точках отбора проб 7, 12, 19 доля техногенных изотопов превышает вклад естественных изотопов в 2,8; 5,4 и 2,8 раза соответственно.

Интересно и то, что все эти точки относятся к торфяно-болотному типу почв. В болотно-подзолистых почвах большую долю гамма-активности вносят калий содержащие минералы и из-за этого вклад в гамма-активность техногенных изотопов нивелируется.

Изотопы урана, исследованные на данной территории, показали следующие значения альфа активности. В верхних горизонтах торфяно-болотного верхового типа почв среднее значение ^{238}U в серии отобранных проб составляло 0,383 Бк/кг. Средняя активность ^{234}U и ^{235}U составляла соответственно 0,466 и 0,098 Бк/кг почвы. Общая суммарная активность урана в торфяно-болотных почвах варьировала от 0,685 Бк/кг (точка 15) до 1,187 и 1,214 Бк/кг в точке 6 и 23 соответственно. В торфяно-подзолистом типе почв средняя альфа-активность ^{238}U в образцах была в пределах 0,427 Бк/кг. Средняя активность ^{234}U, и ^{235}U составляла соответственно 0,535 и 0,079 Бк/кг почвы. Общая активность изотопов урана в болотно-подзолистых почвах имела минимальные значения в точке 16 (0,732 Бк/кг), а относительно высокие уровни активности были обнаружены в точке 27 (1,446 Бк/кг). Низкая активность изотопов урана в торфяно-болотных верховых почвах обуславливается низким содержанием минерального вещества и повышенной кислотностью этого типа почв, что обеспечивает переход соединений урана в подвижную форму с последующим вымыванием его в нижележащие горизонты.

Заключение

В целом можно сказать, что наибольшие значения техногенных радионуклидов в верхних горизонтах почв располагаются к западу от Северодвинского промышленного района. Гамма-активность естественных изотопов соответствует фоновым значениям для данных типов почв. В основном наибольшие активности определяются в верхнем горизонте болотно-подзолистых почв. На исследуемой территории не обнаружено превышения активности изотопов ^{40}K, ^{226}Ra и ^{232}Th, как и их дисбаланса. В процессе исследований не было выявлено какой либо корреляции в распределении техногенных гамма-активных изотопов и изотопов урана. Учитывая распределение среднегодовых потоков воздушных масс можно предположить, что источником техногенных изотопов на западе от Северодвинского промышленного района могли быть отголоски выбросов с локальных объектов (свалки, хранилища радиоактивных отходов и т.п.) западнее СПР в прошлом. Все полученные значения техногенных и природных гамма-активных изотопов ниже предельно допустимых величин, как и активность трех альфа-активных изотопов урана и не могут оказывать негативного влияния на окружающую среду.

Список литературы / References

1. Кошелев Ф.П., Силаев М.Е., Селиваникова О.В. Технологии ЯТЦ и экология: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 208 с.

Koshelev F.P., Silayev M.E., Selivanikova O.V. NFCs technologies and ecology: Manual. Tomsk: TPU publishing house, 2008. 208 p. (in Russian).

2. Wieser M.E., Holden N., Coplen T.B. [et al.] Atomic weights of the elements 2011 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry. 2013. Vol. 85. Is. 5. P. 1047–1078.

3. Mietelski J.W., Kierepko R., Lokas E., Cwanek A., Kleszcz K., Tomankiewicz E., Mróz T., Anczkiewicz R., Szałkowski M., Was B., Bartyzel M., Misiak R. Combined, sequential procedure for determination of ^{137}Cs, ^{40}K, ^{63}Ni, ^{90}Sr, ^{230,232}Th, ^{234,238}U, ^{237}Np, $^{238,239+240}$Pu and ^{241}Am applied for study on contamination of soils near Zarnowiec Lake (northern Poland). Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2016. № 310 (2). P. 661–670. DOI: 10.1007/s10967-016-4835-0.

4. Дюльдя С.В., Братченко М.И., Скоробогатов М.А. Радионуклиды европия как источники излучения для гамма-радиационных технологий: моделирование распределений поглощенной дозы в гомогенных средах // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение 2004. № 3 (85). С. 128–14.

Dyuldya S.V., Bratchenko M.I., Skorobogatov M.A. Europium radionuclides as radiation sources for gamma and radiation technologies: modeling of distributions of the absorbed dose in homogeneous environments // Voprosy` atomnoj nauki i texniki. Seriya: Fizika radiacionny`x povrezhdenij i radiacionnoe materialovedenie 2004. № 3 (85). P. 128–14 (in Russian).

5. Головко В. Проблемы обеднённого урана // Наука и техника. 2015. № 9 (112). С. 20–24.

Golovko V. Problems of the impoverished uranium // Nauka i texnika. 2015. № 9 (112). P. 20–24 (in Russian).

6. Методика измерений удельной активности изотопов урана в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород и строительных материалов на их основе альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой // Лаборатория изотопных методов анализа ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского». М., 2013. 18 с.

Measurement technique of specific activity of isotopes of uranium (^{238}U, ^{234}U, ^{235}U) in tests of soils, soil, ground deposits and rocks and construction materials on their basis by an alpha and spectrometer method with radiochemical preparation // Laboratoriya izotopny`x metodov analiza FGUP «Vserossijskij nauchno-issledovatel`skij institut mineral`nogo sy`r`ya im. N.M. Fedorovskogo». M., 2013. 18 p. (in Russian).

УДК 911.2:581.526.53(282.256.341)

СТЕПНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН, НУЖДАЮЩИЕСЯ В СОХРАНЕНИИ

Касьянова Л.Н.

ФГБУ «Сибирский институт физиологии и биохимии растений» СО РАН, Иркутск, e-mail: kasyanova_lyubov@inbox.ru

В статье приводятся результаты анализа биоразнообразия фитоценотических комплексов степной растительности острова Ольхон, проведённого с целью выявления раритетных фитоценозов. Как показали наши многолетние исследования, фитоценофонд степной растительности острова слагается фитоценозами, организация которых обусловлена географическим положением, геологической историей, рельефом и неравнозначными экологическими условиями природной среды биогеоценозов. На основании нескольких критериев, основными из которых являются флористический и экологический составы, пространственная структура и качество местообитания, установлены три категории фитоценозов, уникальные, редкие и типичные. К уникальной категории растительных сообществ причислены псаммофитные структуры азонального растительного комплекса, формирующегося на современных дюнных песках острова. Специфичными чертами сообществ данной категории являются экологический состав, в котором преобладают растения психрофиты и наличие в ценофлоре значительного числа реликтовых и эндемичных видов. В категорию редкие фитоценозы отнесены экстразональные степные структуры, в которых доминируют реликтовые виды и растения галоксерофиты, образующие сообщества на древних глинах и солонцах. В категорию типичные причислены экстразональные степные фитоценозы, занимающие значительные территории в степном пространстве острова. Вследствие этого они оказывают значительное влияние на процессы взаимосвязи природной среды и растительности, обеспечивая устойчивость степной экосистеме и степному ландшафту в целом. Кроме того, эти структуры являются особо ценными объектами для науки, поскольку обладают структурно-функциональными признаками, присущими фитоценозам зональных степей. В целях поддержания биоразнообразия степного фитоценотического комплекса на острове предложены меры по сохранению особых фитоценозов. Основными из них являются: регулирование рекреационной нагрузки, создание зон покоя, экотопический и экотипический мониторинг фитоценозов.

Ключевые слова: остров Ольхон, степная растительность, природные условия, фитоценотическое разнообразие, категории раритетных фитоценозов

STEPPE PHYTOCENOSES OF THE OLKHON ISLAND REQUIRING PRESERVATION

Kasyanova L.N.

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of RAS, Irkutsk, e-mail: kasyanova_lyubov@inbox.ru

The article presents the results of the analysis of the biodiversity of phytocoenotic complexes of the steppe vegetation of Olkhon Island, which was produced in order to identify rare phytocenoses. As our long-term studies have shown, the phytocoenotic composition of the steppe vegetation of the island is composed of phytocenoses, the organization of which is determined by geographical location, geological history, relief and unequal ecological conditions of the natural environment of biogeocoenoses. Based on several criteria, the main of which are floristic and ecological composition, spatial structure and habitat quality, three categories of phytocenoses are established, unique, rare and typical. The psammophytic structures of the azonal plant complex developing on the modern dune sands of the island are included in the unique category of plant communities. The specific features of the communities of this category are the ecological composition, in which the psychrophyte plants prevail and the presence in the coenofloras of a significant number of relict and endemic species. The category of rare phytocenoses includes extrazonal steppe structures in which relict species and haloxerophytes dominate, forming communities on ancient clays and solonetz. Steppe phytocenoses occupying significant territories in the steppe space of the island are classified as typical. As a result, they have a significant impact on the relationship of the natural environment and vegetation on the island, ensuring the sustainability of the steppe ecosystem and the steppe landscape as a whole. In addition, these structures are especially valuable objects for science, because they have structural and functional characteristics inherent in the phytocenoses of zonal steppes. In order to maintain the biodiversity of the steppe phytocoenotic complex on the island, measures are proposed for the conservation of specific phytocenoses. The main ones are: regulation of recreational load, creation of zones of rest, eco topical and eco typical monitoring of phytocenoses.

Keywords: island Olkhon, steppe vegetation, natural conditions, phytocoenotic diversity, categories of rare phytocenoses

Ольхон является крупным островом Байкала, который представляет собой сложную островную экосистему, состоящую из двух разнородных наземных подсистем степного и лесного типов. Каждая из них размещается на конкретной природной территории острова, отличительными особенностями которых является эколого-биогеографическая структура растительного покрова, обусловленная неоднородностью

элементов физической среды. Таковыми являются рельеф, запасы водных ресурсов, климатические условия, почвенный покров. В соответствии с перечисленными абиотическими факторами и сложившейся системой экотопов степная растительность на острове размещается преимущественно в западной, прибрежной части пролива Байкала – Малое Море. Лесная растительность располагается в восточной, горной части острова, обращенной к Байкалу. При этом степные участки на острове, как и на всей Байкальской природной территории, по своей природе являются экстразональными и азональными включениями в лесной зоне.

Материалы и методы исследования

В настоящее время остров Ольхон является частью земель Прибайкальского национального парка, основная природоохранная деятельность которого совмещается с задачами рекреационного туризма.

Поскольку природа Байкала в последнее десятилетие стала особенно привлекательной для туристов, на остров Ольхон в летний период устремляются сотни неорганизованных людей. От этого нашествия на острове возникла угроза разрушения целостности его уникальных природных комплексов, вследствие высокой степени антропогенной нагрузки на рельеф, растительный и почвенный покровы.

При определении экологических нарушений природных территорий и ландшафтов принято использовать ботанические критерии, среди которых важнейшими являются фитоценотические характеристики, поскольку растительные сообщества, как системообразующие элементы, являются индикаторами качества внешней среды. Поэтому упрощение их флористического и биоморфного состава, пространственной структуры, а также бесследное исчезновение некоторых типов фитоценозов на природной территории являются четкими показателями ущерба нанесенного антропогенным воздействием. Имеющиеся у нас данные о количественном и качественном составе фитоценотических комплексов степной растительности Ольхона, позволили нам, из всей совокупности фитоценозов, на основе уникальности и природоохранной значимости каждого из них, выделить несколько групп (категорий), различающихся между собой флористическим составом, синтаксономическим объемом и экологической составляющей. Специалисты по охране растительного мира и практические работники заповедных территорий давно осознали, что задачи сохранения растительного покрова и поддержания в нем естественных процессов филогенеза могут быть решены лишь при условии целостного сохранения видового и ценотического разнообразия в региональных природных экосистемах. Именно фитоценозы, как элементарные экосистемы, обеспечивают необходимые условия для произрастания редким видам, а также видам, имеющим ограниченное число популяций, эндемичным, реликтовым и обычным. Поэтому важно знать не только синтаксономический объем растительного покрова изучаемой территории, но и понимать, какие биогеографические, экологические и флористические особенности определяют настоящую ценность фитоценозов ее отдельных участков. Подчеркнём, что сохранение редких и находящихся под угрозой исчезновения видов без сохранения местообитаний сообществ – бесполезная идея.

Цель исследования: на основе анализа экологических, флористических и биогеографических признаков различных типов фитоценозов степной растительности острова Ольхон описать раритетные растительные сообщества.

Данная работа является естественным продолжением многолетнего (2002–2017 гг.) детального изучения степной растительности на Ольхоне. Ее главная задача – из всего многообразия степных фитоценозов выявить специфические, хранящие в себе ценную научную информацию и эталонные, обеспечивающие устойчивое функционирование степной экосистеме острова.

Основу статьи составляют материалы полевых исследований, выполненные в центральной части острова Ольхон от мыса Саса до мыса Ташкай (рисунок). В определенной мере информация об этих исследованиях представлена в наших публикациях [1, 2], поэтому многие вопросы, касающиеся состава и структуры растительности рассматриваемой территории, и методические тонкости сбора и анализа данных в этой работе опущены.

Обработка геоботанических описаний степной растительности Ольхона выполнена с помощью пакета программ IBIS [3]. Исходным материалом для этого послужили более 450 полных геоботанических описаний, полученных автором маршрутным методом. Инвентаризация и классификация растительности выполнены в соответствии с подходами отечественной эколого-фито-

ценотической школы: с учетом флористических различий сообществ и экологических условий местообитаний. В связи с этим наименования ценотических единиц отображают диагностические комбинации характерных видов растений с учетом их доминирования и встречаемости. При обработке первичных (родительских) описаний были использованы предписания европейской флористической школы Браун Бланке.

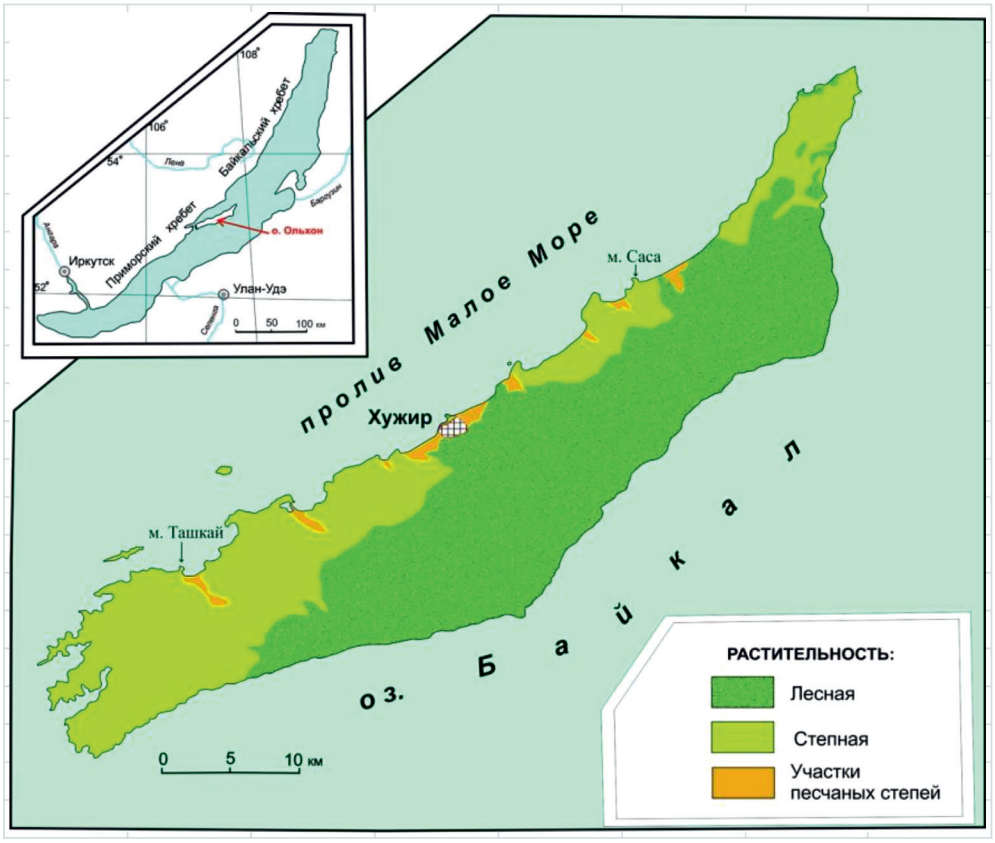
В понятие «ценность фитоценоза» положен эколого-биогеографический принцип, основу которого составляют совокупные характеристики различных областей знаний: экологии, фитоценологии, геоморфологии и биогеографии, позволяющие произвести отбор своеобразных типов растительных сообществ, относящихся к экстразональным и азональным степным фитоценотическим комплексам острова. В результате анализа многочисленных признаков были сформулированы *критерии*, по которым в конечном итоге были сформированы *три категории* фитоценозов, отличающиеся от прочих, обусловленными ценностными качествами. В соответствии с вышесказанным, причисление степных растительных сообществ к определенной категории было произведено по следующим важнейшим показателям.

1. Сообщества экстразонального степного комплекса фитоценозов, несущие структурно-функциональные признаки зональных степей и обеспечивающие экологическую устойчивость природной территории острова.

2. Сообщества экстразонального степного комплекса, произрастающие на специфических субстратах, солонцах и глинах.

3. Сообщества экстразонального степного комплекса, ценозообразователями которых являются реликтовые виды.

4. Псаммофитные сообщества азонального степного фитоценотического комплекса, развивающиеся на современных дюнных песках, флористический состав которых содержит большое число эндемичных и реликтовых видов растений.



Размещение основных типов растительности на острове Ольхон. На врезке представлено местоположение острова. Площадь острова – 730 кв. км, длина – 74 км, максимальная ширина – 10–15 км

Таким образом, из имеющегося многообразия фитоценозов, организация которых обусловлена географическим положением острова, его геологической историей, рельефом, специфическими экологическими условиями природной среды отдельных местообитаний (биогеоценозов), были установлены три категории растительных сообществ определенные нами как *уникальные*, *редкие и типичные*,

В вопросах установления статуса природной сути выше названных категорий фитоценозов были учтены рекомендации отечественных исследователей по инвентаризации и охране редких растительных сообществ природных экосистем [4–6].

Результаты исследования и их обсуждение

Территория острова Ольхон, на которой развивается степная растительность, сообразно геоморфологическим структурным разновидностям условно делится на четыре участка, различающихся между собой рельефом, эдафическими и мезоклиматическими условиями. Вследствие этого каждый участок степи характеризуется индивидуальным фитоценотическим комплексом, отличающимся от прочих флористическим и биоморфным составом, и хорологическими особенностями.

Самая большая территория степей на острове находится в его центральной части (рисунок), на которой размещаются два степных участка из четырех геоморфологических разновидностей. Один из них, меньший по площади, располагается в прибрежной песчаной зоне пролива Малое море. К востоку от него, на выровненных пространствах острова, размещается другой, больший по размерам участок степи. Рассмотрим обобщённо природные условия каждого из них.

Участок степи выровненных пространств острова находится на высоте 460–675 м над уровнем моря. Рельеф этой территории слагается невысокими холмами со сглаженными вершинами, пологие склоны которых плавно соединяются с широкими котловинами и неглубокими ложбинами. В почвенном покрове преобладают почвы преимущественно каштановые, черноземовидные и степные бескарбонатные (каштановидные). Изредка – солоноватые.

Климат территории по данным станции Хужир (488 м над ур. моря), характеризуются средней температурой воздуха июля 14,7 °, – января – 19,7 °, небольшой суммой осадков, 225 мм, выпадающих за год, большая часть (64–72 %) которых приходится на летние месяцы и дефицитом влажности воздуха 2,8 мб.

Особой чертой климата данного участка степи является влияние различных форм и элементов пологоволнистого рельефа на ослабление скорости сильных ветров западных и северо-западных румбов, особенно неистовствующих осенью. Наряду с этим, пологоволнистый рельеф способствует выравниванию экологической среды биогеоценозов, определяя тем самым порядок размещения растительных сообществ в пространстве и организацию их внутренней структуры. По этой причине пространственная структура фитоценозов на данном участке степи отчетливо дифференцирована по вертикали и несложно – по горизонтали. При этом вертикальное сложение фитоценотических единиц характеризуется двумятремя ярусами, высотой от одного десятка сантиметров до 1 м. Горизонтальной структуре растительного покрова свойственен гомогенный тип размещения растительных сообществ.

Ценофлора данного участка степи включает 177 видов сосудистых растений из 103 родов и 37 семейств. Иерархическая схема степных фитоценозов рассматриваемого комплекса имеет следующие градации: 1 – степной тип растительности, 3 подтипа: настоящие, сазовые и горные, 18 формаций, 19 ассоциаций. Из всего фитоценотического комплекса этого участка к раритетным сообществам категории типичные отнесено 5 структур, к категории редкие – 4.

Другой участок степи центральной части острова объединяет песчаные массивы (дюнные пески) разной мощности (от 1 до 6 кв. км), находящиеся в прибрежной зоне Малого Моря – пролива Байкала. По своему природному облику, подвижному песчаному эоловому рельефу и специфичной растительности этот участок представляет собой контраст по отношению к вышеописанному участку.

Песчаные массивы дюнных песков на западном побережье острова Ольхон, как и на всем побережье Байкала, являются уникальным природным явлением, имеющим локальное проявление. Их образование на острове связано с геологической структурой острова, в сочетании с волновыми процессами Байкала и сильными ветрами.

Показатели температуры воздуха и сумма выпадающих осадков за год, приведенные выше по станции Хужир, также ха-

рактерны и для дюнных песков, поскольку они находятся в зоне данной метеостанции. Однако климат дюнных песков имеет специфические экологические черты, которые предопределяют формирование на этой территории нетипичной для Прибайкалья растительности. Таковыми главенствующими факторами являются песчаный субстрат, высокая температура песка, достигающая на его поверхности 50 °С, непрерывно перемещающийся песок, сильный ветер северо-западного направления, переносящий песок с пляжей вглубь острова, и сухостепной климат – они являются лимитирующими климатическими факторами, усиливающими особенности песчаной среды.

Растительность, развивающаяся на дюнных песках, является азональным явлением. Известно, что на формирование сообществ азональной растительности первостепенное влияние оказывает почвенный фактор. В настоящем случае этим фактором является песчаный субстрат дюнных песков.

Территория дюнных песков на острове характеризуются типичным набором эоловых форм. Это дюны, останцы, дефляционные плоскости, котловины, бугры, аккумуляционные валы. Данное разнообразие форм предопределяет пространственную экотопическую неоднородность, обусловливающую размещение фитоценозов на песках, а также их состав и структуру. При этом большое значение имеет не только форма рельефа, но и расположение ее элементов (склонов, гребней), по отношению к господствующему ветру северо-западного направления.

Растительность на песках острова представляют два фитоценотических комплекса лесного и степного типов.

Степной комплекс фитоценозов слагают структуры различных стадий развития, различающиеся между собой общим проективным покрытием. При этом открытые группировки и пионерные поселения растений имеют общее проективное покрытие травостоя – 1–5 %, переходные группировки – 20–40 %, узловые (сложные) сообщества – 40–60 %.

Иерархический ряд степных растительных сообществ, развивающихся на дюнных песках, имеет следующие градации: 1 тип растительности – степной; 1 подтип – песчаные степи; 1 вариант – псаммофитный, 8 – формаций; 8 – ассоциаций; 2 – субассоциации. Ценофлора дюнных песков насчитывает 140 видов сосудистых растений из 39 семейств и 91 рода. Из всего псаммофитного фитоценотического комплекса к категории уникальных раритетных структур отнесено 7 типов.

Лесной комплекс фитоценозов, формирующийся на песках, состоит из двух структур: сосновые остепненные сообщества из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с участием лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и одиночные деревья, и группы деревьев нетипичной жизненной формы.

В едином целом ценофлора степной растительности центральной части острова, включая участки выровненных пространств и прибрежных дюнных песков, от мыса Саса до мыса Ташкай, по нашим данным, насчитывает 250 сосудистых растений, относящихся к 127 родам и 47 семействам. Иерархический ряд фитоценозов, формирующихся на данной территории, имеет следующую структуру: 1 степной тип растительности; 4 подтипа – настоящие, горные, сазовые, песчаные; 1 вариант; 26 формаций; 27 ассоциаций; 2 субассоциации.

Следующие два степных участка, отображающие геоморфологические структурные разновидности, находятся на севере и юге острова. В геоморфологическом отношении эти оконечности острова характеризуются сходным сочетанием форм рельефа умеренной высоты от 495 до 765 м над уровнем моря. Рельеф этих территорий слагается куполообразными формами и коническими грядами горных пород разной высоты, состава (гнейсы, кристаллические сланцы, гранитоиды, мраморы, амфиболиты) и генезиса, чередующимися с суходольными долинами.

Климат участков по данным станций острова Узур (460 м над ур. моря, северная оконечность) и Ташкай (468 м, южная оконечность) характеризуются следующими показателями, соответственно по станциям: средней температурой воздуха июля 12,2 ° и 15,9 °С, января –19,8 ° и –18,4 °С, суммой осадков за год 278 и 203 мм, дефицитом влажности воздуха – 3,7–6,0 мб.

Согласно приведённым данным климат двух территорий, несмотря на схожесть рельефа, сильно различается. Северная оконечность острова, покрытая степью, является наиболее влажной, поскольку она находится в зоне влияния акватории Байкала. Для нее характерны ветры западных румбов, воздушные потоки которых свободно пересекают остров с запада на восток. Для южной оконечности острова, покрытой степью, примечательны самые большие скоро-

сти ветра западных и северо-западных румбов, чем на всем острове.

Разнообразные формы рельефа, различный состав горных пород и особенности температурного и ветрового режимов на рассматриваемых территориях обусловливают формирование гетерогенного (мозаичного) типа горизонтальной структуры растительных сообществ. Вследствие этого пространственная горизонтальная структура фитоценозов на двух участках характеризуется большой пестротой. В их растительном покрове преобладают низкотравные фитоценозы горного подтипа степей, с высотой травостоя 15–20 см. Лишь в северной части острова, в небольших бессточных котловинах, отмечаются высокотравные фитоценозы подтипа настоящие степи. Подчеркнем, что в данной статье фитоценозы северного и южного участков степей не анализируются.

Рассмотрим подробно категории растительных сообществ, обозначенные выше.

Уникальные фитоценозы. К данной категории растительных сообществ отнесены псаммофитные фитоценотические единицы *азонального растительного комплекса,* развивающегося на современных дюнных песках острова. По внутреннему строению, экологическому, флористическому и биоморфному составу и ритмологическим особенностям они разительно отличаются от экстразональных степных сообществ острова и Прибайкалья.

Особенностью внутренней структуры псаммофитных сообществ является их простая организация. Горизонтальная структура фитоценозов характеризуется небольшим числом видов встречающихся на модельной площади. В зависимости от типа сообществ на 100 кв. м насчитывается от 3 до 20 видов растений, что составляет 5–55% от общего числа видов, зарегистрированных в ассоциации. При этом общее число видов растений в разных ассоциациях насчитывается от 28 до 90. Проективное покрытие растений в сообществах разного типа варьирует от 20 до 60%. В экологическом составе сообществ доминируют растения-псаммофиты. Вертикальная структура в сообществах слабо выражена. В большинстве случаев выделяются 2–3 подъяруса с 1–2 доминантами. Подъярусы формируются разными биоморфами.

В общем спектре жизненных форм псаммофитных фитоценозов доминируют многолетние травы, на долю которых приходится 74% состава. При этом максимальная фитоценотическая значимость в организации фитоценотических единиц принадлежит многолетним поликарпическим травам стержнекорневым, корневищным и растениям-куртинкам.

Своеобразием псаммофитного фитоценотического комплекса является наличие реликтовых и эндемичных видов растений, являющихся доминантными, содоминантными и константными. Всего на территории дюнных песков Ольхона установлено 11 типов псаммофитных фитоценозов, образующих 9 ассоциаций и 2 субассоциации. Из общего числа фитоценозов 7 типов отнесено к категории уникальных. Они следующие:

Разнотравно-хамеродосово-тимьяновые. Диагностические виды: из *Thymus baicalensis* Serg. + *Chamaerhodos grandiflora* (Pallas ex Schultes) Bunge + *Festuca rubra* ssp. *baicalensis* (Griseb.) Tzvelev, *Silene jeniseensis* Willd., Stellaria dichotoma L.

Осоково-остролодочниково-тимьяновые. Диагностические виды: *Thymus baicalensis* Serg. + *Oxytropis lanata* (Pallas) DC. + *Carex sabulosa* Turcz. ex Kunth.

Хамеродосовые. Диагностический вид – *Chamaerhodos grandiflora* (Pallas ex Schultes) Bunge.

Остролодочниковые. Диагностический вид – Oxytropis lanata (Pallas) DC.

Леймусовые. Диагностический вид – *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvelev.

Овсяницевые. Диагностический вид – *Festuca rubra ssp. baicalensis* (Griseb.) Tzvelev.

Осоковые. Диагностические виды: *Carex sabulosa* Turcz. ex Kunth + *C. korshinskyi* Kom. + *C. argunensis* Turcz. ex Trev.

В каждом из перечисленных фитоценозов зарегистрировано от 7 до 18 эндемичных и реликтовых видов. Общий список этих элементов по уточненным данным насчитывает 21 вид: *Astragalus olchonensis* Gontsch., *Agropyron distichum* (Georgi) Peschkova, *Artemisia commutata* Bess., *Artemisia ledebouriana* Bess., *Bromopsis korotkiji* (Drobov) Holub, *Chamaerhodos grandiflora* (Pallas ex Schultes) Bunge, *Craniospermum subvillosum* Lehm., *Corispermum ulopterum Fenzl, Deschampsia turczaninowii* Litv., *Festuca rubra* ssp. *baicalensis* (Griseb.) Tzvelev, *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvelev, *Oxytropis microphylla* (Pallas) DC., *Oxytropis turczaninovii* Jurtzev, *Papaver ammophilum* (Turcz.) Peschkova, *Papaver popovii* Sipl., *Patrinia sibirica* (L.) Juss., *Phlojodicarpus sibiricus* (Fischer ex Sprengel) Koso-Pol., Phlox *sibirica* L., *Thymus baicalensis* Serg., *Thymus eravinensis* Serg. , *Thymus pavlovii* Serg.

Следует отметить, что эндемичные и реликтовые виды определены нами по авторитетным флористическим источникам. В списочный состав этих элементов включены виды, относящиеся к ареалам разного объема – узколокальным (остров Ольхон, Прибайкалье) и обширным (Байкальская Сибирь, Якутия, Монголия). Полная информация об этих видах в настоящей статье не приводится.

При обосновании уникальности псаммофитных фитоценозов были рассмотрены стержневые признаки, принципиально отличающие эти структуры от ординарных сообществ Прибайкалья, а также обстоятельства, угрожающие благополучному развитию растений псаммофитов на острове.

Эти признаки следующие. Изолированное развитие псаммофитных сообществ, обусловленное географическим положением острова и его геологической историей. Экологические и структурно-функциональные особенности псаммофитных фитоценозов, формирующихся на дюнных песках острова. Наличие в составе фитоценозов большого числа эндемичных и реликтовых видов. Небольшая общая площадь, занимаемая псаммофитным комплексом сообществ на острове и каждым типом сообществ. Усиление антропогенных процессов, ведущих к разрушению структуры псаммофитных сообществ, обеднению их флористического состава и сокращению числа ассоциаций.

Редкие фитоценозы. Данная категория включает фитоценозы, ценозообразователями которых являются реликтовые виды, редкие в естественноисторическом плане, а также сообщества, развивающиеся на специфических субстратах (глинах и солонцах), имеющих ограниченное распространение на острове.

К названной категории отнесены плаунковые фитоценозы с доминированием реликтового вида, плаунка кровяно-красного – *Selaginella sanguinolenta* (L.) Spring, произрастающего на границе своего ареала. Растение является полукустарничком и ксерофитом.

Плаунковые фитоценозы, относящиеся к подтипу горные степи, небольшими участками, размером от 5 до 100 кв. м, локализуются на склонах широких котловин и высоких холмов. Сообщества имеют один ярус, высокое обилие ценозообразователя и низкое – у сопутствующих видов. Во флористическом составе отмечается от 14 до 23 видов. Общее проективное покрытие плаунка в разных случаях колеблется от 40 до 80 %, у сопутствующих видов от 1 до 16 %.

К категории редких фитоценозов также отнесены монодоминантные чиевые фитоценозы, ценозообразователем которых является реликтовый вид, галоксерофит чий блестящий – *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski. По мнению исследователей, чий блестящий, современные сообщества которого образуют чиевую формацию, исторически связан с саваноидными сообществами, поучившими развитие в неогене. На Ольхоне фитоценозы этого вида формируются на солонцах верхнеплиоценовых кор выветривания. Этот тип сообществ относится к подтипу сазовые степи.

Чий блестящий является плотнокустовым, крупнодерновинным растением, образующим травостой высотой до 150 см. Между его высокими и широкими дерновинами произрастают низкорослые растения в числе 7–10 видов.

Реликтовые виды *Achnatherum splendens* и *Selaginella sanguinolenta u* формируемые ими сообщества являются ценными объектами для филогенетической систематики, изучающей эволюционные взаимоотношения между разными видами. В настоящее время, в связи с усилением хозяйственной деятельности человека на острове, местообитания сообществ этих древних видов стремительно сокращаются.

К категории редких сообществ также причислены структуры подтипа настоящие степи, формирующиеся на глинах, иногда засоленных. Это щучковые сообщества, ценозообразователем которых является галоксерофит *Deschampsia sukatschewii* (Popl.) Roshev. и ячменевые сообщества, ценозообразователем которых является галоксерофит *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link.

Сообщества – монодоминантные. Они формируются в избыточно увлажненных понижениях блюдцеобразной формы небольших размеров (от 100 до 400 кв. м). Растения-ценозообразователи относятся к короткокорневищным рыхлодерновинным биоморфам, образующим в сообществах одноярусные травостои высотой 50–70 см с общим проективным покрытием 70–80 %. Общий состав видов в этих фитоценозах скудный. В каждом из них зарегистрировано 5–7 видов приземистых растений.

Щучковые и ячменевые сообщества имеют локальное распространение. В сухие по увлажнению годы их местообитания обсыхают, отчего глинистый субстрат рас-

трескивается. В этот период растения-доминанты образуют низкорослые травостои, еле заметные в растительном покрове степей, или исчезают вовсе. В благоприятные по увлажнению годы эти виды растений обычно восстанавливают свой травостой. В неблагоприятный период местообитания этих сообществ смотрятся серыми пятнами, лишенными растений. В этот период они становятся наиболее уязвимыми, поскольку покоящиеся в грунте семена растений и корневища интенсивно вытаптываются.

Типичные фитоценозы. К этой категории причислены фитоценотические единицы экстразональных степных формаций Прибайкалья, доминирующие в степном пространстве острова. Их представители обладают характерными структурно-функциональными признаками, присущими степным растениям и фитоценозам зональных степей. В соответствии с отмеченными особенностями данная категория фитоценозов имеет биогеоценотическое значение и эталонное.

К данным структурам отнесены степные сообщества следующих типов: типчаковые из *Festuca lenensis* Drobov, колосняковые из *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev*),* пырейниковые из *Elymus transbaicalensis* (Nevski) Tzvelev, *El. gmelinii* (Ledeb.) Tzvelev и крупно-разнотравные полидоминантные из *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Kom., *Artemisia pubescens* Ledeb., *Astragalus inopinatus ssp. oreogenus* Boriss.

Флористический состав перечисленных фитоценотических единиц насчитывают от 67 до 119 видов. В экологическом отношении в фитоценозах превалируют растения ксерофитной экологии: эуксерофиты, ксерофиты и мезоксерофиты. Сообщества рассматриваемой категории имеют хорошо выраженную вертикальную структуру, состоящую из двух-трех ярусов, основными строителями которых являются многолетние травы, полукустарнички, полукустарники, редко кустарники. Высота вертикального профиля травостоя колеблется от одного десятка сантиметров до 1 м. В зависимости от флористического состава фитоценозы имеют довольно значительное общее проективное покрытие от 50 до 90 %. Пространственная горизонтальная структура этих сообществ имеет гомогенный тип.

Фитоценозы, отнесенные к категории типичные, занимают на острове обширные пространства. Вследствие этого в степной экосистеме острова они играют ведущую роль в процессах взаимодействия растительности и окружающей среды, обеспечивая устойчивость всем ее компонентам и степному ландшафту в целом. Кроме того, аспект доминирующих растений этих сообществ, отражающий сезонное состояние растений, создает ольхонской степи неповторимый облик в любое время года.

Кроме перечисленных трех категорий раритетных степных сообществ, нуждающихся в опеке, нами выделена еще одна категория природных объектов – достопримечательные деревья Ольхона. К ней отнесены отдельные деревья сосны обыкновенной и лиственницы сибирской, произрастающие на дюнных песках острова. Одни из них являются памятниками живой природы федерального значения, другие из-за необычных внешних форм являются уникальными природными объектами. Необычные по облику формы сосны и лиственницы являются экологическими модификациями. В результате анализа модификаций нами было установлено 10 их разновидностей, такие как флагообразная, кустовидная, шатровая и другие. Деревья на дюнных песках острова имеют культурную, историческую и научную ценность для Байкальской природной территории и для Российской Федерации. Подобные объекты природы в нашей стране до сих пор остаются малоизученными.

Заключение

В результате проведенного исследования была решена задача инвентаризации раритетных степных фитоценозов на острове Ольхон, нуждающихся в защите. Из всего многообразия степного фитоценотического комплекса центральной части острова были выявлены особенные сообщества, обозначенные как уникальные, редкие и типичные, отличающиеся от прочих по структуре, составу и качеству местообитания.

В целях поддержания биоразнообразия и сохранения фитоценофонда на территории острова Ольхон необходимо предусмотреть способы защиты фитоценозов раритетных категорий. В местах произрастания особенных фитоценозов предлагается регулирование числа посетителей для уменьшения рекреационной нагрузки. Создание зон покоя. Мониторинг экотопов фитоценозов. Обращение к правительству области с предложением об учреждении регионального закона по охране деревьев живых памятников природы федерального значения и ценных ботанических объектов (особенных фитоценозов).

Список литературы / References

1. Касьянова Л.Н. Растительность современных дюнных песков острова Ольхон на Байкале // Успехи современного естествознания. 2015. № 4. С. 123–128.

Kasyanova L.N. Vegetation of modern sandy dunes island Olkhon on lake Baikal // Advances in current natural sciences. 2015. № 4. P. 123–128 (in Russian).

2. Касьянова Л.Н, Азовский М.Г. Степная растительность выровненных пространств острова Ольхон (озеро Байкал) // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 153–162.

Kasyanova L.N., Azovsky M.G. The steppe vegetation of aligned spaces on the Olkhon island (lake Baikal) // Advances in current natural sciences. 2016. № 3. P. 153–162 (in Russian).

3. Зверев А.А. Методика коррекции фитоиндикационных шкал с использованием системы IBIS // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии: материалы Всероссийской научной конференции (Иркутск, 15–19 сентября 2010 г). Иркутск: Изд-во института географии СО РАН, 2010. P. 666–669.

Zverev A.A. Technique of correction of indicator scales using ibis software // Problems of studying and preserving the plant world of Eurasia: materials of the All-Russian Scientific Conference (g. Irkutsk, September 15–19, 2010g.). Irkutsk: Izd-vo Institute of Geography SB RAS, 2010. P. 666–669 (in Russian).

4. Ликсакова Н.С., Сорокина И.А. Редкие растительные сообщества на проектируемых для охраны территориях на востоке Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102. № 2. С. 232–248. DOI: 10.1134/S0006813617020089.

Liksakova N.S., Sorokina I.A. Rare plant communities in projected areas for protection in the east of the Leningrad region // Botanical Journal. 2017. № 2. P. 232–248 (in Russian).

5. Крайнюк Е.С., Смирнов В.О. Флора ландшафтно-рекреационного парка «Мыс Такиль» в Крыму // Экосистемы. 2017. № 9. С. 3–11.

Kraynyuk E.S., Smirnov V.O. Flora of landscape and recreational park «Cape Takil» in the Crimea // Ecosystems. 2017. № 9. P. 3–11 (in Russian).

6. Гаркуша Л.Я., Багрова Л.А. Состав, структура и современное экологическое состояние «Дубков» лесостепного пояса предгорного Крыма // Экосистемы. 2012. № 6. С. 62–75.

Garkusha L.Ya., Bagrova L.A. Composition, structure and current ecological status of the «Dubkov» of the forest-steppe belt of the foothill Crimea // Ecosystems. 2012. № 6. P. 62–75 (in Russian).

УДК 66.061.34:579.66

ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ХЕМОЛИТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Киореску А.В.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: kioresku88@gmail.com

В России и за рубежом в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к истощению запасов богатой и легкообогатимой руды. В связи с этим все большее внимание уделяется технологии бактериально-химического выщелачивания ценных компонентов из упорного и низкосортного минерального сырья. Несмотря на все преимущества перед традиционными пиро- и гидрометаллургическими методами обогащения, технология биовыщелачивания имеет существенный недостаток, который заключается в неспособности микроорганизмов создавать достаточно агрессивные условия для эффективной деструкции минеральных комплексов. В статье представлены результаты проведенного эксперимента, целью которого являлось изучение воздействия микроволнового излучения на окислительную активность смешанной культуры хемолитотрофных микроорганизмов, выделенных из сульфидной полиметаллической руды месторождения Шануч (Камчатка). В качестве источника излучения использовалась бытовая СВЧ-печь с частотой излучения 2,45 ГГц и мощностью 900 Вт. Облучение проводилось каждые сутки на протяжении всего эксперимента. Длительность воздействия равнялась 5 и 10 с. Было установлено, что при всех исследуемых режимах СВЧ-облучения численность свободноплавающих микроорганизмов увеличивается более чем в два раза, по сравнению с контрольными образцами, которые не подвергались облучению. Также выявлено повышение скорости окисления Fe^{2+} бактериальной культурой при воздействии на них микроволновым излучением. Лучшие результаты наблюдались в экспериментальной группе, где облучение длительностью в 5 с проводилось дважды в сутки с интервалами в 12 ч. В этих колбах было окислено на 15% двухвалентного железа больше, по сравнению с контрольным образцом. Результаты проведенного исследования позволяют оценить перспективы применения новых методов биотехнологии в промышленной практике переработки рудного сырья с улучшением качественных показателей.

Ключевые слова: биовыщелачивание, хемолитотрофы, СВЧ, микроволны, биогеотехнология

CHANGE OF OXIDATIVE ACTIVITY OF CHEMOLITOTROPHIC MICROORGANISMS UNDER THE IMPACT OF MICROWAVE RADIATION

Kioresku A.V.

Geotechnological Scientific Research Centre, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: kioresku88@gmail.com

Recently, in Russia and abroad there is a steady tendency of ore depletion of reserves of rich and easily-rich ore. In this regard, more and more attention is paid to the technology of bioleaching of valuable components from resistant and low-grade mineral raw materials. Despite all the advantages over traditional pyro- and hydrometallurgical enrichment methods, the bioleaching technology has a significant drawback, which lies in the inability of microorganisms to create sufficiently aggressive conditions for effective destruction of mineral complexes. The article presents the results of the experiment, the purpose of which was to study the effect of microwave radiation on the oxidative activity of a mixed culture of chemolithotrophic microorganisms isolated from sulphide ore from the Shanuch deposit (Kamchatka). As a radiation source, a microwave oven (2.45 GHz, 900 W) was used. Irradiation was carried out every day throughout the experiment. The exposure duration was 5 and 10 seconds. It was found that in all the studied modes of microwave irradiation, the number of free-floating microorganisms is more than twofold compared with control samples that are not exposed to radiation. An increase in the rate of oxidation of Fe^{2+} by a bacterial culture was also revealed while exposing to microwave radiation. The best results were observed in the experimental group, where irradiation with a duration of 5 seconds was carried out twice a day at intervals of 12 hours. In these flasks the ferrous iron was oxidized by 15% more, as compared with the control sample.

Keywords: bioleaching, chemolithotrophs, microwave, microwaves, biogeotechnology

В настоящее время биовыщелачивание является реальной альтернативой традиционным пиро- и гидрометаллургическим методам обогащения минерального сырья. Технология бактериально-химического выщелачивания представляет экономические, экологические и эксплуатационные преимущества из-за ее надежности и минимального использования химических веществ во время процесса [1].

Принцип биовыщелачивания основан на растворении металлов окисляющими агентами, которые продуцируют хемолитотрофные микроорганизмы. Бактерии, наиболее активные в биовыщелачивании, относятся к роду *Thiohacillus*. Это грамотрицательные, неспорообразующие палочки, которые растут в аэробных условиях. Большинство тиобацилл являются хемолитоавтотрофными видами, которые способны окислять

двухвалентное железо и серу, а высвободившуюся при этом энергию используют для усвоения углерода из углекислого газа. Наиболее распространенными видами бактерий, используемых в промышленности, являются *Acidithiobacillus caldus, Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidithiobacillus ferrivorans, Leptospirillum ferrooxidans и Acidithiobacillus thiooxidans* [2].

Бактериальная активность способствует солюбилизации металлов двумя основными механизмами: прямым и косвенным. При прямом механизме между бактериальной клеткой и поверхностью минерала образуется физический контакт, а окисление происходит с помощью ферментативно катализируемых реакций. Бесконтактный механизм представляет собой процессы окисления минеральных комплексов трехвалентным железом, которые продуцируют бактерий.

Несмотря на все преимущества, технология биовыщелачивания имеет существенный недостаток, заключающийся в высокой продолжительности технологического процесса. Причиной этому является слабая кинетика окислительно-восстановительных реакций, проходящих с участием микроорганизмов. В связи с этим поиск и изучение способов интенсификации окислительной активности хемолитотрофных микроорганизмов является актуальной задачей на сегодняшний день. В научных исследованиях наиболее распространенными методами воздействия на процессы роста бактериальных клеток и выработку ими ферментов является использование волновых излучений, таких как ионизирующее излучение, микроволновое излучение, УФ, инфракрасное излучение и ультразвук [3].

Целью данного исследования являлось исследование биологических откликов железо- и сероокисляющих микроорганизмов на воздействие микроволнового излучения при разных режимах облучения.

Долгое время считалось, что биологический эффект СВЧ-излучения проявляется вследствие локального нагрева за счет выделения тепла от трения молекул. Однако в последние годы было показано, что биологический отклик проявляется и при сверхмалых интенсивностях электромагнитного излучения, когда средний по объему нагрев тканей не является определяющим или пренебрежимо мал. Такие эффекты получили названия нетепловых или «специфических» [4].

В обзорной статье [5] приводятся сведения об изменениях в структуре ДНК, биологической мембраны и белков под действием микроволнового излучения низкой интенсивности. Изменения в генетическом аппарате оказывают влияние на экспрессию определенных генов, что выражается в изменениях продукции функциональных элементов – РНК и белков. Изменения в биологической мембране при воздействии микроволн способствуют изменению транспорта веществ между клеткой и окружающей средой. Изменения на молекулярном уровне способствуют проявлению нетепловых эффектов на более высоких уровнях организации живой материи. Ввиду этого исследования биологических откликов на воздействие микроволнового излучения вызывают научный интерес по сей день.

Материалы и методы исследования

Бактериальная культура

В эксперименте была использована культура хемолитотрофных ацидофильных микроорганизмов, выделенных из образца сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатка). По данным ПЦР-диагностики, в состав данного сообщества входят *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *A. thiooxidans*, *Sulfobacillus* sp [6].

Культивирование

Эксперимент был проведен в колбах Эрленмейера на 250 мл, содержащих 100 мл питательной среды 9К с добавлением Fe (II). Концентрация двухвалентного железа составляла 10 г/л. Колбы располагались на качалке (90 об/мин) в термостате, при постоянной температуре 28 °С. Каждые сутки на протяжении всего эксперимента определялось общее количество микроорганизмов методом прямого подсчета под микроскопом (МИКРОМЕД 3) и определялась степень окисления двухвалентного железа методом визуального колориметрического титрования. Также производилось измерение параметра pH и окислительно-восстановительного потенциала среды. Эксперимент проводился в трех повторах.

Процесс облучения СВЧ

Облучение проводилось в СВЧ-печи. Частота излучения составляла 2,45 ГГц, мощность 900 Вт. Во время облучения изменение температуры раствора не превышало 2 °С. Для проведения эксперимента были сформированы три экспериментальные группы:

СВЧ 5(I) – колбы подвергались облучению один раз в сутки. Время воздействия равнялось 5 с.

СВЧ 5 (II) – колбы подвергались облучению два раза в сутки. Время воздействия равнялось 5 с.

СВЧ 10 (I) – колбы подвергались облучению в течение 10 с один раз в сутки.

В качестве контроля служили колбы, не подвергаемые воздействию микроволнового излучения. Выбор параметров облучения обусловлен результатами проведенных ранее исследований [7].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента было установлено, что воздействие микроволн способствует повышению железоокислительной активности хемолитотрофных микроорганизмов (рис. 1, 2).

Наилучшие показатели окисления железа регистрировались в колбах, облучение которых происходило в течение пяти секунд, дважды в сутки, с интервалами в 12 ч. К концу эксперимента в этой экспериментальной группе было окислено 96 % двухвалентного железа, в то время как в контрольном образце лишь 81 % (рис. 3).

Воздействие СВЧ-излучения раз в сутки в течение 10 с также способствовало повышению окислительной активности бактерий, но менее выражено, чем в группе СВЧ 5 (II). К концу эксперимента в этих колбах было окислено 89 % двухвалентного железа.

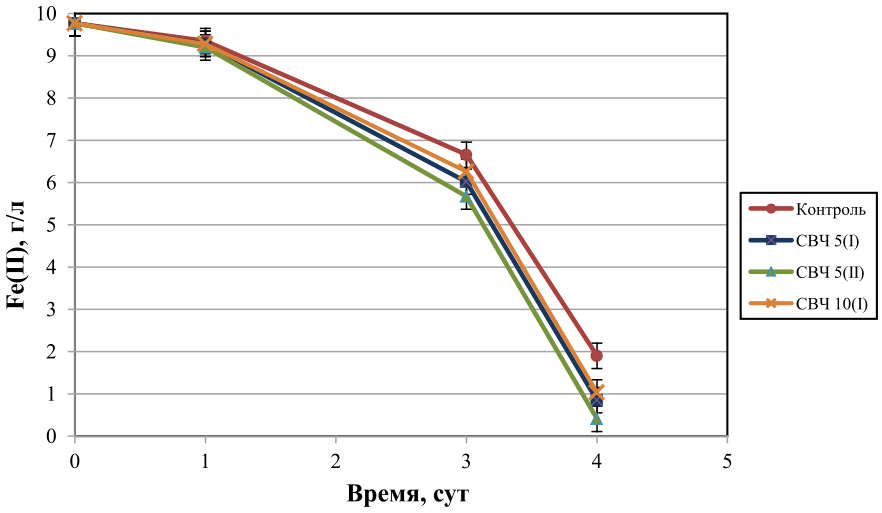


Рис. 1. Изменение концентрации двухвалентного железа в разных экспериментальных группах

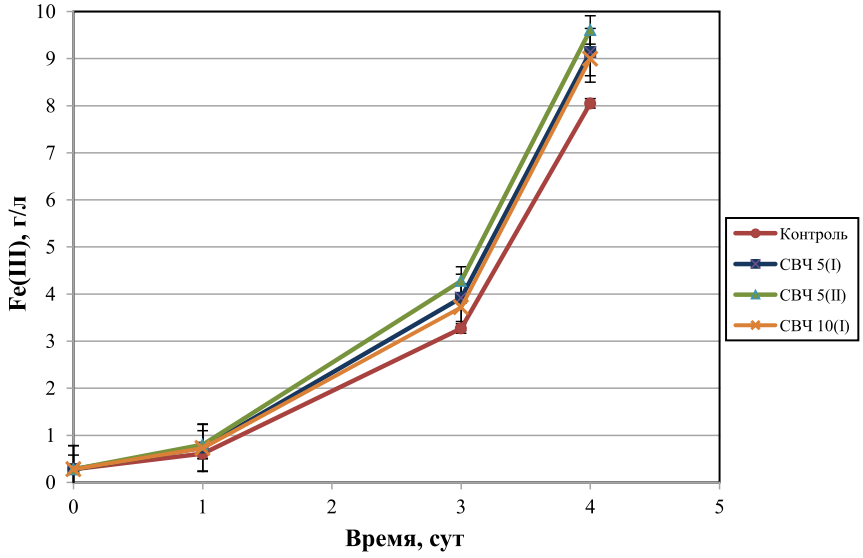


Рис. 2. Изменение концентрации трехвалентного железа в разных экспериментальных группах

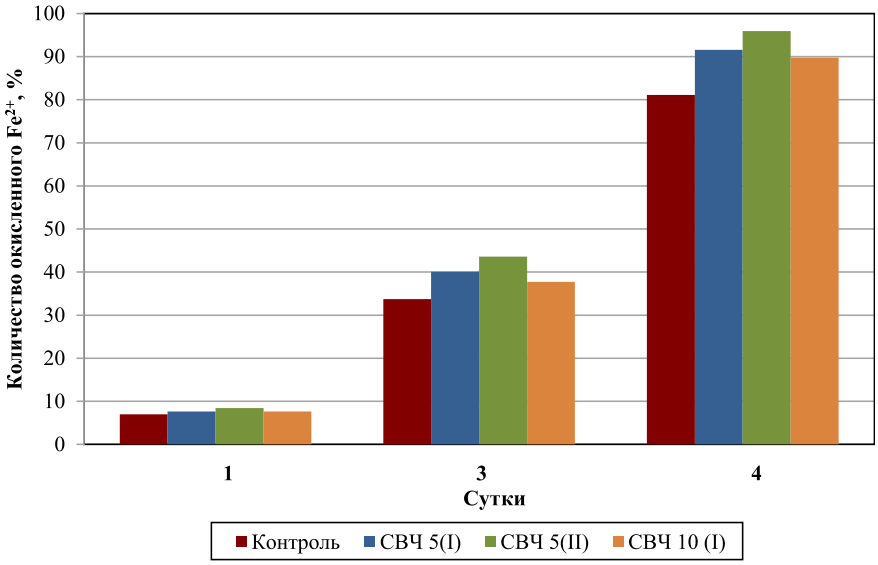


Рис. 3. Изменение процентного соотношения количества окисленного железа в разных экспериментальных группах

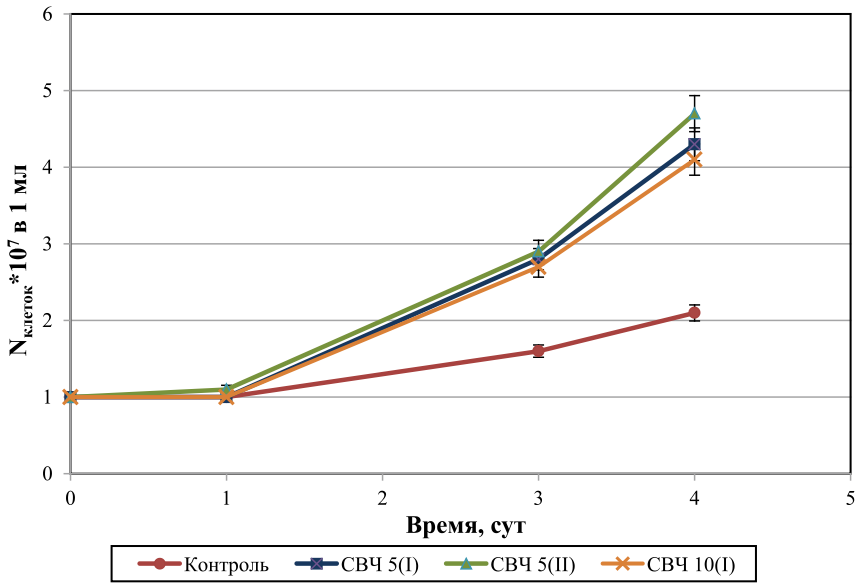


Рис. 4. Изменение численности свободноплавающих микроорганизмов в разных экспериментальных группах

Количество окисленного железа в экспериментальной группе СВЧ 5 (I) составило 92%, что несколько больше, чем при десятисекундном облучении. По всей видимости, эффект связан с повреждениями, вызванными локальным нагревом, при воздействии СВЧ в течение 10 с.

На рис. 4 изображен график изменения численности свободноплавающих микроорганизмов в разных экспериментальных группах. Видно, что воздействие микроволнового излучения при любых режимах облучения приводит к значительному повышению численности планктонных форм микроорганизмов. Данный эффект можно объяснить изменением механизмов адгезии в облученных клетках. В работе [8] на примере грамположительных бактерий продемонстрирована зависимость силы адгезии от параметров СВЧ-облучения.

Наибольшая концентрация клеток была зарегистрирована в экспериментальной

группе СВЧ 5 (II) и равнялась $(4,7 \pm 0,2) \cdot 10^7$ клеток в одном миллилитре раствора, что превосходит значения в контрольном образце более чем в два раза. Количество клеток в контроле равнялось $(2,1 \pm 0,1) \cdot 10^7$ мл$^{-1}$.

Концентрация бактериальных клеток в миллилитре раствора в группах СВЧ 5 (I) и СВЧ 10 (I) равнялась $(4,1 \pm 0,2) \cdot 10^7$ и $(4,3 \pm 0,2) \cdot 10^7$ соответственно.

Заключение

В ходе проведенного эксперимента было установлено, что воздействие СВЧ-излучения на смешанную культуру хемолитотрофных микроорганизмов способствует повышению их окислительной активности. Наиболее выраженный результат был зарегистрирован в колбах, облучение которых проводилось дважды в сутки, а продолжительность воздействия составляла 5 секунд. В этой экспериментальной группе концентрация окисленного железа была на 15% выше, по сравнению с контрольными образцами, которые не подвергались облучению.

Список литературы / References

1. Киореску А.В. Особенности воздействия микроволнового излучения на ацидофильные хемолитотрофные бактерии с целью интенсификации бактериально-химического выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S63. С. 340–346.

Kioresku A.V. Features of the effect of microwave radiation on acidophilic chemolithotrophic bacteria in order to conduct bioleaching // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2015. № S63. P. 340–346 (in Russian).

2. Johnson D.B. Development and application of biotechnologies in the metal mining industry, Environ. Sci. Pollut. Res. 2013. vol. 20. no. 11. P. 7768–7776. DOI: 10.1007/s11356-013-1482-7.

3. Xia L.X., Zeng J., Ding H.L., Yang Y., Zhang B., Liu J.S., Qiu G.Z. Comparison of three induced mutation methods for Acidiothiobacillus caldus in processing sphalerite. Minerals Engineering. 2007. vol. 20. no. 14. P. 1323–1326. DOI: 10.1016/j.mineng.2007.07.010.

4. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы // Наука в России. 2005. № 6. С. 13–19.

Betsky O.V., Lebedeva N.N. Millimeter waves and living systems // Nauka v Rossii. 2005. № 6. P. 13–19 (in Russian).

5. Francesca Apollonio, Micaela Liberti, Alessandra Paffi, Guglielmo D'Inzeo. Feasibility for microwaves energy to affect biological systems via nonthermal mechanisms: a systematic approach. IEEE Transactions on microwave theory and techniques. 2013. vol. 61. no. 5. P. 2031–2045. DOI: 10.1109/TMTT.2013.2250298.

6. Рогатых С.В., Докшукина А.А., Левенец О.О., Мурадов С.В., Кофиади И.А. Оценка качественного и количественного состава сообществ культивируемых ацидофильных микроорганизмов методами ПЦР-РВ и анализа библиотеки клонов // Микробиология. 2013. № 2. С. 212–217. DOI: 10.7868/S0026365613010138.

Rogatykh S.V., Levenets O.O., Muradov S.V., Dokshukina A.A., Kofiadi I.A. Evaluation of quantitative and qualitative composition of cultivated acidophilic microorganisms by real-time PCR and clone library analysis // Microbiology (Mikrobiologiya). 2013. T. 82. № 2. P. 210–214. DOI: 10.1134/S002626171301013X.

7. Киореску А.В. Влияние продолжительности предварительного облучения СВЧ-волнами культуры хемолитотрофных микроорганизмов на эффективность процессов биовыщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S32. С. 237–247. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-32-237-247.

Kioresku A.V. The influence of the duration of preliminary irradiation with microwave waves of a culture of chemolithotrophic microorganisms on the efficiency of bioleaching processes // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2017. № S32. P. 237–247 (in Russian).

8. Антушева Т.И. Влияние ультразвука и электромагнитных волн миллиметрового диапазона на адгезивные свойства c. Diphtheriae // Успехи современного естествознания. 2014. № 3. С. 48–52.

Antusheva T.I. The effect of ultrasound and millimeter-wave electromagnetic waves on adhesive properties c. Diphtheriae // Modern problems of science and education . 2014. № 3. P. 48–52 (in Russian).

УДК 504.453:574.633:631.452

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП В УСЛОВИЯХ КЕРЖЕНСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

[1]Козлов А.В., [2]Кораблева О.В., [1]Акафьева Д.В., [1]Воронцова А.А.

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru;
[2]ФГБУ «Государственный природный биосферный заповедник «Керженский», Нижний Новгород, e-mail: o-korableva@mail.ru

В работе дана рекогносцировочная оценка геоэкологического состояния речной воды реки Керженец и почвенного покрова туристических троп, территориально примыкающих к границе Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». В осенний период 2017 г. исследованию подвергалась вода из реки на определение ее жесткости, общей минерализации и кислотности, а также концентраций железа общего, аммонийного азота, хлоридов, фосфатов и сульфатов с последующей оценкой естественного содержания приоритетных экотоксикантов и гидробиологических показателей водоема – перманганатной окисляемости, содержания растворенного кислорода и его биологического потребления. Почвенный покров был обследован по основным показателям естественного плодородия (обменная кислотность, гумусированность, содержание доступных форм азота и фосфора) и по изменениям в концентрациях подвижных соединений тяжелых металлов и нефтепродуктов. В ходе проведенных исследований было установлено, что почвенный покров характеризуется средне- и слабокислой реакцией, низкой гумусированностью, низкой обеспеченностью элементами питания естественных фитоценозов и очень низким содержанием подвижных форм цинка, кадмия, свинца и меди, что является типичным признаком почв подзолистого ряда. Речная вода обладает нейтральным и слабощелочным водородным показателем, достаточно высоким уровнем цветности и мутности, а также низкой степенью минерализации и общей жесткости. Катионно-анионный состав однороден по точкам отбора и отличается несколько повышенным уровнем в содержании общего железа. Содержание приоритетных экотоксикантов (тяжелые металлы и нефтепродукты) в воде находится на низком уровне и не превышает допустимых значений эколого-санитарных норм. Гидробиологическое состояние водоема в целом характеризуется как приемлемое за счет среднего содержания растворенного кислорода и $БПК_n$, а также за счет достаточно высоких значений перманганатной окисляемости воды. Поскольку река Керженец является экологически значимым региональным природным объектом, нужно сказать, что местная территория не испытывает существенных воздействий со стороны техногенеза и характеризуется благополучным состоянием.

Ключевые слова: вода реки Керженец, почвенный покров туристических троп, естественное плодородие, гидрохимия, гидробиология, экотоксикологический статус, геоэкологическая оценка территории

RECONNOITRING ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL STATE OF RIVER WATER AND SOIL COVER OF TOURIST TRACKS IN CONDITIONS OF THE KERZHENSKY TERRITORY

[1]Kozlov A.V., [2]Korableva O.V., [1]Akafeva D.V., [1]Vorontsova A.A.

[1]Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru;
[2]National natural biospheric park «Kerzhensky», Nizhny Novgorod, e-mail: o-korableva@mail.ru

In work reconnoitering assessment of geoecological condition of river water of the Kerzhenets River and soil cover of tourist tracks which are territorially adjoining border of the National natural biospheric park «Kerzhensky» is given. During autumn period of 2017 water from river on determination of her rigidity, general mineralization and acidity and also concentration of iron of general, ammoniphycal nitrogen, chlorides, phosphates and sulfates with subsequent assessment of natural maintenance of priority ecotoxicant and hydrobiological indicators of reservoir – permanganate oxidability, content of dissolved oxygen and its biological consumption was exposed to research. Soil cover has been surveyed on key indicators of natural fertility (exchange acidity, gumus, maintenance of available forms of nitrogen and phosphorus) and on changes in concentration mobile compounds of heavy metals and oil products. During conducted researches it has been established that soil cover is characterized by average and subacidic reaction, a low gumus maintenance and low supply of batteries of natural phytocoenosis and very low maintenance of mobile forms of zinc, cadmium, lead and copper, that is typical sign of soils of podsolic row. River water possesses a neutral and alkalescent hydrogen indicator, rather high level of chromaticity and turbidity and also low degree of mineralization and general rigidity. Cationic and anionic structure is uniform in points of selection and differs a little increased level in content of general iron. Maintenance of priority ecotoxicant (heavy metals and oil products) is in water at low level and doesn't exceed admissible values of ecological-sanitary standards. Hydrobiological condition of reservoir in general is characterized as accepted at expense of average content of dissolved oxygen and BCO_n and also at expense of enough high values of permanganate oxidability of water. As the Kerzhenets River is ecologically significant regional natural object it is necessary to tell, that local territory of her course doesn't experience essential influences from a tehnogenesis and is characterized by a safe state.

Keywords: Kerzhenets River water, soil cover of tourist tracks, natural fertility, hydrochemistry, hydrobiology, ecotoxicological status, geoecological assessment of territory

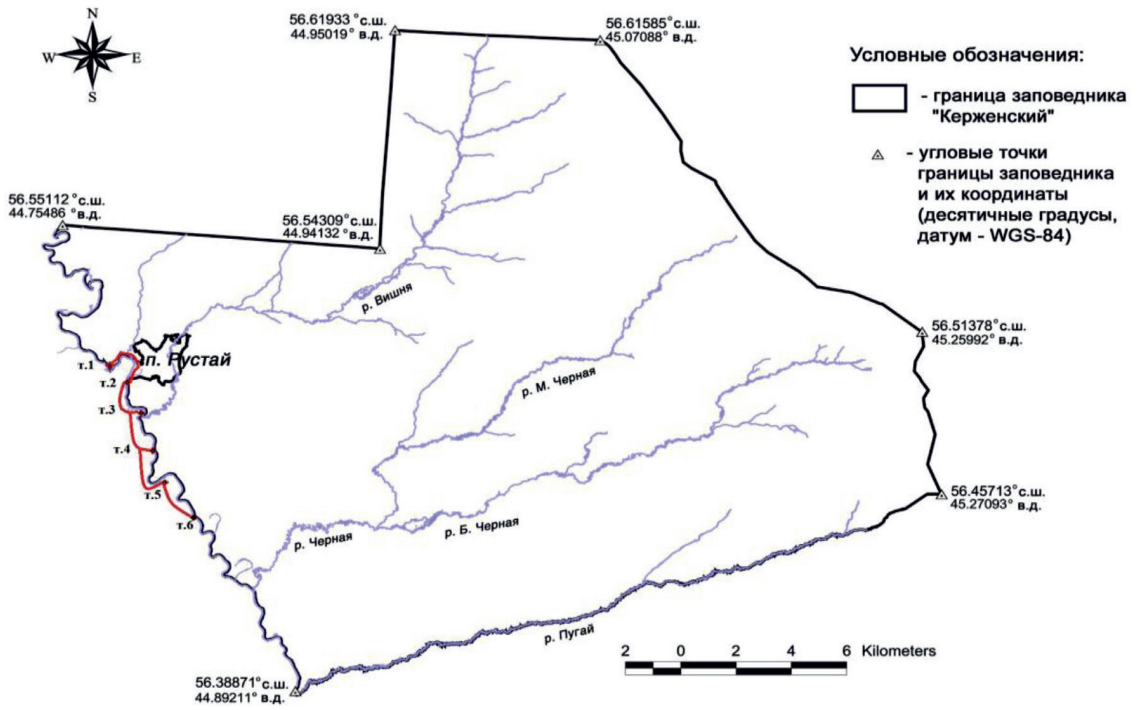
Вследствие распространенного загрязнения компонентов окружающей среды со стороны промышленности, сельского хозяйства, различных видов транспорта и мест размещения отходов неуклонно возрастает их воздействие на сопредельные природные экосистемы [1, 2]. По этим причинам в современном экологическом мониторинге актуализирована оценка состояния природных объектов как индикаторов экологической обстановки на региональном уровне [3–5]. Наряду с гео- и биоэкологической значимостью естественных объектов природы они служат прототипами исконных биогеоценозов и определяют глобальную функцию стабилизации биогеохимических превращений в системе «биотоп – экотоп». По этим и другим причинам природные территории, максимально сохраняющие свой естественный облик [6, 7], необходимо подвергать мониторинговым изысканиям в разрезе их реального экологического статуса.

В научной литературе как фундаментальными [8, 9], так и современными [1] экологическими принципами определяется, что природные компоненты необходимо подвергать геоэкологическому исследованию вне зависимости от ландшафтного ареала и уровня правовой принадлежности. В частности, одним из методических подходов к оценке качества и геоэкологической устойчивости почвенного покрова и местных водоемов является анализ изменения показателей естественного плодородия и уровня загрязненности почв, а также анализ гидрохимических и гидробиологических показателей акваторий.

Целью данной работы явилась рекогносцировочная (предварительная) оценка геоэкологического состояния речной воды и почвенного покрова туристических троп Керженской территории на основе показателей естественного плодородия и уровня загрязненности их почвенного покрова, а также на основе анализа показателей гидрохимического и биохимического состояния воды части акватории реки Керженец.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явилась вода части реки Керженец и почвенный покров туристической тропы, расположенной вдоль правого берега реки Керженец в Борском муниципальном районе Нижегородской области, примыкающего и образующего с юго-западной стороны природную границу с территорией Государственного природного биосферного заповедника «Керженский» [10].



Картосхема географического расположения точек отбора проб почвы и воды на территории реки Керженец

Отбор проб для проведения оценки геоэкологического состояния природных объектов с туристических стоянок проводился 19 октября 2017 г. Начало описываемой территории (точка 1) находилось в непосредственной близости от поселка Рустай, окончание – рядом со стационарной организованной туристической стоянкой (точка 6). Общая длина пути составила 13 км, среднее расстояние между точками варьировало от 2,0 до 2,5 км (рисунок).

Для оценки состояния почвенного покрова и воды реки было произведено описание природно-территориального комплекса (ПТК) на территории, на основании чего была составлена природно-рекреационная характеристика шести туристических стоянок: № 1 «Рыбацкая», № 2 «Ивовая», № 3 «Обеденная», № 4 «Дро́говая», № 5 «Лагуна» и № 6 «Комфортабельная». Почвенный покров территории представлен комплексом подзолистых и дерново-подзолистых почв песчаного, супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава, образованных на флювиогляциальных и покровных отложениях [11]. Отбор проб почвы проводился общепринятыми нормативными методами по ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84 при помощи бура-пробоотборника Эйдельмана, отбор проб воды – по ГОСТ 17.1.5.05-85 и ГОСТ 17.1.5.04-81 при помощи батометра гидрологического БГ-1,0.

Лабораторный анализ проб воды и почвы проводился в «Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды» при Мининском университете по основным агрохимическим, экотоксикологическим показателям. В образцах почвы определяли обменную кислотность потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85, содержание органического вещества (гумуса) спектрофотометрическим методом по ГОСТ 26213-91, содержание подвижных соединений фосфора и нитратной формы азота спектрофотометрическими методами соответственно по ГОСТ Р 54650-2011 и ГОСТ 26488-85, а также содержание подвижных соединений тяжелых металлов инверсионно-вольтамперометрическим методом на полярографе ТА-Lab в соответствии с ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06 (границы, в которых находится погрешность методики (точность), составляет ±30 %).

Анализ образцов воды также проводился по основным гидрохимическим и гидробиологическим показателям [12] в соответствии с общепринятыми стандартизированными методиками. Водородный показатель воды определялся потенциометрическим методом, минерализация – кондуктометрией, общая жесткость – титриметрическим методом. Определение содержания общих фосфатов, общего железа, а также нитратного и аммонийного азота в воде проводилось спектрофотометрическим методом, содержание сульфатов – йодометрическим, а хлоридов – аргентометрическим титрованием.

Биохимическое состояние водоема оценивалось по содержанию растворенного кислорода (метод йодометрического титрования по Винклеру); химическое потребление кислорода определялось по перманганатной окисляемости воды, биологическое потребление кислорода – скляночным методом с термостатированием при +20 °С в течение 7 суток.

Статистическая обработка выполнялась с помощью вариационного анализа данных в программе Excel; аналитическая повторность в опытах трехкратная.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные табл. 1 отражают уровень естественного плодородия почвенного покрова с исследованных туристических стоянок. В результате проведенных исследований было установлено, что в целом почвы характеризовались очень низким уровнем гумусированности за исключением почвы в точках I и V, где содержание гумуса находилось на среднем уровне. По степени кислотности встречались среднекислые (точки II и III) и слабокислые (точки I и VI) почвы, а в отдельных случаях (точки IV и V) почва оказалась сильнокислой. Данная пестрота показателей обусловлена сильным перемежением почвенных разностей с различной степенью выраженности дернового и подзолообразовательного почвообразующих процессов.

Содержание в почвах туристических стоянок как подвижных соединений фосфора, так и нитратной формы азота находилось на крайне низком уровне (менее 51 мг/кг по P_2O_5 и менее 8,1 мг/кг по NO_3^-), что также обусловлено изначальным естественным генезисом почв подзолистого ряда.

Содержание подвижных соединений тяжелых металлов в почвенном покрове (табл. 2) не отличалось выраженной вариабельностью (не более 10 %) по точкам отбора и в целом оказалось на низком геохимическом уровне, что, по-видимому, обусловлено региональными особенностями

данной местности, отсутствием явных антропогенных источников привнесения тяжелых металлов в почву и генезисом почв подзолистого ряда.

По отдельным точкам прослеживалось некоторое завышение содержания цинка (точка III и VI), свинца (точка VI) и кадмия (точка II), но в целом по уровню содержания ни один из показателей не вышел за пределы установленных санитарно-экологических норм.

Суммарное содержание нефтепродуктов в почвах сохранялось на уровне целых единичных чисел и в несущественной степени (не более чем на 10–11 %) варьировало между точками отбора проб. Несмотря на отсутствие в нормативно-правовой литературе федерального уровня установленных предельно допустимых норм на общее содержание нефтепродуктов в почвах, известно [13, 14], что регионально устанавливаемые пороги концентраций данных экотоксикантов лежат в диапазоне граммов на килограмм почвы. По-видимому, наличие рассматриваемых веществ в почвах может быть обусловлено антропогенными последствиями от организации туристических стоянок на изучаемой местности.

В табл. 3 отражены показатели, характеризующие органолептическое качество и общие свойства воды реки Керженец. Выявлено, что на протяжении всего обследованного маршрутного пути вода реки характеризовалась наличием металлического запаха и достаточно сильно выраженной цветностью (40–95 °), а также средней и высокой степенью мутности (от 1,5 до 7,3 мг/л по Каолину) и, как следствие, слабой и средней прозрачностью (от 15 до 48 см столба Снеллена).

Данные особенности, очевидно, также имеют региональный характер, который зачастую выражается в наличии большого количества взвешенных примесей и органических веществ в водах, а также в завышенных концентрациях в них железа, алюминия и марганца [14, 15].

Таблица 1

Показатели естественного плодородия исследуемого почвенного покрова туристических троп

Показатели	Значение по точкам отбора проб почвы						Оптимум
	I	II	III	IV	V	VI	
Органическое вещество (гумус), %	2,31	0,31	0,14	0,56	1,03	0,25	1,6–2,3
Обменная кислотность (pH), ед. pH	5,57	4,76	4,98	4,07	3,65	5,21	4,6–5,0
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	23	3	10	7	6	6	51–100
Содержание азота нитратов, мг/кг	0,85	2,05	1,75	2,55	0,75	1,85	8,1–15,0

Примечание. Оптимум – средневзвешенное справочное значение показателя относительно почв оптимального естественного педогенеза по Нижегородской области [11] и средней степени их окультуренности.

Таблица 2

Показатели геоэкологической устойчивости исследуемого почвенного покрова туристических троп

Показатели	Значение по точкам отбора проб почвы						ПДК, мг/кг
	I	II	III	IV	V	VI	
Кадмий (Cd), мг/кг	0,0211	0,0514	0,0897	0,0049	0,0494	0,0232	[0,5]
Медь (Cu), мг/кг	0,0002	0,0002	0,0001	0,0011	0,0016	0,0007	3,0
Свинец (Pb), мг/кг	0,0411	0,0603	0,0878	0,0349	0,0526	0,2310	6,0
Цинк (Zn), мг/кг	0,0164	0,1730	0,2500	0,0981	0,0846	0,2320	23,0
Нефтепродукты, мг/кг	2,03	3,64	2,67	1,93	3,35	1,58	–

Примечание. ПДК – предельно допустимые концентрации подвижных соединений тяжелых металлов в почвах согласно ГН 2.1.7.2041-06. В квадратных скобках по нормативному содержанию кадмия в песчаных и супесчаных почвах дано ОДК по ГН 2.1.7.2511-09.

Таблица 3

Органолептические и общие показатели воды реки Керженец

Показатели	Значение по точкам отбора проб почвы						ПДК
	I	II	III	IV	V	VI	
Запах (при +20 ºС), баллы	3 Мет	1 Мет	2 Мет	2 Зат	1 Мет	2 Мет	2 –
Цветность (Cr/Co шкала), º	95	40	50	60	40	50	20
Мутность (Каолин), мг/л	7,3	5,1	3,5	1,5	4,1	3,4	1,5
Прозрачность (Снеллен), см	15	18	27	48	25	29	60
pH, ед. pH	6,94	7,16	7,26	7,37	7,39	7,40	6,5–8,5
Минерализация общая, мг/л	87	112	109	111	113	114	1000
Жесткость общая, мг-экв/л	1,9	1,6	1,7	1,3	2,6	1,4	7,0

Примечание. Мет – металлический запах воды, Зат – затхлый запах воды; ПДК (здесь и далее) – согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»; ГН 2.1.5.2280-07 Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03; ГН 2.1.5.2307-07 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Таблица 4

Показатели катионно-анионного состава и экотоксикологического состояния воды реки Керженец

Показатели	Значение по точкам отбора проб почвы						ПДК
	I	II	III	IV	V	VI	
Катионно-анионный состав воды, мг/л							
Железо общее (Fe)	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,3
Аммоний (по азоту)	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	1,5
Полифосфаты (по PO_4^{3-})	0,08	0,13	0,13	0,09	0,10	0,12	3,5
Нитраты (по NO_3^-)	3,4	4,9	5,3	6,7	9,1	8,9	45
Хлориды (по Cl^-)	0,25	0,64	1,02	0,64	0,81	0,64	350
Сульфаты (по SO_4^{2-})	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0	0,3	500
Экотоксикологическое состояние воды, мг/л							
Кадмий (Cd)	0,00008	0,00001	0,00004	0,00006	0,00002	0,00003	0,001
Свинец (Pb)	0,0011	0,0014	0,0015	0,0014	0,0026	0,0037	0,01
Медь (Cu)	0,0003	0,0001	0,0006	н.п.о.	н.п.о	н.п.о.	1,0
Цинк (Zn)	0,0020	0,0068	0,0020	0,0041	0,0012	0,0026	1,0
Нефтепродукты	0,08	0,09	0,01	0,01	0,03	0,09	0,30

Примечание. н.п.о. – значение показателя оказалось ниже предела обнаружения в соответствии с используемой методикой количественного химического анализа проб воды.

Несмотря на удовлетворительную органолептическую оценку общие показатели качества воды рассматриваемого проточного водоема не выходили за пределы установленных норм и в целом характеризовали его с приемлемым кислотно-основным балансом, который также составляется благодаря определенному содержанию различных катионов и анионов в воде (табл. 4).

Изо всех изученных показателей качества воды наименее выражено наличие хлорид-анионов (не более 1,02 мг/л), сульфат-анионов (не более 0,2 мг/л) и анионов фосфорных кислот (до 0,08 мг/л). На среднем, но не выходящим за пределы установленных ПДК уровне находился такой показатель, как содержание нитратов (от 3,4 до 9,1 мг/л).

Содержание общего железа в водах в заметной степени (на 33–67%) превышало установленные нормы, что, очевидно, было связано с геоэкологическими особенностями местности, выражаемыми в повышенном геохимическом уровне сезонного содержания в водах аморфного железа в виде закислых и окислых форм [15].

Таблица 5

Показатели биохимического состояния воды реки Керженец

Показатели	Значение по точкам отбора проб почвы						ПДК
	I	II	III	IV	V	VI	
Растворенный кислород, мг O_2/л	7,8	7,1	7,3	7,0	6,6	6,8	>4,0
$ХПК_{ПЕРМАНГ.}$, мг [O]/л	8,8	9,3	11,6	17,2	19,7	19,4	5,0
$БПК_7$, мг O_2/л	2,26	2,92	3,18	3,69	4,10	4,07	3,00

В части содержания приоритетных экотоксикантов воды ни в одной пробе не было установлено превышений относительно установленных санитарно-экологических норм.

Биохимическое состояние воды определяет протекание практически всех окислительно-восстановительных процессов в водоеме и, одновременно с этим, зависит от большинства естественных и техногенных факторов, оказывающих влияние на его качество. Данные табл. 5 отражают вариабельность показателей биохимического состояния реки Керженец на осенний период 2017 г.

Содержание растворенного кислорода в воде оценивалось как среднее, а уровень загрязненности воды оказался умеренно загрязненным (III класс). Окисляемость воды, выраженная показателем ХПК, наоборот, варьировала в обратном направлении и была наиболее высокой в точках с заниженной концентрацией растворенного кислорода. Интенсивность биологического потребления кислорода ($БПК_7$) также имела градиент в сторону конца маршрутного пути обследования и варьировала от 2,26 (умеренно загрязненные воды) до 4,10 (грязные воды).

По-видимому, на территории расположения точки № 6 имелось сильное загрязнение водоема органическим веществом природного происхождения (травянистая, листопадная и древесная фитомассы), в результате чего были активизированы процессы его анаэробной микробиологической деструкции. С другой стороны, нужно отметить, что на данном примере наглядно демонстрированы окислительно-восстановительные реакции акватории, в комплексе представляющие собой естественный геоэкологический барьер, защищающий водоем от переизбытка растительной мортмассы путем ее биохимической минерализации.

Заключение

Проведя предварительную оценку геоэкологического состояния почвенного покрова туристических троп и воды реки Керженец Борского района Нижегородской области, выявлено, что в целом территория характеризуется типичным качеством и не отличается наличием техногенного воздействия. Почвенный покров – средне- и слабокислый, низкогумусированный и обеднен элементами питания естественных фитоценозов, что является типичным признаком почв подзолистого ряда. Содержание подвижных соединений тяжелых в почвах крайне низкое и в несущественной степени варьирует в пределах изученного ландшафта.

Речная вода обладает нейтральной и слабощелочной реакцией, достаточно высоким уровнем цветности и мутности, а также низкой степенью минерализации и общей жесткости. Катионно-анионный состав однороден по точкам отбора и отличается превышенным уровнем в содержании общего железа. Содержание приоритетных экотоксикантов (тяжелые металлы и нефтепродукты) в воде находится на низком уровне и не превышает допустимые значения эколого-санитарных норм. В части оценки гидробиологических показателей установлено, что водоем характеризуется средним содержанием растворенного кислорода и $БПК_7$, а также достаточно высокими значениями перманганатной окисляемости воды.

В целом за период проведенного рекогносцировочного исследования территория протекания реки Керженец не отражает наличия воздействия на нее антропогенных факторов и характеризуется геоэкологически оптимальным состоянием.

Список литературы / References

1. Алексеенко В.А. Геоэкология: экологическая геохимия. Ростов н/Д.: Феникс, 2017. 685 с.

Alekseenko V.A. Geoecology: ecological geochemistry. Rostov n/D.: Feniks, 2017. 685 p. (in Russian).

2. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлова О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 9. С. 110–114.

Dmitriev V.V., Ogurcov A.N., Morozova A.S., Pilyugina A.A., Sverdlova O.A., Sirotina P.M., Fedorova M.E., Cherepanov S.V., Shakurov V.A. Integrated assessment of stability of landscapes: models, results, prospects // Mezhdunarodnyj

zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2017. № 9. P. 110–114 (in Russian).

3. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. М.: Эколайн, 2000. 87 с.

Guseva T.V., Molchanova Ya.P., Zaika E.A., Vinichenko V.N., Averochkin E.M. Hydrochemical indicators of state of environment. M.: Ekolajn, 2000. 87 p. (in Russian).

4. Копосова Н.Н., Козлов А.В., Шешина И.М. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=19379 (дата обращения: 02.11.2018).

Koposova N.N., Kozlov A.V., Sheshina I.M. The analysis of territorial differences in levels of pollutants concentration in atmospheric air of Nizhny Novgorod city // Modern problems of science and education. 2015. № 3. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=19379 (date of access: 02.11.2018) (in Russian).

5. Аничкина Н.В., Повх Т.В. Ландшафтно-экологические особенности бассейна среднего течения реки Воронеж // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 4. С. 387–391.

Anichkina N.V., Povh T.V. Landscape and ecological features of pool of average watercourse Voronezh // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2017. № 4. P. 387–391 (in Russian).

6. Козлов А.В., Тарасов И.А., Дедык В.Е. Эколого-гидрохимическая характеристика акватории озера «Ключик» Павловского района Нижегородской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=25909 (дата обращения: 02.11.2018).

Kozlov A.V., Tarasov I.A., Dedyk V.E. Ecological and hydrochemical characteristic of area water the lake «Key» of the Pavlovsk district of the Nizhny Novgorod Region // Modern problems of science and education. 2017. № 1. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=25909 (date of access: 02.11.2018) (in Russian).

7. Современные ландшафты Нижегородской области / Под ред. Б.И. Кочурова, Н.Ф. Винокуровой, О.В. Глебовой. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2006. 370 с.

Modern landscapes of the Nizhny Novgorod Region / Pod red. B.I. Kochurova, N.F. Vinokurovoj, O.V. Glebovoj. N.Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2006. 370 p. (in Russian).

8. Добровольский В.В. География микроэлементов: глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.

Dobrovolsky V.V. Geography of micro elements: global dispersion. M.: Mysl', 1983. 272 p. (in Russian).

9. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 442 с.

Nikanorov A.M. Hydrochemistry. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. 442 p. (in Russian).

10. Бакка С.В., Киселева Н.Ю. Особо охраняемые природные территории Нижегородской области. Аннотированный перечень. Н. Новгород, 2008. 560 с.

Bakka S.V., Kiseleva N.Yu. Especially protected natural territories of the Nizhny Novgorod Region. The annotated list. N. Novgorod, 2008. 560 p. (in Russian).

11. Никитин Б.А., Гогмачадзе Г.Д. Пахотные почвы Нижегородской области. Н. Новгород: Типография ННГУ, 2008. 176 с.

Nikitin B.A., Gogmachadze G.D. Arable soils of the Nizhny Novgorod Region. N. Novgorod: Tipografiya NNGU, 2008. 176 p. (in Russian).

12. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. 146 с.

Kozlov A.V. Assessment of ecological condition of soil cover and water objects. N. Novgorod: Mininskij universitet, 2016. 146 p. (in Russian).

13. Соткина С.А., Шевченко И.А., Бикмаева А.В. Физическая география и проблемы градостроительства в городе Нижнем Новгороде // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 8. С. 311–315.

Sotkina S.A., Shevchenko I.A., Bikmaeva A.V. Physical geography and problems of town planning to the Nizhny Novgorod // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2017. № 8. P. 311–315 (in Russian).

14. Бобкова С.К., Копосова Н.Н., Козлов А.В. Проблемы социально-экологического благоустройства территории населенных пунктов // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 6. URL: https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=13423 (дата обращения: 02.11.2018).

Bobkova S.K., Koposova N.N., Kozlov A.V. Problems of social and ecological improvement of settlements territory // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2015. № 6. URL: https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=13423 (date of access: 02.11.2018) (in Russian).

15. Фридман Б.И., Щерба В.А. Проблемы ландшафтного районирования средней полосы Русской равнины на примере Нижегородской области // География в школе. 2014. № 3. С. 20–26.

Fridman B.I., Scherba V.A. Problems of landscape division into districts of midland of East European Plain on example of the Nizhny Novgorod Region // Geografiya v shkole. 2014. № 3. P. 20–26 (in Russian).

УДК 551.58:556.5(574.2)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ WEATHER APP ДЛЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА И ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА

[1,2]Кусаинова А.А., [2]Мезенцева О.В.

[1]Омский государственный педагогический университет, Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru;
[2]Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: aimarh@mail.ru

В статье показаны возможности использования компьютерной системы расчетов текущих водных балансов элементарных водосборов по метеорологическим данным сети метеостанций в суточном разрешении. Результаты таких расчетов нужны для изучения географического распределения элементарного местного климатического стока и суммарного испарения с водосборов малоизученных в гидрологическом отношении и, в том числе, при изучении водных ресурсов засушливого Казахстана, где мало постоянных водотоков и недостаточна сеть гидропостов, измеряющих местный сток. В исследовании использована компьютерная система Weather App, разработанная И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым и основанная на методе гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева. Математическая модель этого метода алгебраически отражает преобразования атмосферной влаги на поверхности водосборов под влиянием управляющей процессами стока гравитации и теплового дренирования поверхности водосбора путем испарения. Модель В.С. Мезенцева связывает все элементы водного баланса аналитически, что позволяет контролировать достоверность результатов расчета взаимосвязанных элементов, например стока и влажности почвы, путем сравнения рассчитанных значений с измеренными, а также на основании тесноты корреляции измеренного и рассчитанного стока судить о точности расчета испарения. В ходе анализа результатов использования модели В.С. Мезенцева для территории Северного Казахстана было установлено, что данный метод водобалансовых расчетов позволяет вычислять местный элеметарный сток по суточным интервалам среднего года или конкретных лет по исходным данным об атмосферном увлажнении и температурном режиме поверхности элементарных водосборов. Результаты расчетов текущих водных балансов по суточным интервалам за непрерывный ряд суток, декад, месяцев и лет показывают, что систему управления базой данных Weather App (компьютерную систему расчетов гидрологических характеристик по исходным данным метеорологических наблюдений) можно рекомендовать для водобалансовых исследований неизученных водосборов Северного Казахстана, где сеть гидропостов на сегодняшний день является недостаточно густой.

Ключевые слова: климат, гидролого-климатические расчеты, элементы водного баланса, элементы теплового баланса, осадки, сток, испарение, влажность почвы, текущий водный баланс, элементарный водосбор, метеостанция

THE USE OF A COMPUTER SYSTEM «WEATHER APP» FOR WATER BALANCE CALCULATIONS TO ASSESS WATER BALANCE ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF NATURAL HUMIDITY IN THE NORTHERN PART OF KAZAKHSTAN

[1,2]Kusainova A.A., [1]Mezentseva O.V.

[1]Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru;
[2]Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: aimarh@mail.ru

The article shows the possibility of using a computer system for calculating the current water balances of elementary catchments from meteorological data of a network of weather stations in daily resolution. The results of such calculations are needed to study the geographical distribution of the elementary local climatic flow and the total evaporation from the catchments for poorly studied hydrologically and, in particular, in the study of water resources of arid Kazakhstan, where there are few permanent watercourses and insufficient network of gauging the local flow. The study used a computer system of Weather App, developed By I. V. Karnatsevich and S. A. Khrushchev and based on the method of hydrological and climatic calculations of V. S. Mezentsev. The mathematical model of this method algebraically reflects the transformation of atmospheric moisture on the surface of the catchment area under the influence of gravity flow control and thermal drainage of the catchment surface by evaporation. The model of V. S. Mezentsev connects all elements of water balance analytically that allows to control reliability of results of calculation of the interconnected elements, for example a drain and humidity of the soil, by comparison of the calculated values with the measured, and also on the basis of close correlation of the measured and calculated drain to judge accuracy of calculation of evaporation. During the analysis of the results of the use of the V. S. Mezentsev model for the territory of Northern Kazakhstan, it was found that this method of water balance calculations allows to calculate the local flow by the daily intervals of the average year or specific years from the initial data on atmospheric precipitation and temperature conditions of the surface of elementary catchments. The results of calculations of the current water balances on daily intervals for a continuous series of days, decades, months and years show that the management system of the Weather App database (computer system of calculations of hydrological characteristics according to the initial data of meteorological observations) can be recommended for water balance studies of unexplored watersheds of Northern Kazakhstan, where the network of gauging stations today is not dense enough.

Keywords: climate, hydrology-climatic calculations, the elements of water balance, the elements of the heat balance, precipitation, runoff, evaporation, soil moisture, current water balance, the elementary catchment area, the meteorological station

Изучение элементов климата и в том числе элементов водного и теплового балансов конкретных территорий является важной составляющей гидролого-климатических исследований. Разработкам в этой области посвящены публикации многих гидрологов и климатологов, начиная с П. Шрайбера, Э.М. Ольдекопа (1911) и многих других исследователей. В последние десятилетия большое внимание современными гидрологами уделяется реализации математических моделей водного баланса с возможностью одновременного векторного картографирования полей элементов водного баланса и характеристик тепловлагообеспеченности, рассчитанных за разные временные интервалы.

Для подобных картографических обобщений требуется метеорологическая база данных и оптимально соответствующая задачам исследования компьютерная математическая модель. Одной из таких моделей является разработанная И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым (Омск, 2014) [1–3] компьютерная система массовых расчетов текущих водных балансов речных водосборов неизученных областей суши Weather App, в основу которой положена математическая модель тепловлагообмена между деятельным слоем почвогрунта и атмосферой, получившая название метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева (1957, 1993). Данный метод применялся для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности и широко используется в современной практике для количественной оценки степени гидромелиоративных воздействий на агроландшафты, для исследования элементов водного и теплового балансов и характеристик естественной тепловлагообеспеченности территорий. Полученные гидрологами с помощью метода В.С. Мезенцева и современных его компьютерных реализаций с автоматизацией картографии поля гидролого-климатических характеристик позволяют решать множество практических задач водохозяйственного и агромелиоративного направлений, а также выполнять эколого-географические и гидролого-климатические исследования для территорий, слабо изученных в гидрологическом отношении.

Целью данного исследования является изучение возможности использования метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева для оценки пространственно-временной изменчивости элементов водного баланса и характеристик естественной тепловлагообеспеченности территории Северного Казахстана. Новизна работы заключается в применении новой компьютерной программы «Weather App» для расчетов по суточным интервалам для территории Казахстана. Это дает новые возможности, например, для оценки водного режима временных водотоков, на которых не ведутся системные наблюдения за водным режимом. Используемый метод расчетов В.С. Мезенцева, с учетом технических возможностей 1960–1980-х гг., уже был апробирован при расчетах с месячной дискретностью исходной метеоинформации и по метеоданным прошлого века. Данные метеонаблюдений, представленные в виде современных электронных баз, позволяют актуализировать выводы в отношении использования метода и современной компьютерной его реализации, а также возможностей подхода в целом при гидрологических исследованиях в условиях недостаточного увлажненных элементарных водосборов Казахстана даже при отсутствии водотоков.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами для проведения расчетов текущих водных балансов по материалам наблюдений сотен метеостанций стали ежесуточные данные об атмосферных осадках и средних температурах воздуха за непрерывный ряд суток в течение десятков лет подряд. Для этого была использована выложенная Российским НИИ гидрометеорологической информации Роскомгидромета и Мировым центром данных (г. Обнинск) на сайте [4] база данных в виде сводки ежесуточных измеренных значений средних, минимальных, максимальных значений и ежесуточных сумм атмосферных осадков по наблюдениям на 222 метеорологических станциях территории бывшего СССР (России и сопредельных стран) в пределах периода с 1880 по 2006 г.

Расчеты проводились с помощью Системы управления базами данных (СУБД) «Weather App», созданной в 2011–2013 гг. И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым на основе метода В.С. Мезенцева, где основные обозначения: KX – суммы атмосферных осадков за соответствующий период, мм; H – суммарное увлажнение, включающее осадки и изменение влагосодержания в деятельном слое, мм; Zm – водный эквивалент теплоэнергоресурсов климата, мм; Z – суммарное испарение, мм; Y – слой стока, мм; V – относительная влажность деятельного слоя почвы, выраженная в долях наименьшей влагоемкости; Vcp – средняя за расчетный интервал влажность деятельного слоя почвы.

Расчеты суточных водных балансов
Петропавловск
2005
Wнв=300 r=1,5 n=3 V1=0,4 S=30 A=0,206 B=214
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
Зима:1,69 Апрель:1,14 Май:1,06 Июнь:1,02 Июль:1,02 Август:1,02 Сентябрь:1,06 Октябрь:1,11

				Влагоресурсы					Теплоресурсы			Результаты расчетов					Исходные данные		
	Дата	Tср	X, мм	X зим.	K попр.	X исправ. зим.	X исправ. инт. снеготаяния	Дата	KX окончат. каждого интервала	Сумма Tср > 0	Zm год	Zm оконч., мм	V1	Bz	Z	H	Y	Число	Месяц	Год
10	15.04.2005	2	0		1,14		60,24	15.04.2005	60,2	2871	805,43	30	0,48	0,43	12,8	13,1	0,3	15	4	2005
11	16.04.2005	2	0		1,14			16.04.2005	0			0,5	0,67	0,52	0,3	0,3	0	16	4	2005
12	17.04.2005	6	0		1,14			17.04.2005	0			1,6	0,67	0,52	0,8	0,9	0	17	4	2005
13	18.04.2005	10	2		1,14			18.04.2005	2,3			2,7	0,66	0,51	1,4	1,5	0,1	18	4	2005
14	19.04.2005	12	0		1,14			19.04.2005	0			3,2	0,66	0,51	1,7	1,7	0,1	19	4	2005
15	20.04.2005	10	0		1,14			20.04.2005	0			2,7	0,65	0,5	1,4	1,4	0,1	20	4	2005
16	21.04.2005	13	0		1,14			21.04.2005	0			3,5	0,65	0,49	1,7	1,8	0,1	21	4	2005
17	22.04.2005	16	0		1,14			22.04.2005	0			4,3	0,64	0,48	2,1	2,2	0,1	22	4	2005
18	23.04.2005	15	0		1,14			23.04.2005	0			4,1	0,63	0,47	1,9	2	0,1	23	4	2005
19	24.04.2005	17	0		1,14			24.04.2005	0			4,6	0,62	0,46	2,1	2,2	0,1	24	4	2005
20	25.04.2005	19	0		1,14			25.04.2005	0			5,1	0,61	0,45	2,3	2,4	0,1	25	4	2005
21	26.04.2005	15	0		1,14			26.04.2005	0			4,1	0,59	0,44	1,8	1,8	0,1	26	4	2005
22	27.04.2005	11	0		1,14			27.04.2005	0			3	0,59	0,43	1,3	1,3	0	27	4	2005
23	28.04.2005	7	0		1,14			28.04.2005	0			1,9	0,58	0,43	0,8	0,8	0	28	4	2005
24	29.04.2005	8	0		1,14			29.04.2005	0			2,2	0,57	0,42	0,9	0,9	0	29	4	2005

Рис. 1. Фрагмент результатов расчета текущих водных балансов с суточным разрешением по метеоданным Петропавловска за 2005 г. (Выполнено Кусаиновой А.А. в программе Weather App)

Суммы по декадам
Петропавловск
2005

	Год	Месяц	Декада	Имя расч. интервала	H	KX	Zm	Z	Y	Vcp
5	2005	4	2	02 - 04.2005	18,9	62,5	40,8	18,3	0,6	0,39
6	2005	4	3	03 - 04.2005	16,4	0	34,8	15,8	0,5	0,6
7	2005	5	1	01 - 05.2005	11,9	8,5	30,2	11,6	0,2	0,54
8	2005	5	2	02 - 05.2005	16,1	4,2	47,3	15,9	0,2	0,49
9	2005	5	3	03 - 05.2005	12,5	15,9	40,8	12,3	0,1	0,45
10	2005	6	1	01 - 06.2005	14,9	13,3	52,9	14,8	0,1	0,43
11	2005	6	2	02 - 06.2005	16	30,6	48,3	15,8	0,2	0,48
12	2005	6	3	03 - 06.2005	17,5	21,4	53,7	17,3	0,2	0,47
13	2005	7	1	01 - 07.2005	16,2	18,4	51,9	16,1	0,2	0,46
14	2005	7	2	02 - 07.2005	17,5	36,7	45,9	17,2	0,3	0,52
15	2005	7	3	03 - 07.2005	19,9	0	63,5	19,7	0,2	0,46
16	2005	8	1	01 - 08.2005	12,6	0	54	12,5	0,1	0,38
17	2005	8	2	02 - 08.2005	9,3	3,1	52,4	9,3	0	0,32
18	2005	8	3	03 - 08.2005	9,6	60,2	34,3	9,5	0,1	0,43

Рис. 2. Фрагмент результатов расчета ежедекадных сумм ТВБ по суточным интервалам по данным метеостанции Петропавловск за 2005 г. (Выполнено Кусаиновой А.А. в программе Weather App)

Результаты исследования и их обсуждение

Использование СУБД «Weather App» [1–3] позволило нам: вычислить значения элементов водного баланса (KX, H, Zm, Z, Y, V, Vcp) за ежесуточные интервалы теплого времени года для примера за 2005 г. (рис. 1); сделать выборки из полученных результатов – декадные, месячные, годовые – за любой год, за средний год, месяц, декаду, за вегетационный интервал года (рис. 2–5); построить карту изолиний любого из расчетных элементов за нужный интервал конкретного или среднего года (рис. 6) и карты коэффициентов вариации для любого элемента водного баланса.

На рис. 2 представлены результаты расчета теплового и водного балансов за 2 и 3 декады апреля, а также за 1, 2 и 3 декады мая, июня, июля, августа 2005 г. по суточным интервалам по данным метеостанции Петропавловск.

На рис. 3 отражены результаты расчета месячных сумм, рассчитанных по суточным интервалам элементов теплового и водного балансов за март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь 2005 г. по данным метеостанции Петропавловск.

Данные рис. 4 показывают пример результатов расчета годовых сумм рассчитанных суточных элементов теплового и водного балансов по данным метеостанции Петропавловск с 1992 по 2002 г. (интервал для примера выбран случайно).

Наибольший интерес для земледелия представляют значения элементов водного баланса за *вегетационный* период года (с мая по август включительно). На рис. 5 представлен фрагмент таблицы ежегодных сумм элементов водного баланса за период с мая по август для станции Петропавловск.

Результаты расчетов за сутки, декаду, месяц, конкретный год, за средний год, за вегетационный интервал года могут применяться для использования в практике: в зависящем от агроклиматических ресурсов сельском хозяйстве, при расчетах влияния климата на условия работы и жизни населения.

1		**Суммы по месяцам**							
2		**Петропавловск**							
3		**2005**							
4									
5	Год	Месяц		Имя расч. интервала	H	KX	Zm	Z	Y	Vcp
6	2005	3		03.2005	8,8	30	30	8,7	0,1	0,01
7	2005	4		04.2005	35,3	62,5	75,6	34,1	1,2	0,33
8	2005	5		05.2005	40,4	28,6	118,3	39,8	0,6	0,49
9	2005	6		06.2005	48,4	65,3	155	47,8	0,5	0,46
10	2005	7		07.2005	53,7	55,1	161,2	53	0,7	0,48
11	2005	8		08.2005	31,5	63,2	140,7	31,4	0,2	0,38
12	2005	9		09.2005	26,9	20,1	91	26,7	0,2	0,44

Рис. 3. Фрагмент результатов расчета месячных сумм суточных элементов теплового и водного балансов (ТВБ) для метеостанции Петропавловск за 2005 г. (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

1		**Годовые суммы**					
2		**Петропавловск**					
3		**1992-2002**					
4							
5	Год	H	KX	Zm	Z	Y	Vcp
6	1992	358,9	471,1	729,3	337	21,9	0,34
7	1993	414	571,1	758,3	381,6	32,4	0,38
8	1994	782,4	974,3	554,5	457,8	324,6	0,79
9	1995	807,6	904,1	542,2	476,4	331,2	0,77
10	1996	667,3	617,3	755,6	481,1	186,2	0,49
11	1997	358,2	397,4	814,4	330,4	27,8	0,3
12	1998	252,1	390,5	829,1	244,3	7,8	0,27
13	1999	343	416,5	794,8	326,2	16,8	0,31
14	2000	286,1	402	777	277,7	8,4	0,28
15	2001	515	682,5	774,1	451,9	63,1	0,42
16	2002	444,8	472	743,5	381,2	63,5	0,38

Рис. 4. Пример результатов расчета ежегодных сумм суточных элементов водных балансов по данным метеостанции Петропавловск (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

1		Суммы за вегетационный период (май-август)					
2		Петропавловск					
3		2000-2005					
4							
5	Год	H	KX	Zm	Z	Y	Vcp
6	2000	213,8	188,9	570,8	208	5,8	0,55
7	2001	395,6	309,4	564,2	342,1	53,4	0,8
8	2002	269,2	187	525,4	247,7	21,5	0,67
9	2003	279,1	153,3	601,1	256,1	23,1	0,62
10	2004	234,1	175,7	556,6	225,8	8,3	0,58
11	2005	174,3	212,2	578,7	172,4	1,9	0,46

Рис. 5. Результаты расчета сумм суточных элементов водного баланса за вегетационный период по результатам расчета для станции Петропавловск за 2000–2005 гг. (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

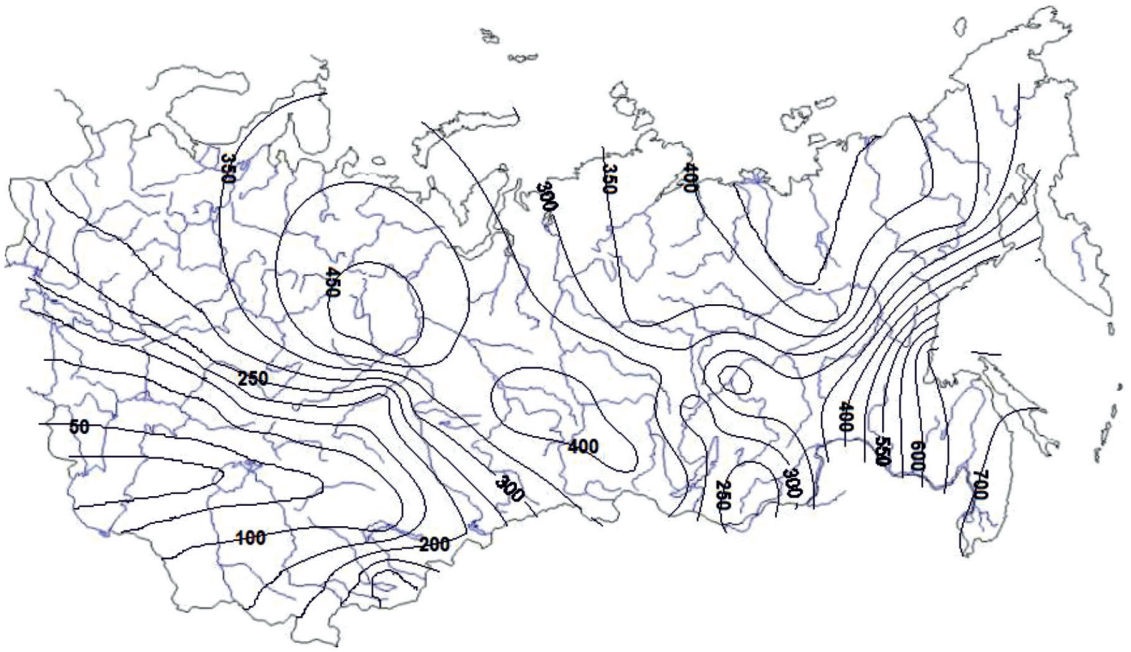


Рис. 6. Пример карты изолиний суммарного увлажнения H за вегетационный период (май – август) 2005 г. для северной части Евразии, полученной по результатам расчета (построено по данным 40 станций). (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

Как показано на рис. 6, благодаря компьютерной программе «Weather App» стало возможным построить карту изолиний любого из расчетных элементов за нужный интервал конкретного или среднего года. Появилась возможность обработать за короткий срок огромные массивы гидрометеорологических данных, соединить базы данных метеорологических элементов с геопространственной характеристикой [5], например в картографическом редакторе Surfer, и представить карту территориального распределения изолиний.

Одном из шагов при расчете текущих водных балансов (рис. 1) является введение поправочных коэффициентов к осадкам ($К_{попр}$). К величинам измеренных осадков за теплый период (апрель – октябрь) нами вводились поправки на ветровой недоучет и смачивание. Таблицы этих коэффициентов опубликованы в Справочниках по климату СССР. Ниже в таблице приведена выборка значений этих коэффициентов для некоторых казахстанских станций для месяцев теплого периода и в целом для зимнего (ноябрь – март) интервала года.

Значения поправочных коэффициентов $К_{попр}$ к суммам атмосферных осадков для некоторых метеорологических станций Казахстана [2]

Станция	Зима	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Павлодар	1,89	1,38	1,08	1,04	1,04	1,04	1,08	1,22
Риддер	1,37	1,05	1,02	1,02	1,01	1,02	1,04	1,08
Усть-Каменогорск	1,33	1,06	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,04
Зыряновск	1,09	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02
Кокпекты	1,28	1,08	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05

При проведении расчетов по интервалам также определялись: КХ – сумма зимних осадков (исправленных на недоучет прибором), испарение со снежного покрова S (слой воды, мм), исправленные осадки первой половины апреля, общее увлажнение зимнего интервала (КХ–S). Значения поправочных коэффициентов к осадкам задавали для каждой метеорологической станции в начале расчета. Поправочный коэффициент к суммам твердых осадков в каждую зиму разный: чем больше сумма твердых осадков за зимний интервал, тем меньше принималось значение поправочного множителя $К_{попр}$.

Заключение

1. В статье рассмотрены новые возможности использования модели воднобалансовых расчетов В.С. Мезенцева, которая позволяет вычислять местный сток за любой интервал времени среднего или конкретного года по исходным данным об атмосферном увлажнении земной поверхности и температурным данным.

2. Система управления базой метеоданных в виде компьютерной программы Weather App позволяет быстро рассчитать многолетние с суточным разрешением цепи гидрографов местного элементарного стока без измерений в речных потоках, исключительно на основе данных метеорологическая станций. Высокая корреляция измеренного и рассчитанного стока, влажности почвы позволяет судить о достаточной точности расчета испарения. Поэтому компьютерную систему расчетов гидрологических характеристик по исходным данным метеонаблюдений «Weather App» можно рекомендовать для воднобалансовых исследований неизученных водосборов Казахстана, где сеть гидропостов на сегодняшний день является недостаточно густой.

3. Оценка водных ресурсов элементарного стока для неизученных водотоков с применением воднобалансовых расчетов не означает отказ от речной гидрометрии, но может стать рациональной и дополнить недостаток информации при малой густоте гидропостов из-за отсутствия постоянных водотоков в условиях недостаточного увлажнения. К сожалению, иногда возможности расчетов с применением СУБД Weather App могут быть ограничены досадным отсутствием метеоданных о температурах и осадках за конкретные сутки и соответственно разрывами в рядах суточных метеонаблюдений для некоторых станций. Но дополнительная работа по восстановлению пропусков в базе метеоданных нивелирует этот недостаток.

Список литературы / References

1. Карнацевич И.В. Массовые расчеты ежесуточных сумм испарения с поверхности водосборов по данным наблюдений метеостанций // Омский научный вестник. 2013. № 1 (118). С. 241–246.

Karnatsevich I.V. Mass calculations of the daily sums of evaporation from a surface of basins using meteodata // Omskij nauchnyj vestnik. 2013. № 1 (118). P. 241–246 (in Russian).

2. Карнацевич И.В., Акимова В.С. Расчеты элементарных дождевых паводков по данным стандартных метеонаблюдений // Омский научный вестник. 2014. № 1 (128). С. 190–192.

Karnatsevich I.V., Akimova V.S. Criterion of stability of oscillatory process in climatology // Omskij nauchnyj vestnik. 2014. № 1 (128). P. 190–192 (in Russian).

3. Карнацевич И.В., Березин Е.Б. Новые расчетные характеристики температуры воздуха и их статистические прогнозы // Омский научный вестник. 2009. № 1 (84). С. 79–82.

Karnatsevich I.V., Berezin E.B. New calculated characteristics of air temperature and its statistical forcasting // Omskij nauchnyj vestnik. 2009. № 1 (84). P. 79–82 (in Russian).

4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Справочная информация о погоде и климате. URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat (дата обращения: 16.10.2018).

The All-Russian Research Institute of hydrometeorological information – World data center (VNIIGMI-MTsD). Reference information about weather and climate. URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat (date of access: 16.10.2018) (in Russian).

5. Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. Изменчивость среднегодовых температур воздуха в Центральном Казахстане (г. Караганда) // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы IV международной научно-практической конференции (Чебоксары, 25 декабря 2017). Чебоксары: Изд-во Интерактивплюс, 2017. С. 40–43.

Mezentseva O.V., Kusainova A.A. Variability of average annual air temperatures in the Central Kazakhstan (Karaganda) // The Relevant directions of scientific research: prospects Development: materials IV of the international scientific and practical conference (Cheboksary, on December 25, 2017). Cheboksary: Izd-vo Interaktivplyus, 2017. P. 40–43 (in Russian).

УДК 504.3.054

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

Малышкин Н.Г.

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, e-mail: malyshkin81@rambler.ru

В качестве индикаторов состояния окружающей среды часто используют растительные организмы. Одними из наиболее чувствительных к изменению химического состава атмосферного воздуха растительных организмов являются лишайники. Они реагируют на начальные изменения качества атмосферного воздуха под влиянием антропогенных источников и применяются в качестве биологического индикатора. В статье приведены результаты лихеноиндикации состояния атмосферы в районе деятельности промышленного предприятия, расположенного на территории г. Тюмени. Предприятие осуществляет комплекс работ при изготовлении металлоконструкций, в результате которых в атмосферу поступают загрязняющие вещества, оказывающие воздействие на живые организмы. В процессе выполнения работы проводили сбор и определение лишайников, проекцию лишайников определяли методом линейных пересечений. В ходе исследований был изучен видовой состав лишайников, выявлены морфологические изменения слоевищ, определено проективное покрытие и проведено ранжирование видов по их чувствительности к загрязнению атмосферы. На обследуемой территории выявлено 11 видов лишайников, относимых к 7 родам (*Physcia*, *Parmeliopsis*, *Parmelia*, *Pertusaria*, *Ramalina*, *Xanthoria*, *Ochrolechia*). Преобладали накипные и листовые формы. Кустистые формы образовывали компактные и мелкие талломы. Проективное покрытие снижалось в направлении рассеивания примеси от источника. С целью выявления степени загрязнения атмосферы применены лихеноиндикационные индексы. Проведен расчет индекса полеотолерантности и индекса экологической чистоты атмосферы. На основании проведенных расчетов было установлено, что уровень загрязнения атмосферы в районе деятельности промышленного предприятия можно оценить как средний. В результате представлена возможность использования лихеноиндикации в системе экологического мониторинга окружающей природной среды.

Ключевые слова: лишайники, лихеноиндикация, чувствительность, проективное покрытие, промышленное предприятие, качество атмосферного воздуха

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR CONDITION IN THE AREA OF ACTIVITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY THE METHOD OF LICHENOINDICATION

Malyshkin N.G.

State Agrarian University of Northern Zauralye, Tyumen, e-mail: malyshkin81@rambler.ru

As indicators of the environmental state often use plants organisms. One of the most sensitive plant organisms to changes in the chemical composition of atmospheric air are lichens. They respond to initial changes in the quality of atmospheric air under the influence of anthropogenic sources and are used as a biological indicator. The article presents the results of lichenoindication of the state of the atmosphere in the area of activity of an industrial enterprise located in the territory of Tyumen. The company carries out a set of works in the manufacture of metal structures, as a result of which pollutants enter the atmosphere, affecting living organisms. In this work, we collected and determined lichens; the projection of lichens was determined by the method of linear intersections. In the course of the research, the species composition of lichens was studied, the morphological changes of the thalli were identified, the projective cover was determined and the species were ranked according to their sensitivity to atmospheric pollution. In the surveyed area, 11 species of lichens were identified, attributable to 7 genera (*Physcia*, *Parmeliopsis*, *Parmelia*, *Pertusaria*, *Ramalina*, *Xanthoria*, *Ochrolechia*). Cortical and leaf forms prevailed. Bushy forms formed compact and small thalli. The projective cover decreased in the direction of dispersion of the impurity from the source. In order to identify the degree of pollution of the atmosphere, lichen-index indices were applied. The calculation of the index of tolerance and the index of ecological purity of the atmosphere was carried out. Based on the calculations, it was found that the level of air pollution in the area of activity of an industrial enterprise can be assessed as average. As a result, the possibility of using lichenoindication in the system of environmental monitoring of the environment is presented.

Keywords: lichens, lichenoindication, sensitivity, projective cover, industrial enterprise, air quality

Экологическая обстановка городской среды зависит от множества факторов. К ним относят как естественные, так и антропогенные факторы. Одним из показателей экологического неблагополучия территории является качество атмосферного воздуха. Уровень загрязнения атмосферы зависит от количества выбрасываемых вредных веществ и их химического состава, от высоты источника, и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ [1, с. 8].

Для оценки состояния атмосферы и выявления степени воздействия антропоген-

ных источников на ее показатели современная наука предлагает различные методы. В последнее время широкое распространение получило зонирование состояния городских природно-технических систем на основе геоэкомониторинга. В качестве индикаторов используют растительные сообщества [2, с. 1; 3, с. 4].

При оценке состояния атмосферного воздуха необходимы организмы, проявляющие высокую чувствительность к колебаниям атмосферных составляющих. Применяемые индексы лихеноиндикации позволяют адекватно оценивать состояние среды обитания в урбоэкосистемах, уменьшать субъективность биоиндикации, повышать ее точность и прогностическую ценность [4, с. 93].

Целью данной работы является оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом биоиндикации.

Материалы и методы исследования

Для оценки состояния атмосферного воздуха применяли метод лихеноиндикации. Оценка проводилась по нескольким направлениям: определение видового состава лишайников, оценка проективного покрытия, визуальные наблюдения за морфологией слоевища лишайника, оценка по показателю полеотолерантности и анализ с помощью лихеноиндикационных индексов. Учитывали только эпифитные лишайники. При их учете был использован метод линейных пересечений. Закладка пробных площадок проводилась по 8 румбам на расстояниях 50, 100 и 300 м от промплощадки. Выбранные точки были установлены на основании расчетных полей концентраций примеси по удалению от источника выброса.

На обследуемой территории проводили сбор лишайников и их определение в лабораторных условиях по «Определителю лишайников СССР» под редакцией А.Н. Окснера [5] и атласу-определителю [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Из всех экологических групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают эпифитные лишайники, т.е. лишайники, растущие на коре деревьев. По мере увеличения химической нагрузки на атмосферный воздух сначала исчезают кустистые, затем – листовые и накипные формы лишайников [7].

Один из методов оценки качества воздуха основан на использовании видового состава лишайников изучаемой территории и установлении отсутствия или присутствия чувствительных видов, поскольку их представители быстро повреждаются или исчезают уже при низких концентрациях некоторых загрязнителей. Видовой состав лишайников в районе проведения исследований был представлен 11 видами, которые были отнесены к 7 родам. Род *Physcia* был представлен 3 видами (*Ph. aipolia*, *Ph. ciliata*, *Ph. caesia*) (табл. 1). Из жизненных форм преобладали накипные и листоватые, кустистые были представлены одним видом – *Ramalina pollinaria*.

Видовой и количественный состав лишайников был выше в северном направлении от источника выброса и составил 6 видов. В западном, южном и восточном направлениях от источника загрязнения наблюдалось обеднение видового состава, что может быть обусловлено рассеиванием примеси от источников выброса в этих направлениях (табл. 2).

Из выявленных видов очень часто на обследуемой территории встречался один вид – *Physcia aipolia* (частота встречаемости 100%); часто (50%) 4 вида – *Physcia caesia*, *Xanthoria polycarp*а, *Ramalina pollinaria*, *Parmelia caperata*. Остальные виды встречались редко.

Учитывая факт наибольшей чувствительности к загрязнению атмосферы у кустистых лишайников, установлено, что в северном направлении от источника встречается кустистая форма *Ramalina pollinaria*. В восточном направлении этот вид был зафиксирован, но размеры таллома снижались в два раза. На остальных учетных площадках кустистые формы лишайников не отмечались.

Долговременное воздействие даже малых концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде вызывает у лишайников такие повреждения, которые не исчезают вплоть до гибели их слоевищ, это влияет на их рост и развитие, а следовательно, и на геометрию [8]. Изменения морфологических показателей талломов при длительном воздействии на них загрязняющих веществ проявляется так же в смене окраски. Визуальные наблюдения за морфологией слоевища лишайника, по сравнению с контрольным участком, не показали видимых изменений в окраске тел, но при этом наблюдалось образование компактных и мелких талломов, что связано с замедлением их развития. Уменьшение размеров таллома лишайников было харак-

терно для листовых и кустистых жизненных форм. Жизнеспособность лишайников была умеренная, но встречались лишайники с высокой жизнеспособностью и здоровым слоевищем.

Количественным показателем, характеризующим площадь покрытия лишайником субстрата, является проективное покрытие. Общее проективное покрытие лишайников было максимальным в северном направлении от источника и составляло 25 %, что соответствовало средней степени покрытия. По остальным направлениям от источника степень проективного покрытия была низкой. Среди различных видов лишайников максимальная площадь покрытия субстрата отмечалась у видов относимых к 7 и 8 классам полеотолерантности – *Parmeliopsis ambigua*, *Xanthoria polycarpa*. Это виды распространяемые на территориях с умеренно и сильно измененными местообитаниями. Несмотря на частую встречаемость на площадках *Physcia aipolia* проективное покрытие этого вида составляло от 2 до 7 %. Также необходимо отметить, что степень общего проективного покрытия за пределами обследуемой территории возрастала до 30–35 %, что подтверждает факт воздействия предприятия на рост и развитие лишайников.

Процедура ранжирования видов по степени чувствительности к загрязнению заключается в распределении выявленного множества видов на то или иное число классов, различающихся реакциями на загрязнение. Виды, наиболее устойчивые к химическому загрязнению атмосферного воздуха, имеют максимальный класс полеотолерантности. Они могут приспосабливаться к условиям измененной среды в отличие от чувствительных видов и могут быть индикаторами загрязнения. По полеотолерантности на обследуемой территории выделялись виды с 3 по 8 классы. Это виды, которые могут произрастать в условиях измененной среды и при этом испытывают различную устойчивость к химическому загрязнению атмосферы (табл. 3).

Для более объективного анализа необходима балльная оценка и ранжирование территории по уровню антропогенной нагрузки. Лихеноиндикационные индексы позволяют выявить степень загрязнения или чистоты атмосферы и полифобии.

Таблица 1

Видовой состав лишайников в районе исследований

Род	Вид
Фисция – *Physcia*	Фисция аиполия – *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe Фисция реснитчатая, или темная – *Physcia ciliata* (Hoffm.) Du Rietz Фисция сизая – *Physcia caesia* (Hoffm.) Hampe
Пармелиопсис – *Parmeliopsis*	Пармелиопсис сомнительный – *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl
Пармелия – *Parmelia*	Пармелия бороздчатая – *Parmelia sulcata* Tayl Пармелия козлиная, или козья – *Parmelia caperata* (L.) Ach
Пертузария – *Pertusaria*	Пертузария шариконосная – *Pertusaria globulifera* (Turn.) Massal
Рамалина – *Ramalina*	Рамалина опыленная – *Ramalina pollinaria* (Liljebl.) Ach
Ксантория – *Xanthoria*	Ксантория многоплодная – *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Vain Ксантория постенная, или настенная, или стенная золотнянка – *Xanthoria parietina* (L.) Belt
Охролехия – *Ochrolechia*	Охролехия виннокаменная – *Ochrolechia tartarea* (L.) Massal

Таблица 2

Видовой состав лишайников на пробных площадках по четырем румбам

Точки наблюдений	Виды лишайников
С	*Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Vain, *Physcia caesia* (Hoffm.) Hampe, *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe, *Ochrolechia tartarea* (L.) Massal, *Ramalina pollinaria* (Liljebl.) Ach, *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl.
З	*Physcia ciliata* (Hoffm.) Du Rietz., – *Parmelia caperata* (L.) Ach., *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe
Ю	*Xanthoria parietina* (L.) Belt, – *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Vain, *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe
В	*Parmelia caperata* (L.) Ach, *Physcia caesia* (Hoffm.) Hampe, *Ramalina pollinaria* (Liljebl.) Ach, *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe

Индекс полеотолерантности (IP) учитывает видовой состав лишайников и вычисляется по формуле:

$$IP = \sum_{i}^{n} a_i c_i / C,$$

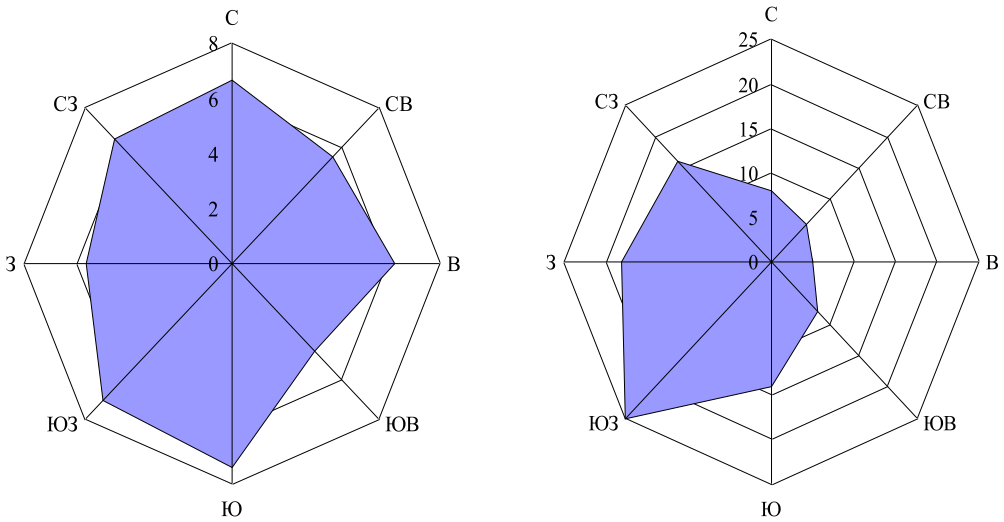
где *a* – степень толерантности вида к городской среде, *c* – ранговая величина покрытия (в баллах), *C* – степень общего покрытия всех видов (в баллах), *n* – число видов.

Индекс полеотолерантности в северном, северо-восточном, восточном и западном направлениях варьировал в пределах от 5 до 7. Следовательно, концентрация SO_2 в воздухе в соответствии со шкалой варьировала от 0,03 до 0,08 мг/м^3. Из этого следует, что территория является среднезагрязненной. На юго-востоке от промплощадки индекс входил в промежуток от 2 до 5, следовательно, территория относилась к малозагрязненой. В южном направлении индекс составлял 7–10 баллов, что соответствовало критическому уровню загрязнения атмосферы (рисунок).

Таблица 3

Распределение видов по классам полеотолерантности

Тип местообитания	Вид	Класс полеотолерантности
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (часто)	Пармелия козлиная, или козья – *Parmelia caperata* (L.) Ach	3
Естественные (часто), слабо (часто) и умеренно (редко) измененные местообитания	Фисция аиполия – *Physcia aipolia* (Ehrh.) Hampe	4
Умеренно (часто) и сильно (редко) антропогенно измененные местообитания	Ксантория постенная, или настенная, или стенная золотнянка – *Xanthoria parietina* (L.) Belt Ксантория многоплодная – *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Vain Пармелиопсис сомнительный – *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl	7
Умеренно и сильно антропогенно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	Рамалина опыленная – *Ramalina pollinaria* (Liljebl.) Ach Пармелия бороздчатая – *Parmelia sulcata* Tayl	8



а) *б)*

Значение индекса полеотолерантности по различным направлениям от источника загрязнения (а – индекс полеотолерантности; б – роза ветров г. Тюмень)

Индекс чистоты атмосферы (IAQ) определяли по формуле

$$IAQ = \sum \frac{Q_i C_i}{10},$$

где Q_i – индекс ассоциированности *i*-го вида; C_i – показатель обилия *i*-го вида.

Индекс чистоты атмосферы коррелирует с концентрацией SO_2 в воздухе. Результаты расчета IAQ на основании разработанной шкалы входят в промежуток от 0 до 9, что соответствует концентрации 0,086 мг/м^3 и более. Сопоставляя полученный показатель с индексом полеотолерантности (IP), выявляется возрастание концентрации SO_2 на 0,006 мг/м^3. При ранжировании этого показателя по шкале полеотолерантности зона условного загрязнения атмосферы будет характеризоваться как сильная.

Выводы

1. В условиях антропогенно измененной среды видовое разнообразие лишайников обедняется, что связано с различной приспособительной способностью к условиям среды у разных видов. Частота встречаемости была максимальной у вида *Physcia aipolia*, относимого к 4 классу полеотолерантности, но проективное покрытие было низким (2–7 %), что обусловлено чувствительностью вида к загрязнению атмосферного воздуха. Из жизненных форм преобладали накипные и листоватые лишайники, кустистые формы были представлены одним видом.

2. При среднем уровне загрязнения атмосферного воздуха (концентрация SO_2 от 0,03 до 0,08 мг/м^3) визуальных морфологических изменений таллома не происходит, но реакция кустистых жизненных форм проявляется в образовании компактных и мелких тел. Листоватые и накипные формы характеризовались умеренной жизнеспособностью и имели морфометрически здоровые талломы.

3. По устойчивости к загрязнению атмосферы виды распределялись с 3 по 8 классы полеотолерантности. Это виды, произрастающие в условиях от слабо измененных до сильно антропогенно измененных местообитаний. Индекс полеотолерантности (IP) показывает «островное» загрязнение среды от малого, и среднего до критического уровня, в направлении рассеивания примеси от источника. По индексу чистоты атмосферы зона условного загрязнения характеризовалась как сильная.

Список литературы / References

1. Малышкин Н.Г., Санникова Н.В. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2017. 128 с.

Malyshkin N.G. Saannykova N.V. Ecologycal monitoring: educational and methodical manual. Tumen: GAU Severnogo Zaural`ya, 2017. 128 p. (in Russian).

2. Фатнева Е.А. Геоэкологический мониторинг состояния городской среды // Инновационные технологии в науке и образовании. 2016. № 4 (8). С. 27–33. DOI: 10.21661/r-113297.

Fatneva E.A. Geoecologycal monitoring of the urban environment // Innovative technologies in science and education. 2016. № 4 (8). P. 27–33 (in Russian).

3. Акатьева Т.Г. Использование метода биоиндикации в оценке качества атмосферного воздуха // Современная наука агропромышленному производству: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 135-летию первого среднего учебного заведения Зауралья – Александровского реального училища и 55-летию ГАУ Северного Зауралья, 2014. С. 3–6.

Akatieva T.G. Using the bioindication method in assessing the quality of atmospheric air // Modern science to agro-industrial production: materials of the International scientific and practical conference devoted to the 135 anniversary of the first average educational institution of the Trans-Ural region – Aleksandrovsky real school and to the 55 anniversary of GAU of the Northern Trans-Ural region, 2014. P. 3–6 (in Russian).

4. Анищенко Л.Н. Количественная лихеноиндикация: лихеноиндикационный индекс // Учебные записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 6. С. 91–93.

Anishchenko L.N. Quantitative likhenoindikation: likhenoindikatsionny index // Uchebnye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo univrsiteta. Seria: Estestvennye. tehnicheskie i medicinskie nauki. 2013. № 6. P. 91–93 (in Russian).

5. Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Наука, 1974. 284 с.

Oksner A.N. The determinant of lichens of the USSR. Rel. 2. Morphology, taxonomy and geographical distribution. L.: Nauka, 1974. 284 p. (in Russian).

6. Цуриков А.Г., Храмченкова О.М., Листовые и кустистые городские лишайники: атлас-определитель: учебное пособие. М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т. им. Ф. Скорины. Гомель: ГГУ. им. Ф. Скорины, 2009. 123 с.

Tsurikov A.G., Hramchenkova O.M., Sheet and bushy city lichens: atlas determinant manual. M-vo obrazovaniya RB, Gomelskii gos. un-t. im. F. Skoriny. Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2009. 123 p. (in Russian).

7. Лиштва А.В. Лихенология: учебно-методическое пособие. Иркутск: Изд-во ИркГУ, 2007. 121 с.

Lishtva A.V. Lichenology: educational and methodical manual. Irkutsk: Izd-vo IrkGU, 2007. 121 p. (in Russian).

8. Молчатский С.Л., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Применение метода фрактального анализа для биоиндикационной оценки состояния окружающей среды // Самарский научный вестник. 2016. № 4 (17). С. 28–31.

Molchatsky S.L., Kazancev I.V., Matveeva T.B. Application of the method of fractal analysis for bioindicative assessment of the state of the environment // Sanarskii nauchnyi vestnik. 2016. № 4 (17). P. 28–31 (in Russian).

УДК 911.375.6(470.54-25+470.41-25+470.53)

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЕКАТЕРИНБУРГА, КАЗАНИ И ПЕРМИ: ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И РАЗЛИЧИЯ

[1]Меркушев С.А., [2]Хуснутдинова С.Р.

[1]Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, e-mail: merck.sergey@yandex.ru;

[2]Казанский федеральный университет, Казань, e-mail: hsvr@yandex.ru

Урбанизационные процессы в России на современном этапе характеризуются серьезными противоречивыми изменениями в территориально-функциональной структуре городов, часто приводящими к обострению городских проблем. Помимо общих черт все более отчетливо начинают проявляться особенности этих изменений в каждом городе. Города активно накапливают позитивный и негативный опыт преобразований. Всестороннее сравнение процессов трансформации городской среды в крупнейших городах, проводимое с учетом общемировых тенденций, позволяет делать выводы и давать практические предложения, которые могут представлять интерес для практики управления. В статье трансформация территориально-функциональной структуры различных городских зон рассматривается по следующим компонентам: общественный транспорт, улично-дорожная сеть, основные виды деятельности, архитектурно-планировочные решения. Реальные изменения сопоставляются с вариантом, который авторы считают на данном этапе оптимальным. По нашему мнению, наиболее неоднозначные управленческие решения предпринимаются по поводу застройки исторических ядер городов, хотя с концептуальной точки зрения в Екатеринбурге они обоснованы в большей степени. Во всех городах недостаточное внимание уделяется развитию функционального разнообразия территорий, находящихся за пределами центральной зоны городов. Наиболее интересные планы по трансформации некоторых частей этих территорий есть у Екатеринбурга и Казани. По масштабам реального преобразования улично-дорожной сети выделяется Казань, этот же город наибольшее внимание уделяет обновлению подвижного состава общественного транспорта. Масштабная транспортная реформа намечена в Екатеринбурге. Тем не менее, во всех рассматриваемых городах изменения, которые касаются улично-дорожной сети и общественного транспорта, наряду с позитивным эффектом, могут обострить многие проблемы.

Ключевые слова: урбанизация, трансформация территориально-функциональной структуры, общественный транспорт, улично-дорожная сеть, архитектурно-планировочные решения, Екатеринбург, Казань, Пермь

TRENDS AND PROBLEMS OF TRANSFORMATION OF THE TERRITORIAL-FUNCTIONAL STRUCTURE OF EKATERINBURG, KAZAN AND PERM: GENERAL FEATURES AND DIFFERENCES

[1]Merkushev S.A., [2]Khusnutdinova S.R.

[1]Perm State University, Perm, e-mail: merck.sergey@yandex.ru;

[2]Kazan Federal University, Kazan, e-mail: hsvr@yandex.ru

Urbanization processes in Russia at the present stage are characterized by serious changes in the territorial-functional structure of cities. These changes are very contradictory, they often lead to aggravation of urban problems. In addition to the common features, the peculiarities of these changes in each city are becoming more and more evident. Cities actively accumulate a positive and negative experience of transformation. Comprehensive comparison of urban environment transformation processes in large cities taking into account the global trends, allows you to draw conclusions and give practical suggestions that may be of interest to management practice. In the article, the transformation of the territorial-functional structure of the different parts of Yekaterinburg, Kazan and Perm is considered according to the following components: public transport, street-road network, main activities, architectural and breadboard solutions. Real changes are compared with a variant that the authors consider optimal at this stage. In our opinion, the most ambiguous management decisions are made regarding the development of historical nuclei of cities, although from a conceptual point of view in Yekaterinburg they are more justified. In all cities, insufficient attention is paid to the development of the functional diversity of the territories outside the central zone of cities. The most interesting plans for the transformation of some parts of these areas have Yekaterinburg and Kazan. Kazan is allocated in terms of the scale of the real transformation of the street-road network the same city pays the greatest attention to the renewal of the rolling stock of public transport. Nevertheless, in all the cities under consideration, changes that relate street-road network and public transport, along with a positive effect, can exacerbate many problems.

Keywords: urbanization, transformation of territorial-functional structure, public transport, street-road network, architectural and planning solutions, Ekaterinburg, Kazan, Perm

Противоречивые тенденции изменения территориально-функциональной структуры городов приводят к появлению новых и обострению старых проблем. В то же время новейший опыт позитивных и негативных преобразований требует изучения, сравнения, осмысления и переформатирования в рекомендации по управленческим решениям.

Цель исследования: на основе сравнения трансформационных изменений тер-

риториально-функциональной структуры Екатеринбурга, Казани и Перми выявить ключевые проблемы этих процессов и дать предложения по их решению с учетом опыта рассматриваемых городов и мировых тенденций.

Материалы и методы исследования

По нашему мнению, когда речь идет о городах с миллионным населением, многие трансформационные процессы, как в транспортном каркасе, так и в функциональных зонах городов надо сравнивать в разрезе отдельных городских зон. Е.Н. Перцик [1] выделяет в городах историческое ядро, центральную зону и внешнюю зону. Опираясь на этот подход, мы выделили три части: историческое ядро (ИЯ), зона, примыкающая к историческому ядру (ЗПИЯ – между историческим ядром и внешней зоной), внешняя зона (ВЗ). Далее в разрезе каждой зоны трансформационные изменения в общественном транспорте (ОТ), улично-дорожной сети (УДС), функциональной структуре (ФС), а также архитектурно-планировочные решения (АПР) сопоставлялись с картиной, которую мы как эксперты на данном этапе принимали за оптимальную (табл. 1), и оценивались в баллах.

При определении максимального балла, который может быть присвоен по критерию экспертами, также устанавливался вес этого критерия. При этом общая сумма баллов по каждому критерию в целом и в разрезе отдельных зон должна быть одинаковой (соответственно, 30 и 10 баллов). При формулировке критериев № 14–18 использовались подходы О.А. Швидковского [1, с. 240].

Результаты исследования и их обсуждение

На результат оценки изменений в *системах общественного транспорта городов* (табл. 2) повлияло лидирующее место Казани в России (без учета столицы) по количеству коридоров и протяженности выделенных полос для ОТ, масштабам обновления подвижного состава всех видов ОТ (в Перми и Екатеринбурге в последние два года заметно обновился только автобусный парк), но действия городских властей по отношению к городскому трамваю очень противоречивы. Масштабные работы по созданию трамвайного городского кольца сочетались с деструктивными процессами, приведшими к тому, что сеть с тремя циклами по классификации С.А. Тархова [2] превратилась в сеть-дерево, лишь фрагментарно присутствующую в ИЯ. На низкий итоговый результат Перми повлияли: слабое развитие трамвайной сети, отсутствие реального строительства новых линий при периодически озвучиваемых планах, значительное сокращение количества рейсов, продолжающееся ухудшение качества путевой инфраструктуры, что в 2017 г. привело к снижению скорости движения трамвайных поездов. При отсутствии метрополитена необходимо изменение самого подхода к развитию трамвайной инфраструктуры, которая должна по своим техническим характеристикам в ЗПИЯ и ВЗ приближаться к уровню инфраструктуры ЛРТ и комбинированного рельсового транспорта с опорой на европейский опыт [3, 4].

Городские электропоезда недостаточно интегрированы в систему городского транспорта всех городов, а планы по ликвидации участка Горнозаводской железной дороги в ИЯ Перми могут привести к окончательному их «вымыванию» из системы городского транспорта.

Наиболее позитивные тенденции в развитии УДС характерны для ИЯ Екатеринбурга и Казани. Развиваются пешеходные зоны на екатеринбургской набережной Исети и ул. Вайнера, благодаря этому формируется сразу два пешеходных коридора, пересекающих ИЯ с севера на юг. В Казани создан пешеходный коридор, который почти полностью пересекает ИЯ по диагонали (набережная р. Казанки, район Казанского кремля, ул. Баумана, ул. Петербургская), пешеходной является улица К. Насыри в Старо-Татарской слободе, рядом с которой набережная озера Кабан, часть которой благодаря реконструкции в 2018 г. превратилась в привлекательное общественное пространство. Пешеходные зоны в ИЯ и ЗПИЯ Перми получили слабое развитие (часть ул. Пермской, обладающая слабой аттрактивностью, постепенно реконструируемые Эспланада и набережная Камы). Пермь наиболее далека и от обеспечения полной связности пешеходных зон. В создании условий для велосипедного движения в ИЯ наиболее преуспели Казань и Пермь. Во всех трех городах пока не проводится системной работы по созданию перехватывающих паркингов у границ ЗПИЯ и ВЗ (в местах пересечения радиальных магистралей и внутренних объездных дорог, маркирующих границу ЗПИЯ и ВЗ) как элементов будущих транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Автодорожная инфраструктура для этих паркингов в большей степени подготовлена в Казани, в меньшей степени – в Перми.

Таблица 1

Критерии трансформации территориально-функциональной структуры

Сфера	Зона города	Картина трансформационных изменений, которую авторы на данном этапе считают оптимальной		
		№	Описание критерия	Балл
1	2	3	4	5
ОТ	Все	1	Наличие и развитие комфортабельного общественного транспорта, в первую очередь рельсового	4
	Все	2	Обеспечение движения общественного транспорта строго в соответствии с расписанием, достигаемое преимущественно административными мерами в ИЯ (выделенные полосы, платные парковки, платный въезд в пределы исторического ядра, неотвратимость наказания за создание помех общественному транспорту), как административными, так и технологическими мерами в ЗПИЯ (обособленные линии рельсового транспорта, стремление приблизить условия движения к ЛРТ или метро), преимущественно технологическими мерами в ВЗ	6
УДС	ИЯ	3	Развитие пешеходных пространств (создание пешеходных улиц, расширение и благоустройство тротуаров), создание сети преимущественно подземных парковок для проживающих в пределах ИЯ с внедрением механизмов, стимулирующих обязательное пользование ими, создание ограниченного количества платных гостевых парковок	6
	ИЯ, ЗПИЯ	4	Создание условий для велосипедного движения	4
	ЗПИЯ, ВЗ	5	В ЗПИЯ: создание сети парковок для проживающих в пределах зоны и ограниченного числа платных гостевых парковок, наличие двухуровневых развязок на пересечении границы большого центра с радиусами. В ВЗ: наличие перехватывающих парковок, решение проблемы паркинга для местных жителей и гостей	6
	ВЗ	6	Наличие (создание) внешней объездной автомобильной дороги с многоуровневыми развязками	4
ФС	ИЯ	7	Обоснованное и взвешенное развитие креативных индустрий, развитие сферы обслуживания, не приводящее к конфликту с укрепляющейся историко-культурной функцией	4
	ИЯ	8	Снятие противоречий между производственными и непроизводственными функциями наиболее приемлемыми для конкретного случая методами (вынос производства, устранение его негативного влияния, его диверсификация, вовлечение в развитие туристской деятельности, основанной на применении интерактивных технологий)	4
	ИЯ	9	Внедрение механизмов, позволяющих сделать оптимальным присутствие селитебной функции	2
	ЗПИЯ	10	Развитие максимального функционального разнообразия, достижение гармоничного сочетания всех функций, акцент на эксперимент, формирование креативных индустрий, формирование компактного делового центра	6
	ЗПИЯ	11	Развитие садово-парковых пространств	4
ФЗ	ВЗ	12	Диверсификация функциональной структуры, формирование важных общегородских аттракторов, превращающих город в полицентричную систему	6
	ВЗ	13	Комплексный подход к развитию районов нового жилищного строительства с комфортной средой, обеспечение пешеходной доступности к повседневным и периодическим услугам	4
АПР			Эффективные управленческие решения, позволяющие:	
	ИЯ	14	сохранять (и обогащать – для ЗПИЯ, и создавать – для ВЗ) информационно-художественный потенциал, глубину и многоплановость образов, связанных с исторической преемственностью и концентрацией архитектурных идей	4
	ЗПИЯ, ВЗ	14		3
	ИЯ	15	исключить фальшивое соотношение пространств и объемов, диссонансы в системе доминант городского силуэта, неуместные формы и детали благоустройства	4
	ИЯ	16	достичь адекватности природных условий города и градостроительной композиции	2
	ЗПИЯ, ВЗ	16		3
	ЗПИЯ, ВЗ	17	делать более гармоничным соотношение пространств и объемов, устранять и смягчать диссонансы в системе доминант городского силуэта, избегать неуместных форм и деталей благоустройства	2
	ЗПИЯ, ВЗ	18	достичь гармоничного сочетания уюта «микропространств» и привлекательности панорамных городских видов	2

Таблица 2

Изменения территориально-функциональной структуры

Сфера	Зона города	Номер качественной характеристики	Оптимальная картина, максимальный балл	Фактическая картина в городах, балл		
				Екатеринбург	Казань	Пермь
ОТ	ИЯ	1	4	3	1	1
		2	6	2	4	3
	ЗПИЯ	1	4	3	2	1
		2	6	3	4	3
	ВЗ	1	4	3	2	1
		2	6	3	3	3
	Итого	1,2	30	17	16	12
УДС	ИЯ	3	6	5	5	2
		4	4	1	2	2
	ЗПИЯ	5	6	3	4	2
		4	4	1	1	1
	ВЗ	5	6	2	2	1
		6	4	3	3	3
	Итого	3–6	30	15	17	11
ФС	ИЯ	7	4	3	2	1
		8	4	2	3	2
		9	2	0	0	0
	ЗПИЯ	10	6	2	2	1
		11	4	2	3	2
	ВЗ	12	6	2	2	3
		13	4	1	0	0
	Итого	7–13	30	12	12	9
АПР	ИЯ	14	4	2	1	1
		15	4	2	2	1
		16	2	1	1	1
	ЗПИЯ	14	3	1	1	1
		17	2	1	1	1
		16	3	1	1	0
		18	2	0	1	0
	ВЗ	14	3	1	1	0
		17	2	0	0	0
		16	3	1	1	0
		18	2	1	1	1
	Итого	14–18	30	11	11	6
Всего		1–18	120	55	56	38

Применительно к регулированию процессов изменения *функциональной структуры* ИЯ наиболее интересен опыт Екатеринбурга, где постепенно формируется обширное общественное пространство Екатеринбург-Сити (его элементом является Ельцин-центр), новые музеи, международный выставочный центр «Главный проспект» и др. В целом соблюдается динамическое равновесие между историко-культурной функцией, сферой облуживания, селитебной и деловой функциями. Казань – обладатель интересного опыта замены промышленных сервисными функциями в ИЯ («Резиденция креативных индустрий «Штаб»», театральная площадка «Угол», расположенные в помещении бывшей швейной фабрики [5]. Подход к преобразованию части ИЯ Перми, занятого предприятием «Ремпутьмаш», заключающийся в простом переносе этого производственного объекта с выкупом земельного участка на бюджетные средства и последующим размещением на освободившейся площадке художественной галереи и других объектов культуры, представляется весьма спорным.

В результате упущен шанс по формированию новых интерактивных музейных зон, связанных с индустриальным наследием города, раскрывающих роль уникального транспортно-географического положения в его развитии В целом для ИЯ и ЗПИЯ Перми характерна непоследовательность в предпринимаемых действиях: постоянно меняются планы и откладываются сроки строительства (реконструкции) зданий театра оперы и балета (достижения творческих коллективов которого хорошо известны в стране и мире), художественной галереи, концертного зала филармонии, не принято окончательное решение о функциональном наполнении пешеходной части ул. Пермской и Разгуляя, где уничтожено много средовых объектов, которые могли бы стать опорой для функционального обогащения городской среды. Разная ситуация сложилась в городах по обеспечению оптимального присутствия селитебной функции в ИЯ. Если в Екатеринбурге и Перми массовая жилищная застройка продолжает проникать в пределы ИЯ, усиливая ее чрезмерное присутствие, то в Казани остро стоит вопрос возвращения жителей в ИЯ при сохранении историко-культурного наследия.

Наиболее масштабная функциональная диверсификация с насыщением новыми функциями ЗПИЯ характерна для Казани, где появилось много знаковых объектов: «Центр семьи Чаша (Казан)», аквапарк «Ривьера», Дворец водных видов спорта, стадион «Казань-Арена» и др. Город демонстрирует и наиболее последовательную политику по развитию озелененных пространств. Больше всего проектов по формированию значимых общегородских аттракторов в ВЗ у Екатеринбурга.

Сфера АПР – наиболее проблемная и противоречивая во всех трех городах. На наш взгляд, в ИЯ Екатеринбурга в целом информационно-художественный потенциал ядра сохраняется благодаря устойчивости градостроительных «каркаса» и «ткани» [6] во многих наиболее важных его частях. Основные этапы развития города прослеживаются в застройке проспекта Ленина, во многих ракурсах панорам, открывающихся на набережной Исети и городского пруда. В двух других городах характерны значительные нарушения градостроительной «ткани», обилие не всегда качественных новоделов. Казанская программа ликвидации ветхого жилья, с одной стороны, позволила обеспечить население современными квартирами, а с другой, спровоцировала утерю значительного пласта историко-культурного наследия. Применительно к Перми можно констатировать упущенные шансы по созданию глубокого и многопланового образа города, раскрывающего этапы своего развития в архитектуре при движении по ул. Ленина от Разгуляя к Эспланаде или при осмотре города с панорамной точки у планетария.

Богатое конструктивистское прошлое Екатеринбурга и продвигаемый статус евразийской столицы подготовили фундамент для внедрения высотного строительства в ИЯ (в пределах Екатеринбург-Сити), которое в случае завершения сделает панораму вокруг городского пруда более логичной и завершенной. Напротив, привязка первого небоскреба «Высоцкий» с некоторых ракурсов выглядит очень спорной. В Казани и Перми предпосылок для развития высотного строительства в ИЯ нет, по генезису это типичные европейские города. Поэтому ИЯ этих городов сильно пострадали визуально от застройки многоэтажными зданиями, не вписывающимися в общий градостроительный контекст.

Позитивные примеры обогащения информационно-художественного потенциала ЗПИЯ имеются в Екатеринбурге («ткань» и «плазма» кварталов западнее ул. Московской вокруг стадиона «Екатеринбург-Арена»), в Казани (правобережная часть Казанки с сооружениями спортивно-рекреационного назначения), но много и противоположных примеров.

Выводы

Трансформационные процессы, происходящие в трех городах, пока не соответствуют оптимальному представлению о них, необходима существенная корректировка управленческих решений, принимаемых по развитию рассмотренных сфер.

Важно учитывать: опыт Екатеринбурга по сохранению и развитию трамвайной системы, функциональной трансформации ИЯ, которая сочетается с архитектурно-планировочными решениями, осмысленными с точки зрения генезиса городской среды и концептуально обоснованными; опыт Казани по обновлению подвижного состава общественного транспорта, созданию коридоров для его беспрепятственного движения, трансформации функциональной структуры отдельных частей ЗПИЯ, проведению системной работы по улучшению социальных функций и инфраструктуры парков и скверов; опыт Екатеринбурга и Казани по формированию обширных пешеход-

ных зон, насыщению их аттрактивными видами деятельности. Самыми проблемными во всех городах являются процессы трансформации функциональной структуры, особенно с точки зрения создания новых аттрактивных функций в ВЗ, формирования многофункциональных ТПУ на границе ЗПИЯ и ВЗ, согласованного с развитием УДС, и сфера архитектурно-планировочных решений, в первую очередь в части застройки исторических ядер городов и дефицита интересных идей по формированию благоприятной среды жизнедеятельности населения в ВЗ.

Список литературы / References

1. Перцик Е.Н. Геоурбанистика М.: Издательский центр «Академия», 2009. 432 с.

Percik E.N. Geoourbanistics. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2009. 432 p. (in Russian).

2. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск-М.: Универсум, 2005. 384 с.

Tarkhov S.A. Evolutionary morphology of transport networks. Smolensk-M.: Universum, 2005. 384 p. (in Russian).

3. Райскин Б.М. Трамвай-поезд компании Alstom в Касселе // Железные дороги мира. 2009. № 12. С. 21–28.

Raiskin B.M. Tram-train of Alstom company in Kassel // Zheleznyye dorogi mira. 2009. № 12. P. 21–28 (in Russian).

4. Трамвай-поезд в Мюлузе // Железные дороги мира. 2011. № 9. С. 32–35.

Tram-train in Mulhouse // Zheleznyye dorogi mira. 2011. № 9. P. 32–35 (in Russian).

5. Хуснутдинова С.Р. Полицентрия города и агломерация (на примере Казани) // Россия и ее регионы в полимасштабных интеграционно-дезинтеграционных процессах: материалы междунар. науч. конф. в рамках VIII ежегод. науч. ассамблеи Ассоциации российских географов-обществоведов. Пермь: ПГНИУ, 2017. С. 445–449.

Khusnutdinova S.R. Polycentricity and agglomeration (on the example of Kazan) // Russia and its regions in polylarge-scale integration and disintegration processes: materials of international scientific conf. within the VIII ezhegod. scientific. assemblies of Association of the Russian geographers-social scientists. Perm: PGNIU, 2017. P. 445–449 (in Russian).

6. Лейзерова А.В. Устойчивость «каркаса» и «ткани» исторических кварталов на примере г. Екатеринбурга // Современное строительство и архитектура. 2016. № 4 (04). С. 10–17. DOI: 10.18454/mca.2016.04.5.

Leyzerova A.V. Sustainability of «framework» and «fabric» of historic quarters in the case of Ekaterinburg city // Sovremennoye stroitel'stvo i arkhitektura. 2016. № 4 (04). P. 10–17 (in Russian). DOI: 10.18454/mca.2016.04.5.

УДК 911.2:550.4(571.53/.55)

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Ноговицына М.А.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: 25051204@mail.ru

Для территории Южного Прибайкалья было проведено физико-географическое районирование территории. Материалами для физико-географического районирования Южного Прибайкалья послужили картографические материалы (комплексные и отраслевые карты), литературные источники, полевые исследования. Использовались методы ведущего фактора, сопряженного анализа компонентов геосистем, сравнительно-географический, картографический. Общность геологического развития территории, современные неотектонические движения, геолого-тектоническое строение, характер отложений, основные орографические преграды, вещественно-энергетические показатели, распределение почв и растительности, т.е. анализ зональных и азональных факторов дифференциации геосистем вкупе с установлением пространственных взаимоотношений между компонентами геосистем позволили выделить три провинции. Хамар-Дабанская горно-таежная темнохвойная провинция характеризуется горным рельефом, разнообразием орографических и микроклиматических условий. По долинам крупных рек, где отмечается повышенный приток эндогенного тепла, получили развитие геосистемы с участием в составе реликтовых и эндемичных видов растений, реликтовые почвы (буроземы). В прибрежной полосе встречаются субальпийские виды: рододендрон золотистый и кедровый стланик. Тункинская котловинная сухостепная провинция отличается мощным слоем флювиогляциальных и ледниковых отложений, из-под которых местами выступают магматические породы. Происходит сочетание резко различных по увлажнению ландшафтных условий – сухость воздуха с высокими летними температурами воздуха, заболоченность почв и эоловые массивы. Такие специфические условия определили развитие здесь подтаежных светлохвойных травяных и лугово-болотных гидроаккумулятивных геосистем. Восточно-Саянская альпинотипная горно-тундровая провинция. Экстраконтинентальные условия, альпинотипный крутосклонный рельеф Тункинских гольцов, замкнутость Окинского плоскогорья и распространение здесь базальтовых покровов определило формирование горных тундр и подгольцовых редколесий из кедра и лиственницы, а также ерников, которые являются молодыми видами. Выделенные физико-географические провинции сохраняют территориальную целостность и внутреннее единство, вытекающее из общности исторического развития, географического положения, единства географических процессов и пространственной сопряженности отдельных составных частей.

Ключевые слова: районирование, провинция, фактор, метод, Южное Прибайкалье, геосистема

PHYSICO-GEOGRAPHICAL ZONING OF THE SOUTHERN BAIKAL REGION

Nogovitsyna M.A.

V.B. Sochava Institute Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: 25051204@mail.ru

For the territory of the southern Baikal was carried out physical and geographical zoning of the territory. Materials for the physical and geographical zoning of the southern Baikal region were cartographic materials (complex and sectoral maps), literary sources, field studies. Methods of the leading factor, conjugate analysis of components of geosystems, comparative-geographical, cartographic were used. The commonality of the geological development of the territory of the modern neotectonic movements, geological-tectonic structure, the nature of the sediments, the major orographic barriers, material and energy indicators, the distribution of soils and vegetation, i.e. the analysis of the zonal and atonally factors of differentiation of geosystems, coupled with the establishment of spatial relationships between the components of geosystems, has allowed to allocate three provinces. Khamar-Daban mountain taiga dark coniferous province is characterized by mountainous terrain, a variety of orographic and microclimatic conditions. In the valleys of large rivers, where there is an increased influx of endogenous heat, geosystems have been developed with the participation of relic and endemic plant species, relict soils (burozems). In the coastal zone there are subalpine species: rhododendron Golden and cedar elfin. Tunka basin dry-steppe province is characterized by a powerful layer of fluvioglacial and glacial deposits, from under which there are igneous rocks. There is a combination of sharply different humidification landscape conditions-dry air with high summer temperatures, waterlogged soils. These specific conditions determined the development of the subtaiga and of the light coniferous grass meadow-marsh hydroaccumulating geosystems. East Sayan Alpine-type mountain-tundra province. Extracontinental conditions, steep slopes of Alpine-type relief of the Tunka bald mountains, the isolation, the Oka plateau and spreading basaltic sheets, determined the formation of Alpine tundra and subalpine open woodlands of pine and larch and dwarf birch, which are the young types. The selected physical and geographical provinces preserve their territorial integrity and internal unity arising from the common historical development, geographical location, unity of geographical processes and spatial conjugacy of individual components.

Keywords: zoning, province, factor, method, Southern Baikal, geosystem

Физико-географическое районирование – процесс выявления индивидуальных физико-географических различий, исторически сложившихся в результате воздействия на земную поверхность зональных и азональных факторов [1].

Главными методами физико-географического районирования являются: метод ведущего фактора, метод сопряженного анализа компонентов геосистем, полевые исследования, выявление региональных комплексов на основе ландшафтно-типологической карты. То есть проводится анализ зональных и азональных факторов дифференциации геосистем, устанавливаются пространственные соотношения между компонентами геосистем.

История геологического развития территории, современные неотектонические движения, геолого-тектоническое строение, характер отложений, основные орографические преграды, вещественно-энергетические пока-

затели, распределение почв и растительности позволяют установить границы провинций.

Выделенные физико-географические провинции сохраняют территориальное единство и внутреннюю целостность, так как они сопряжены с историческим развитием и формированием территории, общностью физико-географических процессов, пространственно-временной сопряженности элементов, составляющих провинции.

Цель исследования – составление схемы физико-географического районирования Южного Прибайкалья с учетом особенностей Байкальской рифтовой зоны, которой присущи увеличенные показатели эндогенного термического потока, базальтовый вулканизм неоген-четвертичного периода, повышенная сейсмическая и тектоническая активность.

Материалы и методы исследования

Материалом для составления схемы физико-географического районирования Южного Прибайкалья послужили данные полевых маршрутных наблюдений, картографические материалы на территорию, космические снимки и данные дистанционного зондирования Земли, литературные источники (научные публикации, монографии, отчеты научных экспедиций и др.). Использовался комплекс методов: сравнительно-географический, исторический, картографический, ландшафтно-индикационный, дистанционный. Данные материалы и методы исследования обеспечили обоснованность и достоверность полученных результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Территория Южного Прибайкалья располагается в границах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Южное Прибайкалье составляют хр. Хамар-Дабан (северный и северо-восточный макросклоны), Тункинская ветвь котловин (котловины Быстринская, Торская, Тункинская, Туранская, Хойтогольская, Мондинская), Восточный Саян (юго-восточная часть).

Разнообразие и неоднородность ландшафтной структуры Южного Прибайкалья определяется отличительными характеристиками:

– расположением территории в границах крупных тектонических подразделений – Байкальской рифтовой зоны и Саяно-Байкальской орогенической зоны, наличием крупных разломов;

– неоднородным пространственно-временным геологическим строением;

– увеличенными показателями эндогенного термического потока, базальтовым вулканизмом неоген-четвертичного периода, повышенной сейсмической и тектонической активностью;

– расположение в центральной континентальной части Евразии, удаленность территории от океанов и морей;

– положение территории около глубочайшего пресноводного озера Байкал;

– сочетанием различных морфологических структур: водная гладь оз. Байкал, котловинная территория, горная местность (от низкогорий к высокогорьям);

– разнообразием климатических условий и орографических условий местности;

– разнородностью ландшафтов территории, с разновременными компонентами геосистем (древними и молодыми), наличием значительного количества реликтовых и эндемичных компонентов.

Согласно схеме физико-географического районирования СССР под ред. Н.А. Гвоздецкого [1], территориально Южное Прибайкалье относится к Саянской и Прибайкальской областям гор Южной Сибири, включая три провинции: Байкальскую, Хамар-Дабанскую, Окинскую. В.С. Михеев и В.А. Ряшин [2] при составлении схемы физико-географического районирования, в рамках Байкало-Джугджурской горнотаежной и Южносибирской горной областей выделили три провинции: горно-таежную котловинную Хамар-Дабанскую, горнотаежную гольцовую Окинско-Саянскую и гольцово-горнотаежную Прибайкальскую.

Необходимость новой схемы физико-географического районирования Южного Прибайкалья объясняется тем, что при выделении провинций и их границ пристальное внимание уделялось азональным факторам: тектоническим структурам, районам с повышенными значениями термического потока, проявлениями неоген-четвертичного вулканизма. Для предыдущих схем районирования ведущими факторами в выделении физико-географических провинций являлись зональные, а роль азональных зачастую недооценивалась.

Материалами для физико-географического районирования территории послужили картографические источники (комплексные и отраслевые карты), литературные материалы, собственные полевые исследования. В итоге для территории Южного Прибайкалья была составлена схема физико-географического районирования. Выделено 3 провинции: Хамар-Дабанская

горно-таежная темнохвойная, Тункинская котловинная сухостепная и Восточно-Саянская альпинотипная горно-тундровая. Названия провинций отражают территориальную принадлежность и наиболее характерные черты каждой из провинций.

Хамар-Дабанская горно-таежная темнохвойная физико-географическая провинция территориально приурочена к северному макросклону и северо-западным отрогам западной части хребта Хамар-Дабан. Абсолютные отметки высот достигают здесь 2994 м, рельеф провинции горный, но с разнообразными орографическими условиями: от предгорных равнин и речных долин до высокогорий. Многообразие форм рельефа, совокупность термического воздействия оз. Байкал и в целом положение данной территории обеспечивают разнообразие микроклиматических условий.

Для высокогорий Хамар-Дабана свыше 1500 м типичны крутые склоны с сильной расчленностью, зачастую осыпных и щебенчатых. Пояс высот от 800 до 1500 м охватывает среднегорье: «мягкие» очертания гребней водоразделов, склоны, по сравнению с высокогорьем, относительно пологие. Также в среднегорье встречаются участки поверхностей выравнивания. Низкогорный рельеф характерен для высот менее 800 м, это нижние участки склонов, предгорные равнины и террасы, участки долин рек. Значительное воздействие на рельеф Хамар-Дабана оказывали горное оледенение четвертичного периода, древняя пенепленизация, сильное выветривание, базальтовые покровы и гранитоидные интрузии [3].

Особенности простирания хребта Хамар-Дабан обеспечивают существенное разнообразие климатических условий провинции. Здесь выделяют 4 типа мезоклимата, которые дифференцируются в зависимости от термического влияния оз. Байкал, ориентации склонов и абсолютной высоты местности. Наветренные склоны, обращенные к озеру Байкал, получают наибольшее количество осадков, до 1450 мм (Снежная, Хамар-Дабан) в год: в зимний период это обеспечивает мощный снежный покров [4, 5]. В своих трудах Л.Н. Тюлина отнесла тип высотной поясности Хамар-Дабанской горно-таежной темнохвойной провинции к «влажному прибайкальскому гумидно-психрофитному» [6].

На сегодняшний день специфика данной провинции заключается в следующем: наличие неморальных реликтов неоген-палеогенового периодов; верхняя граница леса, образованная пихтой, на высотах 1100–1600 м; субальпийские виды, представленные в низкогорье, в прибрежной полосе; развитие высокогорных гольцовых геосистем в условиях очень холодного и влажного климата; наличие буроземов, сформировавшихся под влиянием относительно мягкого климата [7].

По долинам крупных рек, которые чаще всего соответствуют разломам, наблюдаются повышенные значения эндогенного термического потока. Это такие реки как Слюдянка, Безымянная, Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Паньковка, Снежная. Здесь, в травяном покрове, под пологом тополевых и пихтовых лесов, сосредоточены реликтовые и эндемичные виды: *Anemone baicalensis*, *Aegopodiym latifolium, Primula pallasii*, *Chrysosplenium baicalense*, *Waldsteinia ternata, Galium triflorum*, *Asperula odorata*, *Cystopteris montana*, *Anemonoides altaica*, *Botrichium virginianum*, *Daphne mezereum, Corydalis bracteata*, *Aconitum sukaczevii*, *Veronica officinalis, Carex nancockiana*, *Poa rtmota, Gallium triflorum* (рис. 1).

Рис. 1. Анемона байкальская (Anemone baicalensis) – эндемичный вид Южного Прибайкалья (долина р. Снежная)

Границами Тункинской котловинной сухостепной провинции служат системы разломов. От Хамар-Дабанской провинции, расположенной южнее, Тункинская провинция отделена зоной коротких разломов, имеющих разное простирание (субширотное и северо-западное). Несмотря на то, что в рельефе это выражено нечетко, наличие данных разломов фиксируется в многочисленных литературных и картографических источниках. На севере границы Тункинской

провинции выражены более четко, как значительное возрастание высот от северного борта Тункинской впадины в хр. Тункинские гольцы. Это связано с наличием здесь двух крупных разломов – Мондинского и Тункинского.

Котловины провинции имеют мощный чехол отложений, преимущественно ледниковых и флювиогляциальных [8]. В отдельных местоположениях обнажаются магматические породы (базальты, шлаки, туфы) в виде вулканических конусов, гряд, холмов; прежде всего вдоль склонов хр. Хамар-Дабан в южной части и в центральной и восточных частях провинции. Это свидетельствует о происходивших здесь периодических базальтовых излияниях. Одним из самых главных свидетельств этого служит Улярбский вулкан, высота которого в настоящее время 120 м [9] (рис. 2).

Рис. 2. Улярбский вулкан

В центральной части Тункинской провинции располагаются эоловые массивы. Это урочище Бадар, сложенное озерными песками (средний плейстоцен), и развиваемые пески низких террас р. Иркут [10].

Среднегодовые значения температуры воздуха колеблются в пределах от –1,5 °С (Аршан) до –3,8 °С (Кырен). Климат котловины засушливый, с небольшим количеством годовых осадков (360–550 мм), которые территориально распределены неравномерно [8].

Склоны Хамар-Дабана, входящие в состав Тункинской провинции, заняты сосново-лиственничными бруснично-травяными группами фаций на серых лесных почвах. Склоновые местоположения в северной части провинции – лиственничными травяными группами фаций. По днищу котловины широкое развитие получили степные (кобрезиево-злаковые) геосистемы. Наиболее пониженные участки вдоль рек, пойменно-долинный комплекс зачастую заболочен. Здесь распространение получили следующие группы фаций: травяно-осоковые и вейниково-разнотравные луговые, остепненные ковыльно-житняковые на аллювиальных дерновых и лугово-болотных почвах. На песчаных отложениях урочища Бадар представлены лишайниковые сосняки.

Сочетание контрастных физико-географических условий – засушливость воздуха и заболоченность почв пойменно-долинного комплекса – определяют специфичность развития здесь подтаежных светлохвойных травяных и лугово-болотных гидроаккумулятивных геосистем.

Для Тункинской котловинной сухостепной провинции характерно общее повышенное тепловое поле, разгрузка многочисленных минеральных термальных вод. Значения геотермального потока из недр Земли в среднем 5,4–7,5·10^{-6} Дж/(см^2·с), с наибольшими значениями вдоль долины р. Иркут, по широким прямолинейным участкам р. Зун-Мурин, у населенных пунктов Аршан, Жемчуг, Тунка, Нилова Пустынь [8].

В районах, где фиксируются наибольшие значения геотермального потока и выходы терм, представленное большое число реликтовых и эндемичных компонентов геосистем: *Gentiana decumbens*, *Eutrema cordifolium, Botrychium virginianum, Eritrichium sajanense, Orchis militaris, Pulsatilla ambigua, Gagea granulosa, Caragana jubata, Botrychium lanceolatum Eremogone formosa, Ophioglossum vulgatum, Camptosorus sibiricus* и др.[8].

Восточно-Саянская альпинотипная горно-тундровая провинция является высокогорной (абс. высота 3284 м) и включает в себя массив Мунку-Сардык, Окинское плоскогорье (южная оконечность), Тункинские гольцы. Альпинотипный рельеф провинции характеризуется значительным вертикальным расчленением (от 600 до 1200 м), гребнями хребтов зубчатой и пилообразной форм, заостренными пиками. Наблюдается большое количество ледниковых цирков, каров и карлингов, являющимися элементами древнеледниковой морфоскульптуры. Совокупность крутых склонов и сильной расчлененности рельефа предопределило развитие гравитационных и криогенных экзогенных процессов: осыпи, десерпция, обвалы, солифлюкция, склоновые сели, курумообразование [11].

Климат провинции экстраконтинентальный, со значительными амплитудами абсо-

лютных температур. Средняя температура июля отрицательна, от –6 до –10 °С. 70% осадков приходится на теплое время года. Повсеместно развита многолетняя мерзлота.

Здесь получили широкое развитие гольцовые альпинотипные с явлениями гляциального рельефа геосистемы. Гольцовый пояс представлен осоко-моховой, лишайниковой и щебенчато-лишайниковой группами фаций. Верхние части склонов заняты преимущественно мохово-травяными кедрово-лиственничными редколесьями.

В пространственном размещении геосистем Окинского плоскогорья прослеживается дифференциация, связанная прежде всего с уровнем увлажнения. В пределах восточной части плоскогорья широкое распространение получили островные горностепные геосистемы, а в западной – луговые, заболоченные на аллювиальных перегнойно-глеевых и торфяно-глеевых почвах [3].

На магматических породах (преимущественно базальтах) в южной оконечности Окинского плоскогорья представлены темнохвойные (еловые) мохово-лишайниковые группы фаций. Кустарниковый подлесок составляют *Ribes spicatum, Lonicera altaica, Caragana arborescens, Berberis sibirica.* Почвы маломощные, фрагментарные [8].

Заключение

В результате выполненных исследований было проведено физико-географическое районирование территории Южного Прибайкалья. На основе анализа геологического развития территории, характера современных неотектонических движений, геолого-тектонического строения, рельефа местности, климатических особенностей, распределения почв и растительности, было дифференцировано три физико-географические провинции: Хамар-Дабанская горно-таежная темнохвойная, Тункинская котловинная сухостепная, Восточно-Саянская альпинотипная горно-тундровая. Данные провинции представляют собой совокупность геосистем, объединенных в структурно-динамическом плане и обладающих пространственной целостностью.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00902.

Список литературы / References

1. Физико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во МГУ, 1968. 575 с.

Physical and geographical zoning of the USSR. M., 1968 575 p. (in Russian)

2. Михеев В.С., Ряшин В.А. Физико-географическое районирование. Карта. М-б 1:8 000000 // Врезка на карте Ландшафты Юга Восточной Сибири. М 1:1500000. Общ. ред. В.Б. Сочавы. М.: ГУГК, 1977.

Mikheev V.S., Ryashin V.A. Physico-geographical zoning. Map. M-b 1:8 000000 // Inset on the map the Landscapes of the South of Eastern Siberia. Scale 1:1500000. General. edited by V.B. Sochava. M.: GUGK, 1977 (in Russian).

3. Котовщикова М.А. Развитие геосистем Южного Прибайкалья в условиях рифтогенеза // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 54–61.

Kotovshchikova M.A. Development of geosystems of the southern Baikal region in conditions of riftogenesis // Geografija i prirodnye resursy. 2014. № 2. P. 54–61 (in Russian).

4. Ноговицына М.А. Самоорганизация геосистем Южного Прибайкалья // Известия ИГУ. Серия «Науки о Земле». 2016. Т. 18. С. 91–104.

Nogovitsyna M.A. Self-Organization of geosystems of the southern Baikal region // Izvestiya IGU. Seriya «Nauki o Zemle». 2016. Vol. 18. P. 91–104 (in Russian).

5. Трофимова Е.И., Балыбина А.С. Климатическая организация горной системы Хамар-Дабан // Исследования территориальных систем: теоретические, методологические и прикладные аспекты: материалы Всероссийской научной конференции. Киров: Изд-во «Лобань», 2012. С. 130–131.

Trofimova E.I., Balybina A.S. Climatic organization of the mountain system Khamar-Daban // Researches of territorial systems: theoretical, methodological and applied aspects: materials of the All-Russian scientific conference. Kirov, 2012. P. 130–131 (in Russian).

6. Тюлина Л.Н. Влажный прибайкальский тип поясности растительности. Новосибирск: Наука, 1976. 319 с.

Tyulina L.N. Humid Baikal type of altitudinal zones of vegetation. Novosibirsk, 1976. 319 p. (in Russian).

7. Белозерцева И.А. Особенности почвенного покрова северо-восточного склона хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–6. С. 1077–1080.

Belozertseva I.A. Soil cover Features of the North-Eastern slope of the Khamar-Daban ridge (southern Baikal Region) / Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2016. № 11–6. P. 1077–1080 (in Russian).

8. Выркин В.Б. Экзогенные процессы и тенденции современного преобразования рельефа котловин байкальского типа // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Труды Всероссийской научной конференции с международным участием. Казань: Изд-во Бриг, 2009. С. 37–40.

Vyrkin V.B. Exogenous processes and tendencies of modern transformation of relief of basins of Baikal type // Environment and sustainable development of regions: new methods and technologies of researches. Works of the All-Russian scientific conference with the international participation. Kazan, 2009. P. 37–40 (in Russian).

9. Ноговицына М.А. Самоорганизация геосистем Южного Прибайкалья: автореф. дис. … канд. геогр. наук. Иркутск, 2016. 24 с.

Nogovitsyna M.A. Self-organization of geosystems of the southern Baikal region: abstract. dis. ... kand. geogr. sciences'. Irkutsk, 2016. 24 p. (in Russian).

10. Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А., Филинов И.А. Позднечетвертичное осадконакопление в Тункинской рифтовой долине (Южное Прибайкалье) // Отечественная геология. 2008. № 3. С. 98–105.

Ufimtsev G.F., Shchetnikov A.A., Filinov I.A. Late Quaternary sedimentation in the Tunka rift valley (southern Baikal region) // Otechestvennaya geologiya. 2008. № 3. P. 98–105 (in Russian).

11. Щетников А.А. Морфотектоника юго-западного Прибайкалья и Прихубсугулья // Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2016. № 3 (56). С. 134–143.

Shchetnikov A.A. Morphotectonic South-West Transbaikalia and Praobably // Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. 2016. № 3 (56). P. 134–143 (in Russian).

УДК 528.8:502.57:614.84

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ

Павлейчик В.М.

ФГБУН «Институт степи» УрО РАН, Оренбург, e-mail: pavleychik@rambler.ru

Приводится анализ апробированных способов и методов идентификации территорий, подвергшихся природным пожарам. Отмечены особенности распространения степных пожаров, ограничивающие возможности применения некоторых источников информации (быстрота распространения огня и остывания поверхности). На основе различий в яркости тонов горелых и негорелых территорий определены минимальное количество и даты космоснимков, необходимых для получения достоверного результата посредством визуального дешифрирования. Методология визуального дешифрирования апробирована на серии ключевых участков Заволжско-Уральского региона; наибольший временной охват был получен по пяти ключевым участкам общей площадью 5098 км²; для этих территорий ранее была сформирована база данных по гарям за 1984–2017 гг. Данные визуального дешифрирования сопоставлены с другими возможными источниками информации: 1) ареалы, полученные в ходе автоматизированной классификации снимков Landsat ГИС-средствами (ENVI, ArcGIS, QGIS) с использованием спектральных преобразований NBR, MIRBI, NDVI и др.; 2) данные «теплового» канала Landsat; 3) архив данных по термоточкам FIRMS (The Fire Information for Resource Management System) за 2001–2017 гг. – результат идентификации тепловых аномалий по снимкам MODIS; 4) изображения, представляющие собой интерпретацию данных по термоточкам FIRMS, выполненную SFMS (ScanEx Fire Monitoring Service) по собственному алгоритму для отображения примерных площадей природных пожаров. Делается вывод о том, что визуальное дешифрирование гарей для степных регионов остается одним из наиболее достоверных способов получения фактической информации, особенно для регионов с разреженным травянистым покровом. Автоматизированная идентификация степных гарей возможна при условии разработки алгоритма многоступенчатой обработки космоснимков, в том числе учитывающего ландшафтную неоднородность и характер землепользования.

Ключевые слова: степные пожары, гари, дешифрирование, достоверность, геоинформационные методы, дистанционное зондирование

EXPERIENCE OF DATA APPLICATION OF REMOTE SENSING IN STUDIES OF STEPPE FIRES

Pavleychik V.M.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: pavleychik@rambler.ru

The analysis of the approved methods and methods of identification of areas affected by wildfires is given. The features of the spread of steppe fires that limit the possibilities of using some sources of information (the speed of spreading the fire and cooling the surface) are noted. Based on the differences in brightness of the tones of burnt and non-burnt areas, the minimum number and dates of satellite images needed to obtain a reliable result by means of visual interpretation are determined. The methodology of visual interpretation has been tested on a series of key sections of the Zavolzhie and Southern Ural region; the largest time coverage was obtained for five key sites with a total area of 5098 km²; for these territories, a database of burnt areas for the years 1984-2017 was previously formed. The data of visual interpretation are compared with other possible sources of information: 1) ranges obtained during the automated classification of Landsat images by GIS tools (ENVI, ArcGIS, QGIS) using spectral transformations of NBR, MIRBI, NDVI, etc.; 2) Landsat «thermal» channel data; 3) FIRMS (The Fire Information for Resource Management System) Thermal Data Archive for 2001-2017. – the result of the identification of thermal anomalies in the MODIS images; 4) images representing the interpretation of data on FIRMS thermal fluxes, performed by SFMS (ScanEx Fire Monitoring Service) using a proprietary algorithm for displaying approximate areas of wildfires. It is concluded that visual decay of burn areas for the steppe regions remains one of the most reliable ways to obtain factual information, especially for regions with sparse grass cover. Automated identification of steppe burns is possible subject to the development of a multi-stage processing algorithm for space images, including one that takes into account landscape heterogeneity and land use patterns.

Keywords: steppe fires, burning, interpretation, reliability, geoinformation methods, remote sensing

Обширное развитие природных пожаров, охвативших различные районы Северной Евразии в последнее десятилетие, привело к осознанию необходимости более детального изучения причин их развития, экологических и социально-экономических последствий [1–4]. Значительный современный интерес к изучению травяных пожаров в степных регионов во многом обусловлен:

а) открывшимися возможностями доступа к материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);

б) проблемами осуществления противопожарных мероприятий на заповедных территориях;

в) необходимостью оценки разнообразных экологических последствий;

г) увеличением ущерба населенным пунктам от распространения огня с прилегающих территорий.

Открытый огонь до сих пор используется сельхозпроизводителями для уничтожения растительных остатков и в качестве доступного способа улучшения кормовых качеств пастбищных и сенокосных угодий [4, 5]. Следует констатировать, что по степным регионам полностью отсутствуют какие-либо официальные сведения о количестве и площадях природных пожаров, что свидетельствует о недостаточном внимании к ним со стороны природоохранных служб и органов власти, несмотря на достаточно разработанную нормативно-правовую базу. Добавим, что травяные пожары, помимо непосредственного воздействия на степные экосистемы и их длительного восстановления, служат поставщиком углерода в атмосферу и влияют на изменение процессов его депонирования почвами [6].

Исходя из того, что природные пожары в настоящее время являются одним из наиболее значимых факторов формирования современных степных ландшафтов и экосистем, наиболее актуальным остается получение достоверных фактических данных, на основе которых возможно проведение анализа пространственно-временных закономерностей их развития и оценки экологических последствий. В рамках исследования получены результаты о возможности применения космоснимков, полученных значительно позже времени развития пожаров, и рассмотрены доступные варианты использования различных данных ДЗЗ.

Материалы и методы исследования

В качестве основного метода получения сведений о площадях гарей было принято визуальное дешифрирование комбинированных снимков Landsat, основанное на экспертной оценке временной серии предпожарных и постпожарных снимков с учетом характерной разницы световых тонов. Методология апробирована на серии ключевых участков Заволжско-Уральского региона; наибольший временной охват был получен по пяти ключевым участкам общей площадью 5098 км². Для этих территорий ранее [4] были дешифрированы гари за 1984–2014 гг., в рамках настоящего исследования временной ряд дополнен гарями за последние годы (2015–2017 гг.). Анализ полученной базы данных позволил выявить максимально возможный многолетний ход развития пожаров и констатировать тенденцию их активизации с начала 2000-х гг. Помимо приведенных ключевых участков визуальное дешифрирование гарей на основе снимков MODIS было проведено для обширного региона (221,4 тыс. км^2), охватывающего сектор степной и прилегающих к ней лесостепной и полупустынной зон в пределах Заволжья, Южного Урала, Предуралья и Зауралья, Северного Прикаспия и Приаралья за характерные (2005, 2010, 2017) годы.

Данные визуального дешифрирования были сопоставлены с другими возможными источниками информации:

1) ареалы, полученные в ходе автоматизированной классификации снимков Landsat ГИС-средствами (ENVI, ArcGIS, QGIS) с использованием спектральных преобразований NBR, MIRBI, NDVI и др.;

2) данные «теплового» канала Landsat;

3) архив данных по термоточкам FIRMS (The Fire Information for Resource Management System) за 2001–2017 гг. – результат идентификации тепловых аномалий по снимкам MODIS;

4) изображения, представляющие собой интерпретацию данных по тепловым аномалиям, выполненную SFMS (ScanEx Fire Monitoring Service) по собственному алгоритму для отображения примерных площадей природных пожаров.

Перечисленные источники информации анализировались на различных пространственных уровнях, от крупных мезорегионов до отдельных ареалов гарей. Оценка временных серий (протяженностью до 2–3 лет) классифицированных изображений и данных тепловых каналов Landsat производилась с целью выявления продолжительности и особенностей восстановления степных экосистем. Также эти исходные и преобразованные изображения Landsat рассмотрены в качестве альтернативы визуальному дешифрированию гарей, выявлена степень их достоверности при идентификации площадей пожаров. Анализ продуктов MODIS по тепловым аномалиям проведен, прежде всего, для получения обзорных сведений о степени подверженности пожарам отдельных географических регионов и в качестве потенциальных данных о многолетней динамике пожаров.

Результаты исследования и их обсуждение

Отметим, что все без исключения материалы ДЗЗ в аспекте поставленной цели

имеют одни и те же потенциальные недостатки, связанные:

а) с моментальностью и определенной периодичностью съемки (отсутствие возможности непрерывного наблюдения за развитием пожаров);

б) особенностями распространения степных пожаров (кратковременность воздействия огня и, как правило, быстротечность его распространения);

в) неблагоприятными метеоусловиями (облачность) на время получения снимков (необходимость анализа серий снимков, неопределенная достоверность данных по тепловым аномалиям);

г) недостаточно высоким пространственным разрешением космоснимков (в первую очередь MODIS), не позволяющим идентифицировать небольшие по площади гари, преобладающие в количественном выражении.

Несмотря на означенные проблемы, каждый из перечисленных источников информации может быть использован как самостоятельно (для решения каких-либо частных вопросов), так и комплексно при задаче получить максимально полную и достоверную информацию о пространственно-временных аспектах распространения природных пожаров, особенно для обширных территорий.

Опыт визуального дешифрирования

Визуальное дешифрирование космических изображений позволяет получить наиболее детальные для идентификации степных пожаров результаты, но остается весьма трудоемким процессом. С учетом редкой периодичности снимков Landsat одним из этапов оценки достоверности полученных результатов стало выявление максимальной удаленности времени получения космических изображений от времени прохождения пожара. Для анализа была выбрана одна из наиболее продолжительных временных серий, состоящая из 15 снимков Landsat за 2009 г. и одного весеннего снимка за 2010 г. для оценки возможности использования для позднеосенних гарей.

Анализировалось распределение яркости изображения по смежным горелым и негорелым участкам по пяти пожарам, наблюдавшимся в различных местах сцены в разные месяцы пожароопасного периода. Рассматриваемые пары фрагментов подбирались с условием, чтобы каждый из них располагался на однотипной поверхности. Определялось значение яркости (средние, медиана и отклонения) по гистограмме в графическом редакторе по стандартной градиентной шкале, от черного (0) до белого (255).

Исходя из того, что анализу подвергались готовые композитные изображения с различными настройками сведения, для расчетов была принята разность значений по негорелой и горелой частям (рис. 1); дополнительно приведена шкала с шагом в 5 единиц, позволяющая примерно оценить степень контрастности между рассматриваемыми негорелыми и горелыми участками и оценить полученные графики. Отмеченные различия на основе значений яркости лишь частично описывают эти различия, так как на композитных изображениях контрастно заметны и цветовые отличия – естественные участки имеют зеленовато-бежевую окраску, а гари от недавних пожаров – от черной до темно-бурой. Идентификации гарей также способствует, как правило, языковатый характер расположения границ.

Полученные результаты свидетельствуют, что композитные изображения достаточно информативны для выявления гарей визуальным способом. Естественно, чем ближе снимок по дате к дню прохождения пожара, тем контрастнее различия тонов гарей и фоновых поверхностей. Наиболее существенное снижение различий между горелыми и негорелыми территориями наблюдается в период активного нарастания растительной фитомассы, вплоть до конца мая – начала июня. Соответственно, ранневесенние (апрель – начало мая) гари могут быть достаточно объективно идентифицированы по снимкам, сделанным не позднее середины мая. Помимо возможного отсутствия снимков за этот короткий период весьма сложна идентификация характерных для региона сельскохозяйственных палов (сжигание стерневых остатков на пахотных угодьях), так как практически сразу же вслед за выжиганием проводится механизированная обработка. Гари летних пожаров достаточно хорошо визуально дешифрируются практически вплоть до начала залегания снежного покрова. Позднеосенние пожары часто не могут быть выявлены из-за отсутствия достаточного количества пригодных для анализа снимков, в том числе из-за неустойчивой облачной погоды и выпадения снежного покрова. Пожары в этот период, как и наблюдаемые в апреле, большей частью связаны с действиями сельхозпроизводителей. В этих случаях вполне возможно использование ранневесенних снимков последующего года.

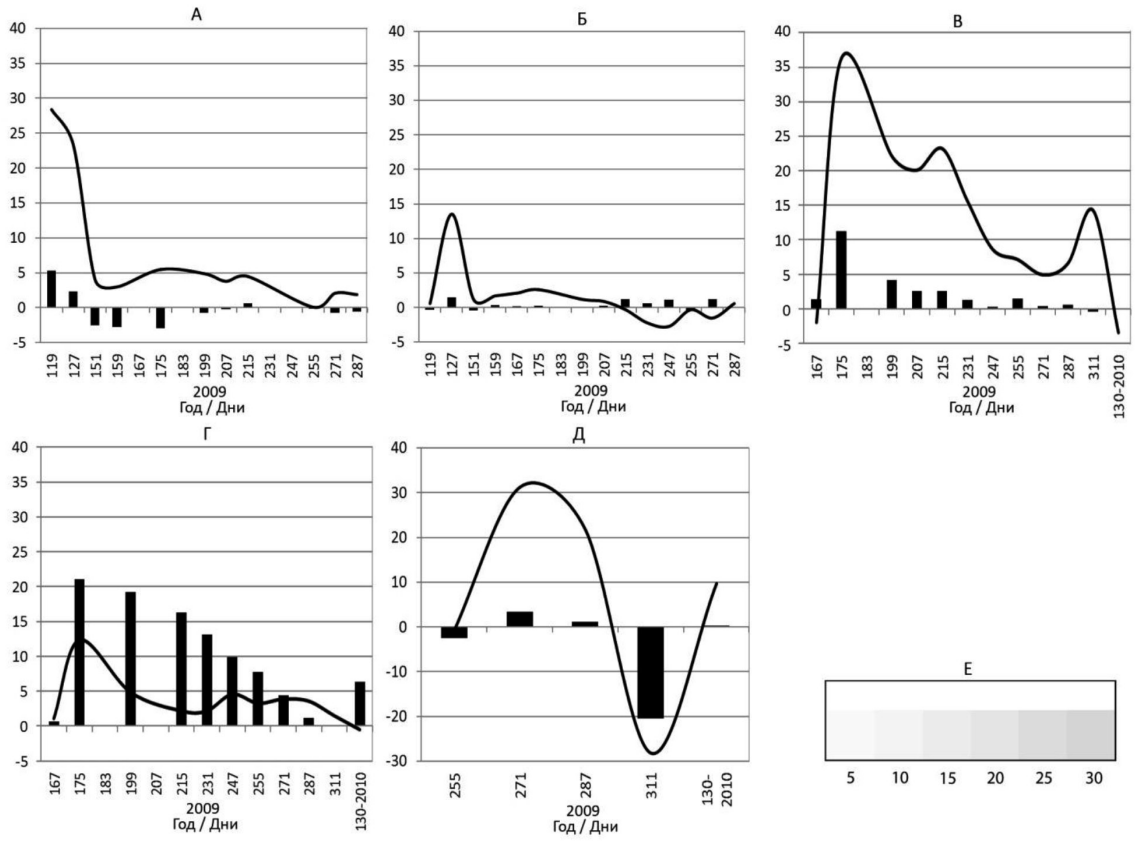


Рис. 1. Динамика разностей средних значений яркости (график) и разностей отклонений от средних значений (диаграмма) смежных негорелых и горелых территорий. Даты пожаров: А – 110 день (20 апреля, степь), Б – 123 (3 мая, степь), В – 170 (19 июня, степь), Г – 170 (19 июня, залесенная пойма), Д – 268 (25 сентября). Е – фрагмент шкалы различий яркости, по шкале от 0 (черный) до 255 (белый)

Показатели отклонений значений яркости от среднего значения до прохождения пожаров имеют значения, близкие к нулевым, так как для анализа подбираются компактные и относительно однородные участки. Вместе с тем выгорание травяной растительности «обнажает» подстилающую поверхность, что в совокупности с горелыми остатками создает более пеструю структуру изображения по яркости (рис. 1).

Исходя из вышеизложенного, минимальное количество снимков для достоверного визуального дешифрирования гарей должно быть не менее 3–4 за год. Дешифрирование одной и той же гари по материалам ДЗЗ с разным пространственным разрешением – высокого (снимки сервиса Google Earth), среднего (Landsat) и низкого (MODIS) – показывает на отсутствие значимых расхождений в ее площади, обычно не ниже 90 %.

Краткие выводы о возможностях использования интерпретированных данных Landsat и MODIS

При сопоставлении многолетних данных визуального дешифрирования снимков Landsat (совокупные площади гарей по пяти ключевым участкам) и данных архива термоточек (суммарное количество, для территории Заволжско-Прикаспийского региона) выявлена высокая степень сходства этих рядов (коэффициент корреляции 0,64) за общий период – 2001–2017 гг. (рис. 2). Это означает, что интерпретация данных архива термоточек остается одним из относительно нетрудоемких способов получения информации о пространственно-временных особенностях развития пожаров. В сочетании с наличием атрибутивной информации по дате и времени каждой термоточки этот источник данных можно использовать при сопоставлении с другими данными (в том числе и в суточном

выражении), например для изучения роли погодно-климатических условий.

Следует заметить, что быстрое прохождение степных пожаров и немного менее скоротечное остывание поверхности приводит к тому, что тепловые аномалии из снимков MODIS отображают лишь положение огневого фронта на момент съемки. Соответственно, длительно развивающиеся пожары обычно отображены в виде двух и более (по количеству снимков) групп термоточек, соответствующих положению фронта пожара. «Моментальность» съемки и получаемых данных приводит к тому, что в основном фиксируются обширные пожары (площадью более 5 км^2), хотя и по таким возгораниям встречаются «пропуски» данных. По этой же причине менее значимые по площади и одновременно наиболее часто отмечающиеся пожары зачастую вообще не фиксируются. Эти недостатки наследуются и интерпретированным данным – площадям активных пожаров, полученным алгоритмами SFMS, значения которых в среднем составляют 25–35 % от совокупной фактической площади гарей и до 40–45 % для отдельных крупных гарей.

Данные теплового канала Landsat и изображения, полученные в ходе проведения спектральных преобразований (NBR, MIRBI, NDVI и др.), позволяют решить две крупных задачи:

1) автоматизированно получить ареалы гарей, близкие к фактическим;

2) проследить продолжительность восстановительных процессов в различных ландшафтно-географических условиях.

В этих целях нами рассмотрена 3-летняя серия снимков, позволившая посредством анализа температурного фона выявить продолжительность и пространственные закономерности постпожарных сукцессий [7]. Было выявлено, что температура поверхности гарей в теплый период в среднем выше на 2,5–4,0 °С; на следующий год эти различия повсеместно остаются, снижаясь до 1,5–2,0 °С; и лишь на третий год после пожара (к окончанию полного второго вегетационного периода) различия практически нивелируются (в среднем 0,2 °С).

Серией исследований нами также выявлено, что выгоревшие участки могут быть эффективно дешифрированы применением специализированных индексов NBR и MIRBI; менее достоверно использование нормализованного относительного индекса растительности NDVI и метода классификации ISODATA [8]. При этом в период активного нарастания фитомассы (со второй половины мая до конца июня) достоверность резко снижается, но затем вновь достигает 80–95 % от фактических площадей. Главным недостатком использования автоматизированных методов анализа материалов ДЗЗ в степных регионах является необходимость проведения дополнительных работ по выявлению возделываемых полей, поверхность которых дает «отклик», неотличимый от сгоревших территорий.

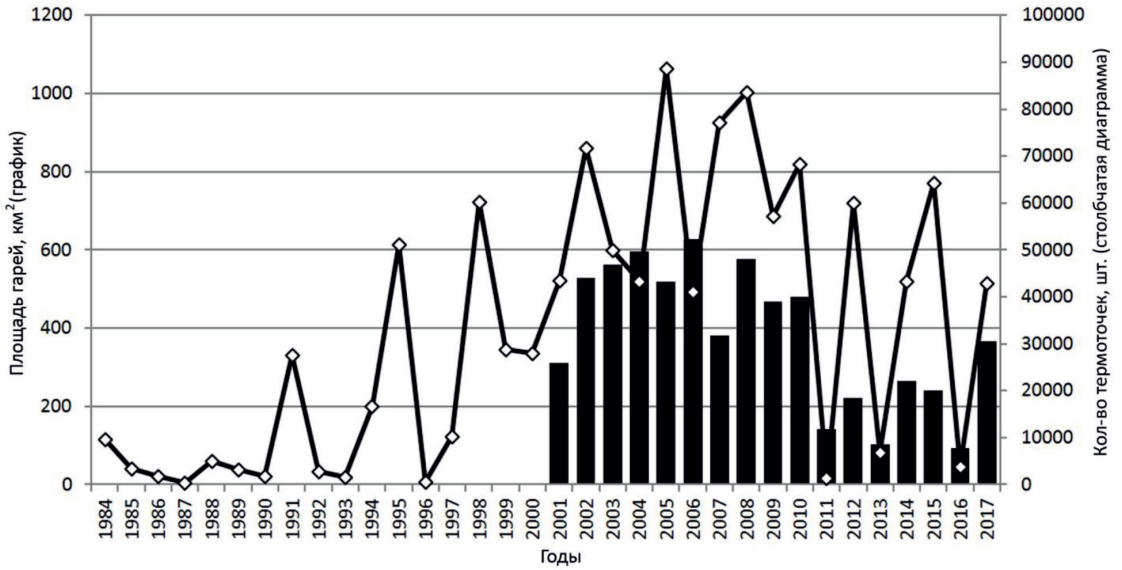


Рис. 2. Данные многолетней (1984–2017) динамики совокупных площадей степных пожаров и численности термоточек по Заволжско-Прикаспийскому региону

Заключение

Визуальное дешифрирование гарей для степных регионов остается одним из наиболее достоверных способов получения фактической информации, особенно для регионов с разреженным травянистым покровом [9]. Методология автоматизированной идентификации гарей геоинформационными средствами постоянно развивается [10], но с учетом особенностей распространения степных пожаров применима лишь для отдельных аспектов интересующей проблемы. Идентификация гарей для обширных степных регионов возможна при условии разработки алгоритма многоступенчатой обработки материалов ДЗЗ, в том числе учитывающего ландшафтную неоднородность и характер землепользования.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-05-00088 «Природные пожары в степных регионах Евразии: анализ пространственно-временных закономерностей и геоэкологических последствий».

Список литературы / References

1. Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment. 2010. V. 114. P. 1638–1648.

2. Ткачук Т.Е. Динамика площадей степных пожаров на юге Даурии в первом десятилетии XXI века // Ученые записки Забайкал. гос. ун-та. 2015. № 1 (60). С. 72–79.

Tkachuk T.E. Dynamics of areas of steppe fires in the south of Dauria in the first decade of the XXI century // Uchenye zapiski Zabaykal. state university. 2015. № 1 (60). P. 72–79 (in Russian).

3. Шинкаренко С.С. Анализ распространения степных пожаров и идентификация пожароопасных территорий на основе геоинформационных технологий // Научный альманах. 2015. № 8 (10). С. 1240–1244.

Shinkarenko S.S. Analysis of the spread of steppe fires and the identification of fire hazardous areas based on geoinformation technologies // Scientific Almanac. 2015. № 8 (10). P. 1240–1244 (in Russian).

4. Павлейчик В.М., Чибилёв А.А. Степные пожары в условиях заповедного режима и изменяющегося антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 38–48.

Pavleichik V.M., Chibilyov A.A. Steppe fires in the conditions of the reserve regime and the changing anthropogenic impact // Geography and natural resources. 2018. № 3. P. 38–48 (in Russian).

5. Laris P. Burning the seasonal mosaic: Preventative burning strategies in the wooded savanna of southern Mali // Human Ecology. 2002. Vol. 30. Is.2. P. 155–186.

6 Смелянский И.Э. Роль степных экосистем России в депонировании углерода // Степной бюллетень. 2012. № 35. С. 4–8.

Smelyansky I.E. The role of the steppe ecosystems of Russia in carbon deposition // Steppe Bulletin. 2012. № 35. P. 4–8 (in Russian).

7. Павлейчик В.М., Мячина К.В. Особенности термического режима земной поверхности после степных пожаров по данным спутников Landsat // Вестник Оренб. гос. ун-та. 2016. № 4 (192). С. 83–89.

Pavleichik V.M., Myachina K.V. Features of the thermal regime of the earth's surface after the steppe fires according to Landsat satellites // Bulletin Orenb. state university. 2016. № 4 (192). P. 83–89 (in Russian).

8. Мячина К.В., Павлейчик В.М., Чибилев А.А. Проблемы и возможности геоинформационных методов при выявлении степных гарей // Проблемы региональной экологии. 2016. № 6. С.159-166.

Myachina K.V., Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Problems and possibilities of geo-information methods in identifying steppe mountains // Problems of regional ecology. 2016. № 6. P. 159–166 (in Russian).

9. Шинкаренко С.С. Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 138–146.

Shinkarenko S.S. Assessment of the dynamics of areas of steppe fires in the Astrakhan region // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2018. Vol. 15. № 1. P. 138–146 (in Russian).

10. Stroppiana D., Bordogna G., Carrara P., Boschetti M., Boschetti L., Brivio P.A. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM + images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2012. T. 69. P. 88–102.

УДК 66.061.34:579.66

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЗЛЫХ ОБРАЗЦОВ ОДНОРОДНОЙ И НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Панишев С.В., Максимов М.С., Алькова Е.Л.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: bsdpsv@mail.ru, mexes_07@mail.ru, NeleAlc12@rambler.ru

Значительный объем подготовки горных пород к выемке в северных регионах осуществляется путем взрывного рыхления. Практика ведения горных работ на месторождениях зоны многолетней мерзлоты показывает, что после буровзрывной подготовки происходит смерзание горной массы в развале. Прочность вторично смерзающихся взорванных пород значительно возрастает, что приводит к невозможности ее экскавации по силовым характеристикам оборудования, осложняет ведение горных работ и снижает эффективность разработки месторождений. В связи с этим большой практический интерес представляет изучение физико-технических, теплофизических характеристик смерзшегося взорванного массива многолетнемёрзлых горных пород, что позволит дать достоверную оценку его горно-технологических свойств для обоснования и выбора эффективных технологий разработки месторождений криолитозоны. В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН на протяжении ряда лет проводятся натурные и лабораторные исследования процесса повторного смерзания взорванной горной массы и его влияния на ведение горных работ условиях месторождений криолитозоны. В статье представлены сравнительные результаты лабораторных исследований изменчивости прочности породы на срез, угла внутреннего трения и структурного сцепления на однородных образцах и образцах структурно сопоставимых с взорванным массивом. Выполненными исследованиями установлено, что определяющими факторами, оказывающими влияние на прочность на срез, угол внутреннего трения и величину сцепления в образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом, являются их температура, влажность, и величина уплотнения, что характерно и для образцов однородной структуры. Взаимосвязь предела прочности пород на срез с величиной нормального давления для образцов структурно сопоставимых с взорванным массивом аналогично образцам однородной структуры подчиняется также закону Кулона – Мора.

Ключевые слова: мерзлые горные породы, прочностные характеристики, повторное смерзание, прочность пород на срез, угол внутреннего трения, включения

STUDY OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF FROZEN SAMPLES OF HOMOGENEOUS AND DISTURBED STRUCTURE

Panishev S.V., Maksimov M.S., Alkova E.L.

Mining Institute of the North named N.V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: bsdpsv@mail.ru, mexes_07@mail.ru, NeleAlc12@rambler.ru

A great content of preparation of rocks for excavation in the northern regions is carried out by explosive loosening. The practice of mining at the deposits of the permafrost zone shows that after drilling and blasting the freezing of the rock mass occurs in the collapse. The strength of the secondarily frozen blasted rocks increases significantly, which leads to the impossibility of its excavation according to the power characteristics of the equipment, complicates mining operations and reduces the efficiency of deposit development. In this regard, the study of the physico-technical and thermophysical characteristics of the frozen exploded massif of permafrost rocks is of great practical interest, which will make it possible to give a reliable assessment of its mining and technological properties to substantiate and select efficient technologies for the development of cryolithozone deposits. For a number of years at the Institute of Mining of the North. N.V. Chersky Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences has conducted field and laboratory studies of the process of the re-freezing of a blasted rock mass and its influence on the mining conditions of the cryolithozone deposits. The article presents the comparative results of laboratory studies of the variability of rock strength shear, the angle of internal friction and structural cohesion on homogeneous samples and samples structurally comparable to the blown up massif. Studies have established that the determining factors affecting the shear strength, the angle of internal friction and the amount of adhesion in samples structurally comparable to the blasted massif are their temperature, humidity, and the amount of compaction, which is also characteristic of samples of homogeneous structure. The relationship of the shear strength of rocks for with the value of normal pressure for samples structurally comparable to the blown up massif, similarly to samples of a homogeneous structure, is also subject to the Coulomb-Mora law. According to the results of the performed studies, on samples of large size structurally comparable to the exploded rock mass, it is established that the relative size of the inclusions does not have a decisive influence on the magnitude of the angle of internal friction and the cohesion of the rock.

Keywords: frozen rocks, strength characteristics, re-freezing, shear strength, internal friction angle, inclusion

Как известно, в условиях многолетней мерзлоты подготовку к выемке мёрзлого массива горных пород ведут буровзрывными работами. Мерзлая порода с течением времени повторно смерзается и превращается в смерзшийся монолит, вследствие чего прочность разрабатываемого взорванного массива увеличивается в разы, тем самым значительно осложняя работу горной техники. Поэтому достоверная оценка прочностных характеристик взорванного массива в условиях его повторного смерза-

ния очень важна для правильного выбора выемочного оборудования и прогноза эффективности его работы в данных условиях. Важной прочностной характеристикой горных пород является сопротивляемость пород срезу (сдвигу), определяемая силами внутреннего трения в породе, связностью породы и структурным сцеплением [1].

Исследования прочностных характеристик пород и грунтов всегда имеют большое значение для решения многих инженерных и иных задач в самых различных отраслях промышленности, строительства и науки. Так, исследователи иранского Технологического университета им. Ноширвани ведут работы по изучению прочностных характеристик грунтов применительно к промышленному и гражданскому строительству, возведению различных грунтовых сооружений [2]. Целью данных исследований является увеличение прочностных характеристик грунтов различными материалами, что очень важно при укреплении склонов холмов и строительстве в сейсмоопасных районах.

Сотрудниками университета была выполнена серия испытаний на сдвиг образцов, состоящих из песчано-гранулированных резиновых смесей с различным содержанием гранулированного каучука при различных относительных плотностях и усилиях нормального давления, а также определены углы их внутреннего трения. Полученными результатами исследований установлено, что гранулированный каучук улучшает прочность на сдвиг мелкозернистого песка при средней относительной плотности и незначительном усилии давления и что такая песчано-гранулированная резиновая смесь может быть эффективно использована в качестве простейшего и наиболее доступного материала для сооружения различных насыпей и фундаментов. При этом степень увеличения прочности на сдвиг зависит от содержания резины, относительной плотности и усилия давления. Результаты также показали, что с увеличением содержания гранулированного каучука песок становится более пластичным. Это важно при применении таких смесей в роли геотехнической сейсмической изоляции различных конструкций и сооружений.

Исследования прочностных характеристик мерзлых грунтов, в сфере строительства ведутся китайскими учеными [3, 4]. В рамках изучения механических свойств мерзлых грунтово-бетонных сопряжений ими были проведены экспериментальные исследования прочности на сдвиг в зависимости от таких факторов, как нормальное давление, температура и содержание влаги. Исследования прочности примерзания грунтовой смеси к бетонному основанию выполнялись на специальном стенде, состоящем из встроенного охлаждающего поддона, специальных устройств для передачи горизонтальной и вертикальной нагрузки (сервомоторы), системы автоматической регистрации напряжений, смещения и температуры. Испытания проводились на образцах большого размера. Размер бетонного основания образца составлял 300×300×100 мм. Перед испытанием бетонное основание помещалось во встроенный охлаждающий поддон, на котором производилась укладка исследуемого грунта. Грунт через вертикальный модуль загрузки подвергался уплотнению до необходимой величины и затем замораживался в течение 18–24 ч. После полной заморозки проводятся испытания на сдвиг.

По результатам экспериментов было отмечено, что весь процесс сдвига можно разделить на пять этапов: этап эластичности, этап пластичности, этап скольжения, этап упрочнения и этап стабилизации остаточной прочности. Были получены эмпирические уравнения, характеризующие взаимосвязи прочности на сдвиг с влияющими факторами, даны объяснения изменчивости пиковой и остаточной прочностей на сдвиг в данных условиях. По результатам экспериментальных исследований было установлено, что пиковая прочность на сдвиг изменяется линейно по отношению к нормальному давлению и температуре, но нелинейно зависима от содержания влаги.

В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН ранее выполнялись работы по изучению повторного смерзания горных пород. А.П. Винокуровым исследовались основные факторы, влияющие на прочность смерзания мерзлых пород при сдвиге [5]. Суть исследования заключалась в смораживании образцов кубической формы по плоскости смерзания, которая предварительно подвергалась тепловой обработке, затем помещалась в приспособление для передачи усилия нормального давления. После чего проводилось испытание на испытательной машине UTS-250, путем выдавливания среднего из трех образцов. В результате проведенных экспериментальных исследований на образцах кубической формы было установлено, что при понижении температуры смораживания от –5 °С до –20 °С пород прочность смерзания при сдвиге увеличивается в 3,1 раза.

Были определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на прочность смерзания при сдвиге – это влажность пород и глубина растепленного слоя между кусками. Так, при увеличении влажности с 10% до 24% прочность смерзания возрастала в 8–11 раз, а при увеличении глубины растепленного слоя от 1,5 мм до 9,2 мм – в 1,4–4,21 раза. Следует отметить, что кубические образцы небольшого размера (5х5х5 см), на которых выполнялись испытания, далеко не в полной мере характеризуют физико-техническое и теплофизическое состояние смерзшегося взорванного массива многолетнемёрзлых горных пород. В связи свышеизложенным целью проведенных исследований было получение сравнительных данных о прочности на срез образцов однородной и нарушенной структуры. Отличительной особенностью проводимых исследований являлось то, что оценка прочности породы на срез в условиях повторного смерзания выполнялась на образцах большого размера, структурно сопоставимых с взорванным массивом [6]. Исследования велись согласно специально разработанной «Методике исследования прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез» [7].

Материалы и методы исследования

Исходным материалом явились вскрышные породы, представленные песками и песчаниками Кангаласского месторождения бурых углей, то есть связующее и включения – один и тот же материал. Включения представляют собой отдельно смороженные разного размера кубики из песчаника при различной температуре, влажности. Метод исследований – лабораторные испытания подготовленных образцов, не имеющих плоскости смерзания, на срез в специально разработанном и сконструированном в ИГДС СО РАН стенде. Основным элементом стенда является срезная коробка, состоящая из подвижной и неподвижной обойм с внутренним диаметром 350 мм и высотой 175 мм. Вес одного образца применительно к вскрышным породам Кангаласского месторождения составляет 27 кг. С помощью гидравлического домкрата и ручного насоса создается горизонтальная сдвигающая нагрузка. Конструкция сдвигового прибора обеспечивает горизонтальное сдвигающее усилие на образец до 56 тс.

Методикой исследований предусматривается изготовление образцов как однородной структуры, так и нарушенной структуры, сопоставимой с взорванным массивом. Изготовление смерзшегося образца, структурно сопоставимого с взорванным массивом, состоит из двух этапов. Этап первый заключается в приготовлении в специальном решетчатом поддоне включений кубической формы, уплотнение которых производят методом вибрации. Влажность породы, размер включений и величина уплотнения образца задается в соответствии с методикой исследований. После уплотнения включения замораживают до заданной экспериментом температуры.

Второй этап – это изготовление самого образца для испытания на стенде, путем перемешивания мерзлых включений со связующим. Для этого поддон с ячейками разбирают, вынимают включения и выдерживают их при комнатной температуре некоторое время до появления конденсата на поверхности, способствующего лучшему сцеплению со связующим.

Включения и связующее перемешивают и помещают в специально изготовленную разъемную цилиндрическую форму (гильзу). После этого сформированный в гильзе образец замораживается в климатической камере, в соответствии с условиями эксперимента. Контроль температуры в образце осуществляется с помощью термопары. После замораживания разъемную гильзу разбирают и подготовленный образец подвергают испытанию на стенде. На рис. 1 показан схематический вид сверху изготовленного образца, структурно сопоставимого с взорванным массивом.

По результатам проведенных исследований получены предварительные сравнительные данные об изменчивости прочности на срез, угла внутреннего трения и структурного сцепления на однородных образцах и образцах структурно сопоставимых с взорванным массивом – нарушенных образцов с включениями.

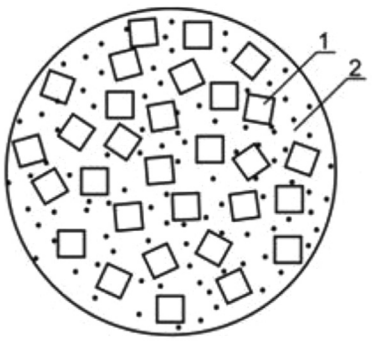


Рис. 1. Вид сверху изготовленного смерзшегося образца, структурно сопоставимого с взорванным массивом горных пород: 1 – включения; 2 – связующее

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках исследований были получены данные о прочности на срез образцов однородной структуры, при изменении температуры, влажности и их уплотнении. Также были получены данные о прочности на срез образцов нарушенной структуры, при максимальных и минимальных значениях влажности и температуры в естественном состоянии, и подвергшихся уплотнению нагрузками в 1,6 и 3,1 МПа. На рис. 2 представлена гистограмма с результатами испытаний образцов однородной и нарушенной структуры с влажностью 15 % и температурой –15 °С.

Указанные усилия уплотнения (1,6 и 3,1 МПа) соответствуют примерным условиям сжимающего давления пород на глубинах 10 и 20 м от поверхности развала взорванной горной массы применительно к вскрышным породам Кангаласского бурогольного месторождения.

Как видно из гистограммы, с увеличением нагрузки при уплотнении образцов однородной и нарушенной структуры сопротивляемость испытуемых образцов срезу увеличивается. Это характерно для образцов однородной и нарушенной структуры. При этом следует отметить, что сопротивляемость срезу уплотненных образцов однородной структуры больше, чем у образцов нарушенной структуры. Добавление включений разного размера в образцы с целью имитации условий взорванной среды уменьшает поверхности сцепления между зернами, вследствие чего сопротивляемость срезу образцов такой структуры оказывается ниже.

Это наглядно подтверждается результатами испытания образцов нарушенной структуры, где образцы, с размером включений 40х40х40 мм для всех случаев испытаний показали меньший предел прочности на срез по отношению к образцам с размером включений 20х20х20 мм.

На рис. 3 представлены полученные экспериментальным путем зависимости угла внутреннего трения (а) и сцепления (б) от температуры породы для образцов однородной структуры с различной влажностью.

Как видно из рисунка, значения сцепления и угла внутреннего трения значительно изменяются с понижением температуры образцов и увеличением влажности. Так, угол внутреннего трения при понижении температуры образцов от –5 °С до –15 °С в диапазоне влажности 10 % – 15 % увеличивается примерно в 2 раза. При влажности образов 5 % в этом же диапазоне температур угол внутреннего трения увеличивается в 3 раза. Величина структурного сцепления с понижением температуры увеличивается от 2,5 до 4,6 раза в зависимости от влажности образца.

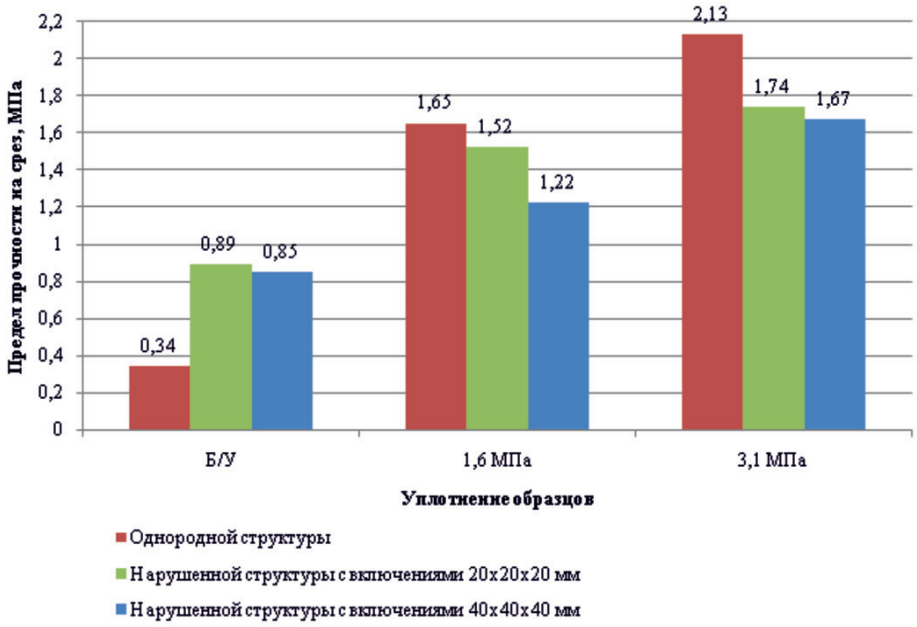


Рис. 2. Изменение прочности образцов на срез для различных условий их уплотнения

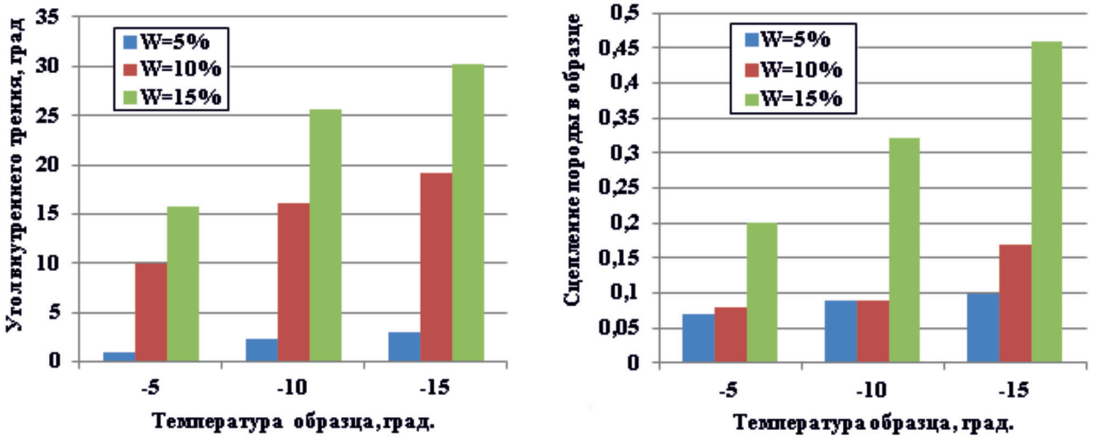


Рис. 3. Зависимость угла внутреннего трения и сцепления в образце однородной структуры от влажности и температуры породы

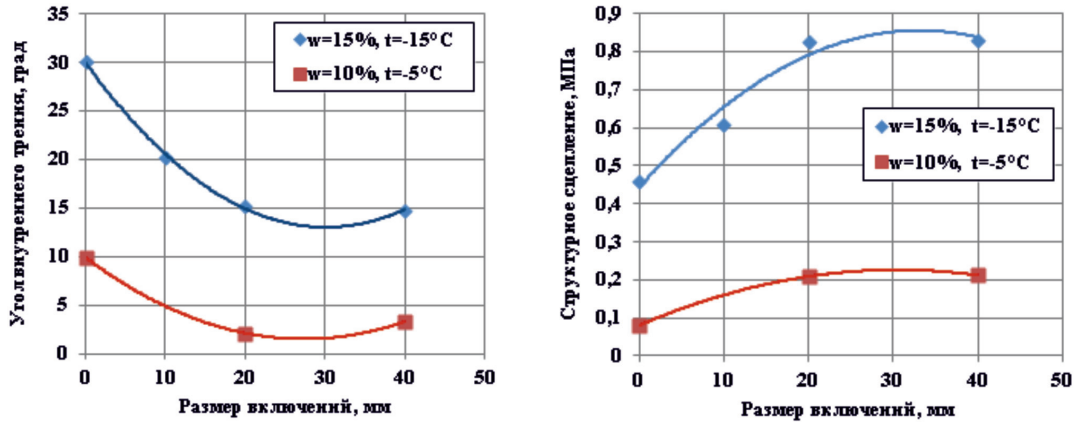


Рис. 4. Влияние температуры и влажности пород на угол внутреннего трения и сцепления при исследовании образцов нарушенной структуры

На рис. 4 представлены полученные экспериментальным путем значения угла внутреннего трения и сцепления от температуры и влажности породы при исследовании образцов нарушенной структуры с включениями. Испытания проводились при следующих граничных условиях: при влажности образцов 10% и температуре –5 °С и при влажности образцов 15% и температуре –15 °С. Формирование образцов влажностью 5% не увенчалось успехом, так как даже при температуре –15 °С образцы не смерзались, что позволяет говорить о критической влажности по условию повторного смерзания для этих пород в 5%.

Как видно из полученных данных, значения сцепления и угла внутреннего трения при испытании образцов нарушенной структуры значительно изменяются с понижением температуры образцов и увеличением влажности, как и при испытаниях однородных образцов. При температуре замерзания породы в образце –15 °С и влажности 15% наблюдается снижение угла внутреннего трения с увеличением размеров включений. Причем резкое снижение, в 2 раза, наблюдается при включении в песчаник наполнителя размером 10 и 20 мм, дальнейшее увеличение размеров включений до 40 мм не показало выраженного изменения угла внутреннего трения. При влажности 10% и температуре –5 °С угол внутреннего трения снижается в 4 раза при включении в образец смороженных кубиков со стороной 20 мм. С увеличением размера включений с 20 до 40 мм происходит неко-

торое увеличение угла внутреннего трения на 1,2°. При этом структурное сцепление в образце с увеличением размеров включений растет. Можно предположить, что при температуре –5 °С и влажности пород 10% увеличение угла внутреннего трения с увеличением размера включений происходит за счет дилатансионного разуплотнения, которое препятствует сдвигу. При более высокой влажности и низкой температуре этого разуплотнения не наблюдается.

При понижении температуры образцов от –5 °С до –15 °С в диапазоне влажности 10–15% угол внутреннего трения увеличивается примерно в 4,5 раза. Величина структурного сцепления с понижением температуры и влажности в этих же диапазонах увеличивается также примерно в 4,6 раза.

Выводы

Выполненными исследованиями установлено, что определяющими факторами, оказывающими влияние на прочность на срез, угол внутреннего трения и величину сцепления в образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом, являются их температура, влажность и величина уплотнения, как и для образцов однородной структуры. Взаимосвязь предела прочности пород на срез с величиной нормального давления для образцов структурно сопоставимых с взорванным массивом подчиняется также закону Кулон – Мора, аналогично образцам однородной структуры.

По результатам выполненных исследований на образцах большого размера, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, установлено, что для вскрышных пород Кангаласского месторождения в диапазоне включений 10–20 мм происходит резкое снижение угла внутреннего трения. Дальнейшее увеличение размера включений с 20 до 40 мм на величину угла внутреннего трения и величину структурного сцепления породы решающего значения не оказывает.

Полученные результаты исследований, представленные в статье, служат дальнейшему раскрытию механизма формирования прочностных характеристик смерзающейся взорванной горной массы в условиях месторождений криолитозоны.

Список литературы / References

1. Маслов Н.Н. Инженерная геология. М.: Стройиздат, 1941. 431 с.

Maslov N.N. Engineering geology. M.: Strojizdat, 1941. 431 p. (in Russian).

2. Anvari S.M., Shooshpasha I., Kutanaei S.S. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. V. 9. Issue 5. P. 936–944. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.03.008.

3. Liu J., Lv P., Cui Y., Liu J. Experimental study on direct shear behavior of frozen soil–concrete interface. Cold Regions Science and Technology. 2014. V. 104–105. P. 1–6. DOI: 10.1016/j.coldregions.2014.04.007.

4. Lu P., Liu J. An experimental study on direct shear tests of frozen soil-concrete interface. Tiedao Xuebao. Journal of the China Railway Society. 2015. V. 37. Issue 2. P. 106–110.

5. Винокуров А.П. Исследование процессов смерзаемости горных пород в условиях месторождений криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S10. С. 75–82.

Vinokurov A.P. Investigation of the processes of rock congelation in the conditions of deposits of cryolithozone // Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 2011. № S10. P. 75–82 (in Russian).

6. Панишев С.В., Ермаков С.А., Алькова Е.Л., Максимов М.С., Козлов Д.С. Способ изготовления смерзшихся образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород. Патент РФ № 2629610. Патентообладатель ФГБУН ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН.2017.

Panishev S.V., Ermakov S.A., Alcova E.L., Maximov M.S., Kozlov D.S. Way of production of the frozen together samples structurally comparable to the blown-up massif of rocks. Patent RF № 2629610. Patentoobladatel' FGBUN IGDS im. N.V. Cherskogo SO RAN. 2017. (in Russian).

7. Алькова Е.Л., Панишев С.В., Козлов Д.С., Максимов М.С. Экспериментальные исследования прочности на срез мерзлых горных пород на образцах большого размера // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 145–149.

Alcova E.L., Panishev S.V., Kozlov D.S., Maksimov M.S. Experimental Research on Shear Strength of Frozen Rocks on Large Samples // Advances in current natural sciences. 2016. № 8. P. 145–149 (in Russian).

УДК 582.35/.99:581.524.323.1:630(235.222)

БИОРАЗНООБРАЗИЕ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРО-ЧУЙСКОГО ЦЕНТРА СОВРЕМЕННОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Райская Ю.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: timoshokee@mail.ru, ten80@mail.ru

Сохранение старовозрастных лесов является важным аспектом сохранения биоразнообразия горного Алтая. Возраст деревьев этих лесов, встречающихся в средне- и высокогорных частях этого региона, может достигать 480 и более лет. В качестве объекта изучения была выбрана единственная обнаруженная в высокогорьях Алтая группа подобных лесов. Эта группа находится в верховьях р. Актру, в верхней части горно-лесного пояса, на высотах 2170–2300 м. В ее состав входят три лесных массива, расположенных в нижней части северного, западного и восточного склонов троговой долины р. Актру. Было установлено, что общее видовое богатство изученных лесов составляет 104 вида, среди которых преобладают цветковые растения (95,2 %), а видовая плотность составляет 20 видов/100 м^2. Видовое разнообразие п плотность различных массивов варьируют в интервале 45 до 75 видов на экотоп и от 11 до 37 видов на 100 м^2. Ведущими семействами являются *Poaceae*, *Asteraceae*, *Salicaceae*, *Ranunculaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Apiaceae*, *Pyrolaceae*, *Scrophulariaceae*, *Fabaceae*, *Caprifoliaceae*, *Gentianaceae*, *Brassicaceae*; они включают 58 видов. Самое крупное семейство Poaceae (13 видов во флоре всей группы старовозрастных лесов) является ведущим и во флоре каждого из обследованных массивов Сравнение биоразнообразия различных лесов показало низкое сходство между ними (индекс Жаккара составил от 0,29 до 0,48). Во флоре трех кедровых массивов выявлено всего 19 общих видов. Наибольшее число специфических видов обнаружено в приледниковых лесах на северном склоне – 22 вида, в долинных лесах восточного склона – 15, в лесах западного склона – 9 видов. Преобладающей экологической группой растений обычно являются психрофиты, однако в лесах восточного склона доминируют мезофиты.

Ключевые слова: горные старовозрастные леса, Алтай, биоразнообразие, сосудистые растения, флористические комплексы, экологические группы

BIODIVERSITY OF VASCULAR PLANTS IN THE OLD-AGE FORESTS IN THE SEVERO-CHUISKIY CENTER OF THE MODERN GLACIATION (ALTAI MOUNTANS)

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Rayskaya Yu.G.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: timoshokee@mail.ru, ten80@mail.ru

Conservation of the old-age forests is the important issue of preservation of biodiversity of the Altai Mountain. Such forests exist in the mid- and high- mountain parts of this region; the age of trees may reach and be above 480 years in the forests. We have studied the sole high-mountain cluster of old-age forests found in the high-altitudinal parts of the Altai. The cluster is situated in the upper courses of the Aktru river which lie at the upper part of the mountain forest belt at the altitudes 2170–2300 m a.s.l. It includes three forest massifs which lie on western, eastern and northern slopes of the trough valley of theAktru river. We have fetched out the species biodiversity of the investigated forest cluster is 104 species. Most of them are flower plants (95,2 %) and average species density is about 20 species/100 m^2. Species diversity and density varies from 45 to 75 per ecotope and 11 to 37 species/100 m^2 in the different massifs. The most important families (*Poaceae*, *Asteraceae*, *Salicaceae*, *Ranunculaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Apiaceae*, *Pyrolaceae*, *Scrophulariaceae*, *Fabaceae*, *Caprifoliaceae*, *Gentianaceae*, *Brassicaceae*) are represented with 58 species. The largest family is Poaceae (15 species in flora of all forests of the cluster); the family is also most important in all massifs of the cluster. Comparison of the biodiversity of different forests of the cluster indicated the low similarity between them (Jaccard index varies from 0.29 to 0.48). Only 19 species are common for all forest massifs of the cluster. The largest number of specific species (22) was found in the periglacial forests at the north slope of the valley, the east slope valley forests has 15 and west slope ones has only 9. The most common ecology group of the plants is psychophites, but mesophytes dominate in the east slope forests.

Keywords: mountain old-age forests, Altai, biodiversity, vascular plants, floristic complexes, ecological groups

Алтае-Саянский экорегион включен экспертами Всемирного фонда дикой природы (WWF) в «Global 200» – список наиболее ценных девственных или мало измененных экорегионов Земли, в которых сосредоточено более 90 % мирового разнообразия растений. Для сохранения биологического разнообразия сосудистых растений этой территории особое значение имеют исследования в пределах уникальных в современный период экологически своеобразных ландшафтов, особенно – ландшафтов старовозрастных лесов.

Изучению и охране биоразнообразия старовозрастных лесов в России, сохранившихся единичными, небольшими по площади массивами, особое внимание, уделяется только в европейской части [1]; в азиатской

же части, в том числе и в Алтае-Саянском экорегионе, биоразнообразие таких особо ценных лесов не исследовано.

На территории Горного Алтая кедровые (из *Pinis sibirica*) кустарничково-зеленомошные и разнотравно-папоротниковые леса распространены в среднегорьях (800–1500 м) Прителецкого Алтая и в верхней части лесного пояса (1800–2000 м) восточных, северных и западных хребтов, где преобладают ерниково-лишайниково-зеленомошные и разнотравные кедровники. В древесном ярусе преобладают 100–200, реже 300-летние деревья. Фрагмент старовозрастного кедрового леса был обнаружен только в низкогорьях Прителецкого Алтая (500 м над ур. м.), с участием в древесном ярусе крупных деревьев кедра (возраст более 500 лет) и пихты, мощным травяным ярусом из папоротников и неморальных видов [2].

В Северо-Чуйском центре современного оледенения в верхней части долины р. Актру между моренами долинных ледников Малый и Большой Актру и широкими полосами каменистых россыпей, на абсолютных высотах 2160–2300 м, произрастают старовозрастные антропогенно ненарушенные кедровые леса. Их древесный ярус имеет выраженную разновозрастность; в нем участвуют 4 основных возрастных поколения, первое – 440–480 лет, второе – 270–380, третье – 80–170, четвертое – около 50 лет [3, 4].

Целью настоящего исследования явилось изучение биоразнообразия сосудистых растений экологически своеобразного ландшафта старовозрастных кедровых лесов на верхней границе их произрастания в Горном Алтае.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в наиболее возвышенной части Северо-Чуйского хребта, в верховьях р. Актру (50°05' с.ш., 87°45' в.д.), где выражен молодой эрозионно-ледниковый крутосклонный интенсивно расчлененный рельеф, сформировавшийся под влиянием деятельности ледников в плейстоцене и голоцене. Долина Актру троговая, глубоко врезанная, с моренным чехлом разного возраста: молодыми моренами, моренами исторической и аккемской стадий [5]. Климат территории суровый, высокогорный: среднегодовая температура –5,2 °С, среднесуточные температуры летнего периода +8,7 °С, дней с температурой более +5 °С около 50, более 10 °С – около 30; средняя многолетняя сумма осадков 563 мм, около 75 % которых выпадает в теплое время года.

Материалы собраны в 1999–2017 гг. в старовозрастных кедровых лесах на абсолютных высотах 2170–2300 м, в нижних частях северного, западного и восточного склонов долины р. Актру, на трансектах, заложенных через кедровые массивы. В ландшафте старовозрастных лесов выделено 3 типа мезоэкотопов: приледниковые (2200–2300 м) на пологих (3–5 °) северных склонах под моренами ледников Малый и Большой Актру; долинные – на западном (5–15 °, 2160 м) и восточном (10–20 °, 2180 м над ур. м.). Результаты базируются на оригинальных гербарных материалах (200 листов) и полных геоботанических описаниях (более 50).

Инвентаризационное α-разнообразие сосудистых растений оценивали с помощью показателей: общего видового богатства лесов на склонах разной ориентации и крутизны и видовой плотности на площадках 10×10 м [6], дифференцирующее – по коэффициенту сходства – различия видового состава П. Жаккара (*Kq*) и индексу R. Whittaker (*Bw*), функциональное разнообразие – по соотношению экологических групп (психрофиты, мезофиты, ксерофиты, гигрофиты, петрофиты); отнесение видов к группам проведено с учетом данных А.В. Куминовой [2] и собственных наблюдений в горно-ледниковых бассейнах Центрального Алтая [7]. Латинские названия растений приведены по «The International Plant Name Index» [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Видовое богатство сосудистых растений в обследованных старовозрастных кедровых лесах включает 104 вида из 67 родов и 34 семейств. Сосудистые споровые растения представлены одним видом – *Equisetum pratense* (Equisetaceae), голосеменные – 4 видами: *Pinus sibirica*, *Larix sibirica* (Pinaceae) и двумя видами рода *Juniperus* (Cupressaceae). В этих лесах абсолютно преобладают цветковые растения – 95,2 %. Наиболее высокое видовое разнообразие (4 и более видов) отмечено в 9 ведущих семействах (таблица), которые включают 55,8 % видов всего ландшафта старовозрастных лесов. Самое крупное семейство – Poaceae (13 видов), по 3 вида содержат 4 семейства: Fabaceae, Caprifoliaceae, Gentianaceae и Brassicaceae,

по 2 вида – 8 семейств: Betulaceae, Grossulariaceae, Liliaceae, Juncaceae, Polygonaceae, Rosaceae, Saxifragaceae, Vacciniaceae. Преобладают одновидовые семейства (10 семейств, около 30% всего видового состава): Berberidaceae, Boraginaceae, Campanulaceae, Empetraceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Onagraceae, Polygalaceae, Santalaceae, Violaceae. Крупных родов 5: *Salix* (8 видов), *Carex*, *Poa*, *Festuca* (по 5 видов), *Pedicularis* (4 вида); абсолютно преобладают одновидовые роды – 46 из 67 (68,7%).

Наибольшее видовое богатство сосудистых растений – 75 видов (72,1% от общего числа видов) из 51 рода, 30 семейств выявлено в приледниковых мезоэкотопах на северных склонах, где отмечено 7 ведущих семейств, включающих 41 вид (таблица) и 3 многовидовых рода: *Salix*, *Carex* (по 5 видов) и *Poa* (4 вида). Эти леса имеют и наибольшую видовую плотность: на площадках 10×10 м отмечено 16–37 видов, в среднем – 21 вид.

Наименьшее видовое богатство – 45 видов (42,3% от общего числа видов) из 34 родов, 26 семейств отмечено в лесах восточного склона. Ведущих семейств 2: Poaceae и Ranunculaceae (по 5 видов); среди родов выделяются *Poa* (4 вида) и *Aconitum* (3 вида). Видовая плотность на площадках 10×10 м составляет 12–31 вид, среднее число видов – 20.

В целом видовая плотность сосудистых растений в старовозрастных приледниковых и долинных кедровых лесах изменяется от 11 до 37 видов на 100 м^2, среднее видовое богатство всего ландшафта лесов составляет 20 видов.

При сравнении флористических списков сосудистых растений старовозрастных лесов в условиях трех значительно различающихся мезоэкотопов выявлено 19 общих видов – 18,3% от числа видов в ландшафте: 2 вида голосеменных – *Pinus sibirica* и *Juniperus sibirica и* 17 видов цветковых растений из 11 семейств: Poaceae: *Calamagrostis pavlovii*, *Poa palustris*, *P. sibirica*; Caryophyllaceae: *Cerastium pauciflorum*, *Dianthus superbus*; Caprifoliaceae: *Lonicera altaica*, *L. hispida*, Polygonaceae: *Bistorta vivipara*, *B. major*; Apiaceae: *Aegopodium alpestre*; Cyperaceae: *Carex macroura*; Betulaceae: *Betula rotundifolia*; Saxifragaceae: *Bergenia crassifolia*; Geraniaceae: *Geranium albiflorum*; Gentianaceae: *Swertia marginata*; Grossulariaceae: *Ribes atropurpureum*; Vacciniaceae: *Vaccinium vitis-idaea*. Кроме видов, отмеченных во всех мезоэкотопах, наибольшее число общих видов – 24, выявлено

Ведущие семейства старовозрастных кедровых лесов в Северо-Чуйском центре современного оледенения

Названия семейств	Старовозрастные леса							
	ландшафт лесов в целом		северный склон		западный склон		восточный склон	
	место во флоре	Число видов/ родов	место во флоре	Число видов/ родов	место во флоре	Число видов/ родов	место во флоре	Число видов/ родов
Poaceae	1	5/13	1	5/10	1	4/10	1–2	3/5
Asteraceae	2–3	6/8	2–3	5/6	–	2/2	–	2/2
Salicaceae	2–3	1/8	4–6	1/5	–	1/2	–	1/2
Ranunculaceae	4–5	4/6	4–6	4/5	–	1/1	1–2	3/5
Cyperaceae	4–5	2/6	2–3	2/6	–	1/2	–	1/2
Caryophyllaceae	6	5/5	4–6	5/5	2	4/4	–	1/1
Apiaceae	7–8	4/4	–	1/2	–	1/2	–	1/3
Pyrolaceae	7–8	2/4	7	2/4	–	1/1	–	1/1
Scrophulariaceae	7–8	1/4	–	1/2	–	1/2	–	1/2

В долинных мезоэкотопах показатели инвентаризационного разнообразия ниже. На втором месте по первому показателю α-разнообразия находятся кедровые леса западного склона, где отмечено 57 видов сосудистых растений (54,8% от общего числа видов) из 43 родов и 30 семейств. В мезоэкотопах этого склона только 2 ведущих семейства: Poaceae (10 видов) и Caryophyllaceae (4 вида); из родов только *Festuca* включает 4 вида. Видовая плотность на площадках 10×10 м изменяется от 13 до 26 видов, среднее число видов – 19.

для кедровых лесов северного и западного склонов; среди них также преобладают виды семейства Poaceae (4 вида): *Anthoxanthum alpinum*, *Calamagrostis obtusata*, *Festuca altaica*, *F. tristis*; остальные семейства включают по 1–2 вида: Caryophyllaceae: *Gastrolychnis tristis*, *Stellaria peduncularis*; Gentianaceae: *Gentiana grandiflora*, *G. uniflora*, Apiaceae: *Pachypleurum alpinum*; Campanulaceae: *Campanula rotundifolia*; Caprifoliaceae: *Linnaea borealis*; Cyperaceae: *Carex sabynensis*; Empetraceae: *Empetrum nigrum*; Fabaceae: *Hedysarum neglectum*; Juncaceae: *Luzula parviflora*, Lamiaceae: *Dracocephalum imberbe*; Liliaceae: *Veratrum lobelianum*; Polygalaceae: *Polygala comosa*; Pyrolaceae: *Pyrola rotundifolia*; Rosaceae *Potentilla gelida*; Scrophulariaceae: *Pedicularis brachystachys*; Santalaceae: *Thesium repens*; Salicaceae: *Salix saposhnikovii*; Violaceae: *Viola altaica*. В лесах северного и восточного склонов общих видов только 9: *Aconitum decipiens*, *A. leucostomum*, *Cicerbita azurea*, *Delphinium elatum*, *Luzula sibirica*, *Pyrola incarnata*, *Poa krylovii*, *Saxifraga aestivalis*, *Lupinaster pentaphyllus*; в лесах западного и восточного склонов таких видов 4: *Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum pratense*, *Festuca kryloviana*, *Pedicularis compacta*.

Своеобразие этих уникальных лесов в экологически различающихся мезоэкотопах особенно отражается в значительном числе специфических видов, встречающихся только в одном из них. Наибольшее число таких видов – 22 обнаружено в приледниковых кедровых лесах северного склона; травы: *Astragalus frigidus*, *Aquilegia sibirica*; *Carex aterrima*, *C. media*, *C. tristis*, *Draba hirta*, *D. subamplexicaulis*, *Erigeron altaicus*, *Kobresia myosuroides*, *Moehringia umbrosa*, *Orthilia obtusata*, *Pedicularis incarnata*, *Petasites rubellus*, *Poa altaica*, *Saussurea parviflora*, *Tephroseris praticola*, *Trisetum mongolicum*, *Trollius asiaticus*, кустарники и кустарнички: *Salix berberifolia*, *S. glauca*, *S. reticulata*, *S. vestita*. В долинных лесах специфических видов значительно меньше: на восточном склоне – 15, травы: *Aconitum altaicum*, *Draba sibirica*, *Heracleum dissectum*, *Lilium pilosiusculum*, *Myosotis imitata*, *Pedicularis elata*, *Pleurospermum uralense*, *Poa urssulensis*, *Pyrola minor*, *Saussurea controversa*, *Thalictrum minus* и кустарники: *Betula humilis*, *Ribes nigrum*, *Salix divaricata*, *S. rhamnifolia*; в мезоэкотопах западного склона – 9 видов: травы: *Antennaria dioica*, *Festuca rubra*, *F. sphagnicola*, кустарники и кустарнички: *Berberis sibirica*, *Cotoneaster uniflorus*, *Juniperus pseudosabina*, *Salix sajanensis*, *Vaccinium uliginosum*, деревья: *Larix sibirica*.

Оценка дифференцирующего разнообразия показала, что для пар флористических комплексов кедровых лесов северного и западного склонов, северного и восточного, западного и восточного склонов, выявлено 43, 28 и 23 общих вида соответственно. Только для первой пары комплексов коэффициент Жаккара близок к среднему значению (Kq = 0,48); для двух других он в 1,5 раза ниже (Kq = 0,30 и 0,29), что отражает низкий уровень сходства (Kq < 0,50) и высокую степень их обособленности в мезоэкотопах северного, западного и восточного склонов, несмотря на то, что они произрастают в верхней части одной долины.

Оценка внутренней неоднородности кедровых массивов по индексу R. Whittaker'а показала, что наибольшее видовое богатство сосудистых растений в приледниковых лесах свидетельствует о значительной гетерогенности местообитаний (B_w = 3,1). Дифференцирующее разнообразие долинных кедровников восточного и западного склонов ниже B_w = 2,5 и B_w = 2,8 соответственно. Для ландшафта лесов в целом этот индекс составляет 5,4 и в 2 раза превышает его значения в мезоэкотопах северного, западного и восточного склонов, что еще более значимо показывает разнообразие и высокий уровень их мозаичности занимаемых ими местообитаний.

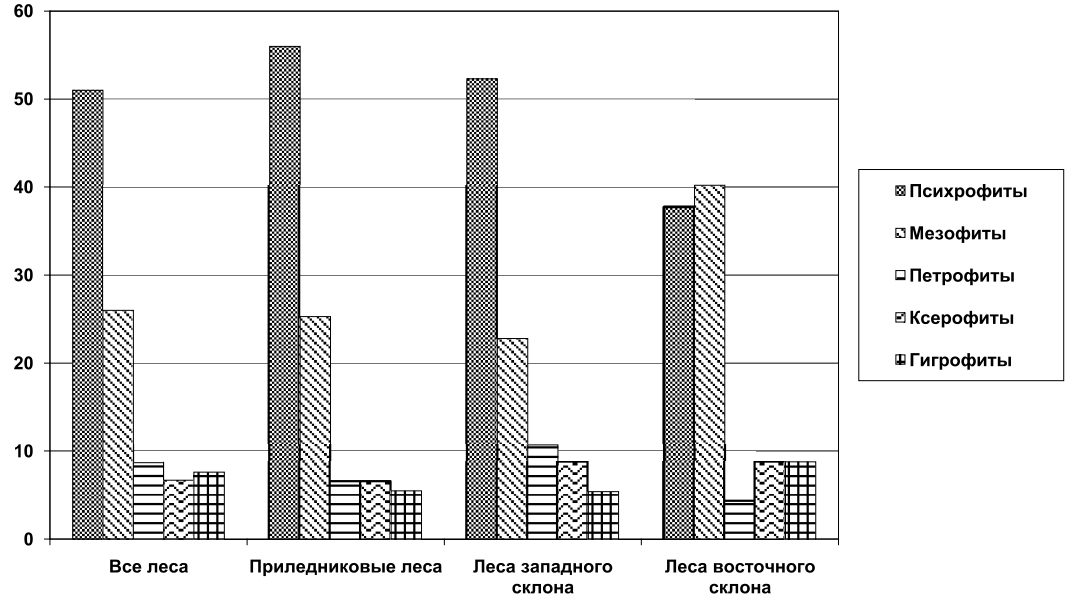
Оценка функционального разнообразия старовозрастных кедровых лесов долины Актру по соотношению экологических групп (рисунок) показала, что в их экологическом пространстве господствуют психрофиты (высокогорные виды, 51,0 % от общего числа видов в ландшафте); участие мезофитов (лесо-луговых видов) в 2 раза ниже (26 % от общего числа видов), еще меньше петрофитов, гигрофитов и ксерофитов, доля которых в сумме составляет 23 %. Наибольшее участие психрофитов характерно для в приледниковых лесов на северном склоне (56 % от общего числа видов этого мезоэкотопа): мезофитов здесь в 2 раза меньше (25,3 % от общего числа видов); участие петрофитов, ксерофитов и гигрофитов в сумме 18,5 %. В лесах западного склона также преобладают психрофиты (52,3 %); мезофитов более чем в 2 раза меньше (22 %), но участие петрофитов здесь почти в 2 раза, а ксерофитов – в 1,5 раза больше, чем в приледниковых лесах (10,7 и 8,8 % соответственно), низка доля гигрофитов (5,4 %

вида). Наиболее значительные отличия в экологической структуре выявлены для мезоэкотопов восточного склона, где преобладают мезофиты (40,2%), а участие психрофитов ниже (37,8%); доля видов других экологических групп – 22% (рисунок).

Обследованные старовозрастные леса характеризуются высоким видовым богатством сосудистых растений. В них зарегистрировано 104 вида, что составляет 44% флоры кедровых лесов Русского Алтая (236 видов [2]). Это связано с длительностью существования (более 500 лет) таких лесов, что обусловило высокие шансы поступления и успешного приживания зачатков большого числа видов сосудистых растений в условиях значительной пространственной гетерогенности среды. В целом же флора старовозрастных кедровых лесов имеет миграционный характер и исторически молода, что подтверждается наличием большого числа одно- и двухвидовых семейств (18 семейств, 53% от числа семейств) и одновидовых родов (46 родов, 68,7% от числа родов). Она сформировалась по мере освобождения долины р. Актру от обширного ледника аккемской стадии, существовавшего около 4 тыс. лет назад [5], занимавшего все верховья реки, за счет высокогорных видов – психрофитов, в меньшей степени – лесо-луговых видов – мезофитов.

В то же время видовое богатство старовозрастных лесов ниже, чем таковое в молодых постгляциальных ландшафтах: на форлендах ледников Малый Актру (176 видов сосудистых растений), Большой Левый Актру (116 видов) [7], и на молодых флювигляциальных отложениях (132 вида) [9], что, возможно, обусловлено стабилизирующим отбором лесной среды.

В экологическом пространстве старовозрастных кедровых лесов, благодаря близости горных тундр, преобладают высокогорные виды, которые и составляют своеобразие этой по сути «нелесной», а скорее высокогорной флоры. Высокое участие психрофитов во флористических комплексах северного и западного склонов, отражает наиболее жесткие условия этих мезоэкотопов, обусловленные холодным высокогорным климатом: низкими летними температурами, охлаждающим воздействием ледниковых ветров [5], а в приледниковых лесах – и вечной мерзлотой, даже в июле, расположенной на глубине 40 см [4]. Психрофиты составляют основу экологического своеобразия приледниковых лесов, где из 22 специфических видов 13 – психрофиты; а из 9 специфических видов западного склона – 5 психрофиты; оригинальность лесов восточного склона определяют мезофиты – лесные виды *Heracleum dissectum*, *Lilium pilosiusculum*, *Pleurospermum uralense*, *Pyrola minor*, *Saussurea controversa*, *Thalictrum minus*, что, по-видимому, связано с отсутствием вечной мерзлоты.



Соотношение экологических групп растений в ландшафте старовозрастных кедровых лесов и отдельных мезоэкотопах. Ось X: слева направо приводятся ландшафт и отдельные мезоэкотопы, Ось Y: доля растений экологических групп (%) в ландшафте и мезоэкотопах

Наибольшим видовым разнообразием среди обследованных лесов отличаются приледниковые кедровники, где число видов составляет 32 % от флоры сосудистых растений кедровых лесов Русского Алтая и 72 % от общего числа видов старовозрастных лесов, что обусловлено высокой гетерогенностью местообитаний, включающих затененные и открытые участки, каменистые гряды, их склоны и мезопонижения. В двух других мезоэкотопах видовое богатство в 1,3–1,7 раза меньше (57 и 45 видов). Несмотря на территориальную близость обследованных лесов, они отличаются высоким флористическим своеобразием, сформировавшимся в ходе их длительного существования в резко отличающихся экологических условиях северного, восточного и западного склонов. Вследствие экотопического отбора в каждом из этих своеобразных мезоэкотопов сформировались флористические комплексы с участием специфических видов (9–22 вида, или 20–29 % от числа видов в мезоэкотопе). Их комплексы отличаются и по составу ведущих семейств: в приледниковых кедровниках отмечено 7 семейств, содержащих 4 и более видов (всего 41 вид), в лесах западного и восточного склонов таких семейств по 2: Poaceae и Caryophyllaceae (всего 14 видов), Poaceae и Ranunculaceae (всего 10 видов) соответственно. Изменяется порядок расположения семейств в головной части спектров. Первое место семейства Poaceae в ландшафте старовозрастных лесов и во всех мезоэкотопах связано, по-видимому с тем, что обитающие здесь виды злаков являются многолетними рыхло- и плотнокустовыми травами, которые длительно удерживаются в составе травяного покрова.

Выводы

Старовозрастные кедровые леса в высокогорьях Северо-Чуйского хребта представляют собой уникальный экологически своеобразный ландшафт, имеют большое научное значение как эталоны коренных лесов, важны для сохранения ботанического разнообразия приледниковой зоны Алтая и его долгосрочного мониторинга.

Биоразнообразие сосудистых растений в старовозрастных кедровых лесах составляет 104 вида. Флористические комплексы мезоэкотопов различаются по числу видов. Максимальное видовое богатство выявлено в приледниковых кедровниках на северном склоне; на западном и восточном склонах этот показатель существенно ниже. В ходе длительного существования этих лесов в различающихся экологических условиях северного, западного и восточного склонов сформировались своеобразные флористические комплексы, о чем свидетельствует значительное участие в составе каждого из них специфических видов и низкое участие общих для всех флористических комплексов видов. В экологическом пространстве старовозрастных кедровых лесов произрастают виды разной экологической природы: психрофиты, мезофиты, петрофиты, ксерофиты и гигрофиты; в условиях северного и западного склонов преобладают психрофиты, восточного – мезофиты.

Список литературы / References

1. Смирнова О.В. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М: Наука, 2004. 479 с.

Smirnova O.V. Eastern-Eurorean Forests: history in the Holocene and the Present. 2004. M.: Nauka, 479 p. (in Russian).

2. Куминова А.В. Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР. 1960. 450 с.

Kuminova A.V. The vegetation of the Altai. Novosibirsk, SB AS USSR Publishing. 1960. 450 p. (in Russian).

3. Бочаров А.Ю. Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменений климата // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 352. С. 203–206.

Bocharov A.Yu. Structure and dynamics of the high-mountain forests of the Severo-Chuiskiy ridge // Tomsk State University Journal. 2011. № 352. P. 203–206 (in Russian).

4. Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 48. P. 1–9.

5. Окишев П.А. Рельеф и оледенение Русского Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. 380 с.

Okishev P.A. Relief and glaciation of the Russian Altai: Tomsk: Tomsk Univ. Publishing, 2011. 380 p. (in Russian).

6. Whittaker R.H. Gradient analysis of vegetation. Bioljgical Reviews. 1967. № 49. P. 207–264.

7. Тимошок Е.Е., Нарожный Ю.К., Диркс М.Н., Скороходов С.Н., Берёзов А.А. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. Томск: Изд-во НТЛ, 2008. 206 с.

Timoshok E.E., Narozhniy Yu.K., Dirks M.N., Skorokhodov S.N., Beryozov A.A. Dynamics of glaciers and forming of vegetation at the young moraines of the Central Altai. Tomsk: NTL publishing, 2008. 206 p. (in Russian).

8. The International Plant Name Index [Electronic resource]. URL: http://www.ipni.org (date of access: 12.03.2018).

9. Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Скороходов С.Н Флористическое разнообразие сосудистых растений на молодых флювиогляциальных отложениях верховий р. Актру (Северо-Чуйский хребет) // Успехи современного естествознания. 2015. № 9–1. С. 134–138.

Timoshok E.E., TImoshok E.N., Skorokhodov S.N. Floristic diversity of the vessel plant at the young fluvioglatical deposits of the upper courses of Aktrutiver (Severo-Chuiskiy range) // Advances in current natural sciences. 2015. № 9–1. P. 134–138 (in Russian).

УДК 502.2(571.122)

РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДА В ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ

Ткачев Б.П., Зайцева А.В., Ткачева Т.В.

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, e-mail: btkachev@mail.ru

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра является ведущим нефтегазодобывающим регионом России. В целях прогноза загрязнения территории, степени техногенной нагрузки остро встает необходимость инструментальной оценки происходящих эколого-экономических процессов, которая позволит дать полную картину сложившейся экологической, социальной и экономической ситуации в регионе. Для оценки экологической обстановки и величины техногенной нагрузки на территорию округа в качестве индикатора устойчивого развития используется понятие «экологический след». Целью исследования является расчет интегрального показателя устойчивого развития «экологический след» для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Расчет экологического следа производился по показателям, отражающим характерные эколого-экономические особенности региона. Были рассчитаны следующие показатели: лесохозяйственный след, рыбохозяйственный след, энергетический след, след инфраструктуры. Впервые в качестве индикатора устойчивого развития территории введен в расчет новый показатель – нефтяной след. Общий экологический след был определен путем сложения всех рассчитанных показателей. Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении общего экологического следа для ХМАО-Югры, несмотря на увеличение показателей по лесохозяйственному, рыбохозяйственному, инфраструктурному и энергетическому следам с 2010 по 2014 г. Это происходит из-за вклада нефтяного следа, так как его главный индикатор – добыча нефти в округе – уменьшался с 2010 по 2014 г., что, соответственно, снижает интенсивность негативного воздействия на окружающую природную среду. Предложенная методика позволяет учесть уровень ресурсного потребления населения данной территории, состояние биопродуктивности территории, может использоваться для составления и пополнения экологических паспортов территорий. Представленные результаты, исходя из методики расчета экологического следа, выступают в роли индикатора и в общем виде характеризуют экологическое состояние территории.

Ключевые слова: Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, устойчивое развитие, экологический след, нефтяной след, лесохозяйственный след, рыбохозяйственный след, энергетический след, след инфраструктуры

THE CALCULATION OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT IN THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA

Tkachev B.P., Zaytseva A.V., Tkacheva T.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Yugra State University», Khanty-Mansiysk, e-mail: btkachev@mail.ru

Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra is the leading oil and gas producing region of Russia. In order to predict the pollution of the territory, the degree of man-made load, there is an urgent need for an instrumental assessment of the ongoing ecological and economic processes, which will give a complete picture of the current environmental, social and economic situation in the region. To assess the environmental situation and the magnitude of the anthropogenic load on the territory of the district as an indicator of sustainable development, the concept of «ecological footprint» is used. The aim of the study is to calculate the integral indicator of sustainable development «ecological footprint» for the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. The calculation of the ecological footprint was made according to the indicators reflecting the characteristic ecological and economic features of the region. The following indicators were calculated: forest footprint, fisheries footprint, energy footprint, infrastructure footprint. For the first time as an indicator of sustainable development of the territory, a new indicator – the oil footprint-was introduced. The overall environmental footprint was determined by adding all the calculated indicators. The results indicate a decrease in the overall environmental footprint for KHMAO – Yugra, despite the increase in indicators for forestry, fisheries, infrastructure and energy traces from 2010 to 2014. This is due to the contribution of the oil trail, as its main indicator – oil production in the district – decreased from 2010 to 2014, which accordingly reduces the intensity of the negative impact on the environment. The proposed method allows to take into account the level of resource consumption of the population of the territory, the state of bioproductivity of the territory, can be used to compile and replenish the environmental passports of the territories. The presented results, based on the method of calculation of the ecological footprint, act as an indicator and generally characterize the ecological state of the territory.

Keywords: Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, sustainable development, environmental footprint, oil footprint, forest footprint, fisheries footprint, energy footprint, infrastructure footprint

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО-Югра) является ведущим нефтегазодобывающим регионом России. В ХМАО-Югре добывается 48,8% российской нефти и 5% газа. На территории автономного округа ведут свою деятельность 104 предприятия нефтегазового сектора. Извлечение из недр региона 250 млн т нефти в год является немалым давлением на окружающую среду и серьёзным негативным

техногенным воздействием на природу. В условиях интенсивной нефтегазодобычи рациональное использование природных ресурсов является одним из необходимых условий устойчивого развития региона. Несмотря на спекуляции вокруг вопроса о запасах нефти и газа в России, нет никаких объективных предпосылок для резкого падения производства в ближайшие десятилетия. Можно достаточно уверенно утверждать, что Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, повышая энергоемкость производства, уверенно встретит смену технологических укладов экономики [1].

За последнее десятилетие в мире все шире начинает распространяться «индикаторное мышление» [2]. В целях прогноза загрязнения территории, степени техногенной нагрузки остро встает необходимость инструментальной оценки происходящих эколого-экономических процессов, которая позволит дать полную картину сложившейся экологической, социальной и экономической ситуации в регионе. Для оценки экологической обстановки и величины техногенной нагрузки на территорию округа в качестве индикатора устойчивого развития предлагается использовать понятие «экологический след». Расчет экологического следа производился по показателям, отражающим характерные эколого-экономические особенности ХМАО-Югры [3, с. 109–110]. Впервые в исследовании в качестве индикатора устойчивого развития введен в расчет новый показатель – нефтяной след.

Цель исследования: расчет интегрального показателя устойчивого развития «экологический след» для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Материалы и методы исследования

Для расчета экологического следа территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры использовалась методика, разработанная О.С. Мозговой [4]. Расчет экологического следа ХМАО-Югры проводился по следующим составляющим:

А. Лесохозяйственный след. Расчет производился по данным фактического объема заготовки древесины с 2010 по 2014 г. по формуле

$$F^d = \sum_{i=1}^{n} (F_i^d / P_i^w), \qquad (1)$$

где n – количество продуктов лесного хозяйства; F^d – внутреннее потребление i-го лесного продукта [5, с. 50].

Лесохозяйственный след на душу населения рассчитывался по формуле

$$\overline{F} = \frac{F}{N_b}. \qquad (2)$$

По результатам расчета был построен график (рис. 1), на котором показан лесохозяйственный след на душу населения округа с 2010 по 2014 г., свидетельствующий о тенденции увеличения данного показателя. Лесопромышленный комплекс в регионе достаточно развит, и для того, чтобы уменьшить данный показатель, необходимо использовать более ресурсоёмкое производство [6, с. 194].

Б. Расчет рыбохозяйственного следа. Для расчета рыбохозяйственного следа ХМАО-Югры использовался такой индикатор, как внутреннее потребление рыбных ресурсов. Расчет производился по формуле

$$Fg = F^d / P_f^w, \qquad (3)$$

где F^d – объем внутреннего потребления рыбы и рыбопродуктов; P_f^w – среднемировая продуктивность рыбы и рыбопродуктов [8, с. 21].

Рыбохозяйственный след на душу населения рассчитывался по формуле

$$\overline{Fg} = F_g / N_b. \qquad (4)$$

Аналогично лесохозяйственному следу был построен график (рис. 2), на котором так же прослеживается тенденция роста показателя.

В. Расчет энергетического следа. При расчете энергетического следа отслежена динамика электропотребления ХМАО-Югры с 2010 по 2014 гг. Проанализирована отраслевая структура электропотребления: нефтедобыча, транспорт углеводородов, газопереработка, население, сельское хозяйство. Следует отметить, что самой энергоемкой оказалась нефтяная промышленность (71%), а население округа потребляет лишь 4% электроэнергии. Исходные данные были переведены с помощью конвектора из кВт*ч в ккал. Далее был построен график, отражающий устойчивую динамику роста энергетического следа на душу населения с 2010 по 2014 г. (рис. 3).

Г. Расчет следа инфраструктуры. Для расчета показателя использовались площади земли населенных пунктов, земли, отведенные под промышленное освоение и транспортную инфраструктуру в период с 2010 по 2014 г. Экологический след на

душу населения рассчитывался по формуле (5), где суммировались все полученные данные [6, с. 134]:

$$EF = \overline{CL} + \overline{GL} + \overline{F_g} + \overline{F} + \overline{E} + \overline{I}. \quad (5)$$

Расчеты показали интенсивное нарастание экологического следа от инфраструктуры в ХМАО-Югре с 2010 по 2014 г.: от 0,88 до 0,91 мга/чел. [11].

Д. Расчет нефтяного следа. В связи с тем, что ХМАО-Югра является одним из стратегических нефтяных регионов РФ, была поставлена задача – выявить нефтяную специфику региона, рассчитав нефтяной след. Для этого выбраны методика расчета и индикаторы, которые отражают динамику показателя с 2010 по 2014 г. В качестве индикаторов (показателей) были выбраны: добыча нефти в ХМАО-Югре, среднемировое потребление нефти, численность населения, фактор эквивалентности, так как экологический след стран зависит от категории использования земель (зоны) для производства экономических благ.

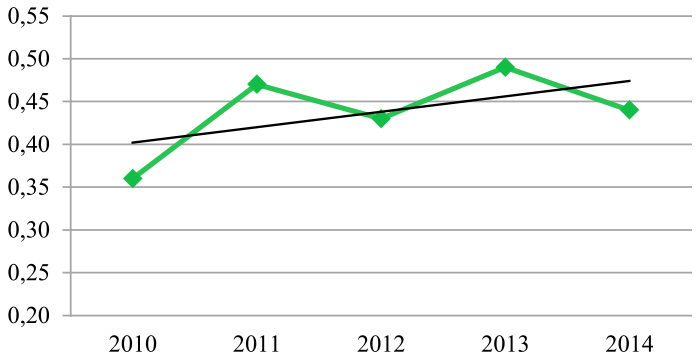


Рис. 1. Лесохозяйственный след, мга/чел. [7]

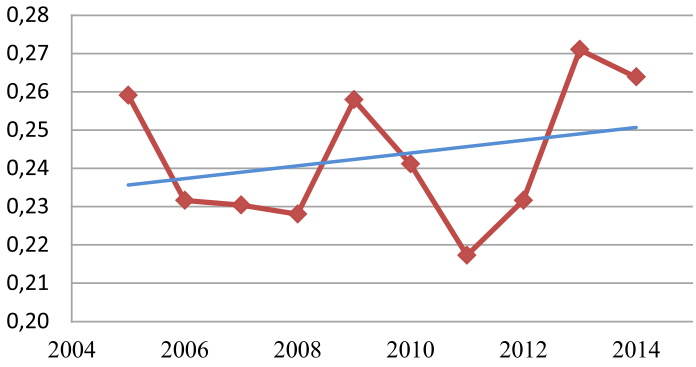


Рис. 2. Рыбохозяйственный след, мга/чел. [9]

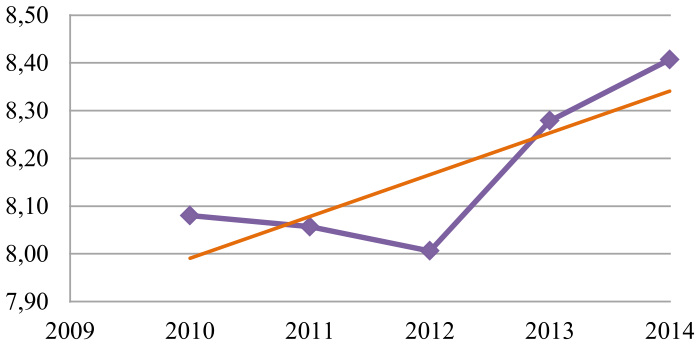


Рис. 3. Энергетический след, мга/чел. [10]

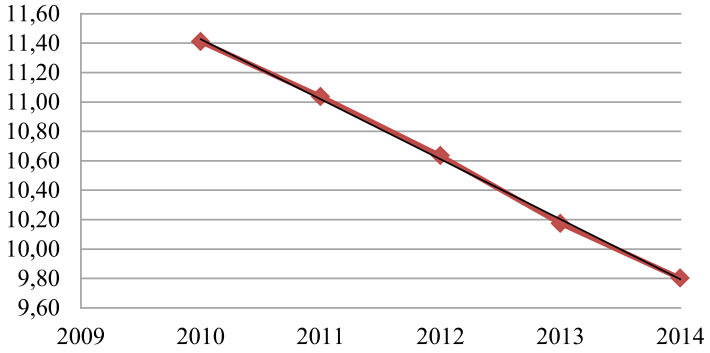


Рис. 4. Нефтяной след, мга/чел.

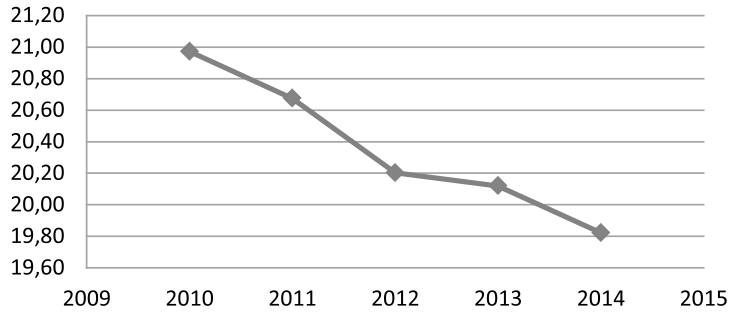


Рис. 5. Общий экологический след ХМАО-Югры, мга/чел.

Пример расчета общего нефтяного следа ХМАО-Югры за 2010 г.:

$$266000000(\text{т/г})/40{,}46(\text{т/г})*2{,}64\ (\text{мга}) = 17356401{,}38\ (\text{мга}).$$

Далее рассчитывался нефтяной след на душу населения:

$$17356401{,}38\ (\text{мга})/\ 1521222(\text{чел.}) = 11{,}41\ (\text{мга/чел.}).$$

В результате расчета нефтяного следа был построен график (рис. 4), на котором нанесена линия тренда, показывающая тенденцию развития нефтяного следа. Расчет указывает на уменьшение величины нефтяного следа, что происходит вследствие падения объемов добычи нефти, следовательно, чем выше добыча, тем выше нагрузка на окружающую среду. Такая тенденция сохраняется все последние годы.

Д. Расчет общего экологического след. Для расчета общего экологического следа использовались уже имеющиеся показатели: лесохозяйственный след, рыбохозяйственный след, энергетический след, след инфраструктуры, нефтяной след (растениеводческий след и пастбищный след не учитывались в данной работе, так как занимают небольшой процент на территории округа). Общий экологический след был выведен путем сложения всех полученных показателей. На рис. 5 изображен график, характеризующий общий экологический след с 2010 по 2014 г. График свидетельствует об уменьшении общего экологического следа для ХМАО-Югры, несмотря на увеличение показателей по лесохозяйственному, рыбохозяйственному, инфраструктурному и энергетическому следам с 2010 по 2014 г. Это происходит в связи с введением в расчеты нового показателя – нефтяного следа, а его главный индикатор – добыча нефти в округе – снижалась с 2010 по 2014 г. Следует предположить, что уменьшение объемов добычи нефти снизит интенсивность негативного воздействия на окружающую природную среду.

Выводы

Среди различных подходов к выявлению степени влияния человека на окружающую среду методика расчета «экологического следа» наиболее полно обеспечивает оценку антропогенной нагрузки на территорию. Представленные результаты позволяют оценить традиционные показатели: лесохозяйственный, рыбохозяйственный, энергетический след и след инфраструктуры. Впервые в качестве индикатора устой-

чивого развития территории введен в расчет новый показатель – нефтяной след.

Предложенная методика расчета экологического следа может найти широкое практическое применение, например использоваться для составления и пополнения экологических паспортов территорий.

Это позволит:

– обеспечить населению ХМАО-Югры конституционное право на безопасную окружающую среду;

– повысить информированность и качество управленческих решений всех уровней власти, что благоприятно скажется на гражданах и хозяйствующих субъектах;

– добиться большей репрезентативности путем представления вычисленных показателей в виде рисунков и карт;

– сократить воздействие на окружающую среду, оптимизировав использование ресурсов территории в сторону их увеличения или сокращения.

Представленные результаты, исходя из методики расчета экологического следа, выступают в роли индикатора и только в общем виде характеризуют экологическое состояние территории. В дальнейшем, для повышения точности в прогнозных экологических моделях (сценариях) необходимо использовать большее число показателей для расчета экологического следа.

Таким образом, использование различных подходов и методов расчета экологического следа может стать надежным гарантом устойчивого развития территории, важным для каждого уровня власти, хозяйствующего субъекта и гражданина, заинтересованных в сохранении окружающей среды в ХМАО-Югре и России.

Список литературы / References

1. Ткачев Б.П. Перспективы социально-экономического развития ХМАО // Вестник Югорского государственного университета. 2005. № 1. С. 109–113.

Tkachev B.P. Prospects of socio-economic development of the Khanty-Mansiysk Autonomous district // Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2005. № 1. P. 109–113 (in Russian).

2. Адам А.М., Коняшкин В.А., Лаптев Н.И. На пути к устойчивому развитию: опыт Томской области. // Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России». 2010. № 54. С. 20–26.

Adam A.M., Konyashkin V.A., Laptev N.I. On the way to sustainable development: the experience of Tomsk region // Bulletin «On the way to sustainable development of Russia». 2010. № 54. P. 20–26 (in Russian).

3. Ткачев Б.П., Ткачева Т.В., Уткина Е.Г. Система экологических индикаторов качества жизни населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Осмысливая современность: сборник материалов I Международной научно-практической конференции (г. Ханты-Мансийск, 28–29 апреля 2017). Ханты-Мансийск, 2017. С. 106–112.

Tkachev B.P., Tkacheva T.V., Utkina E.G. The system of environmental indicators of quality of life of the population of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra // Embracing the present: the collection of materials of I International scientific-practical conference (city of Khanty-Mansiysk, 28–29 April 2017). Khanty-Mansiysk, 2017. P. 106–112 (in Russian).

4. Мозговая О.С. Применение концепции «Экологического следа» для расчета резервов экологической емкости с целью определения рекреационной нагрузки в национальных парках Беларуси // Журнал международного права и международных отношений. 2007. № 2. С. 85–93.

Mozgovay O.S. The Application of the Conception of the Ecological Footprint in Calculation of the Ecological Capacity Research to Determine Recreational Pressure in the National Parks of Belarus // Journal of international law and international relations. 2007. № 2. P. 85–93 (in Russian).

5. Мустафаев К.Ж., Маймеков З.К. Оценка «Экологического следа» природно-техногенной системы Казахстана – индикатор устойчивого развития // Механика и технологии. 2015. № 4 (50). С. 46–53.

Mustafayev K.J., Maymekov Z.K. Evaluation «Ecological footprint» of natural and man-made system of Kazakhstan – sustainable development indicator // Mechanics and technology. 2015. № 4 (50). P. 46–53 (in Russian).

6. Слухаева К.Д. Экологический след как индикатор устойчивого развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: сборник тезисов V региональной молодежной конференции имени В.И. Шпильмана (Ханты-Мансийск, 29–30 марта 2017). Ханты-Мансийск, 2017. С. 192–195.

Sluchaeva K. D. Environmental footprint as an indicator of sustainable development of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra // Problems of rational nature management and the history of geological prospecting in Western Siberia: collection of abstracts of the V regional youth conference named after V.I. Shpilman (Khanty-Mansiysk, March 29–30, 2017). Khanty-Mansiysk, 2017. P. 192–195 (in Russian).

7. Информация о результатах деятельности департамента // Департамент природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [Электронный ресурс]. URL: http://www.depprirod.admhmao.ru/html (дата обращения: 04.08.2018).

Information on the results of the Department // Department of natural resources and non-resource sector of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra [Electronic resource]. URL: http://www.depprirod.admhmao.ru/html (date of access: 04.08.2018).

8. Мустафаев К.Ж. «Экологический след» техногенной системы Казахстана – индикатор устойчивого развития // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11–6 (42). С. 18-23. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.023.

Mustafayev K.J. «Ecological footprint» of technogenic system of Kazakhstan – sustainable development indicator // International research journal. 2015. № 11–6 (42). P. 18–23 (in Russian).

9. Рыболовство и рыбоводство // Федеральная служба государственной статистики по ХМАО-Югре [Электронный ресурс]. URL: http://khmstat.gks.ru/html (дата обращения: 04.08.2018).

Fisheries and fish farming // Federal state statistics service for KHMAO-Yugra [Electronic resource]. URL: http://khmstat.gks.ru/html (date of access: 04.08.2018) (in Russian).

10. Отчет о выполнении работ по актуализации «Комплексной программы перспективного развития электрических сетей субъектов российской федерации Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Ямало-Ненецкого автономного округа, Тюменской области на пятилетний период (до 2020 года) // АО «Тюменьэнерго» [Электронный ресурс]. URL: http://newsite.te.ru//html (дата обращения: 15.08.2018).

Report on the implementation of the «Comprehensive program of long-term development of electric networks of the Russian Federation Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, Yamal-Nenets Autonomous Okrug, Tyumen region for a five-year period (until 2020)» // JSC Tyumenenergo [Electronic resource]. URL: http://newsite.te.ru//html (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

11. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре: 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 гг. // Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [Электронный ресурс]. URL: https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety (дата обращения: 10.08.2018).

Report on the environmental situation in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra: 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 // Service for control and supervision in the field of environmental protection, wildlife and forest relations of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra [Electronic resource]. URL: https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/ (date of access: 10.08.2018) (in Russian).

УДК 504.53:57.049(571.12)

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА РАДОНА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЧВ ЯРКОВСКОГО, ВАГАЙСКОГО, ТОБОЛЬСКОГО РАЙОНОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Токарева А.Ю., Алимова Г.С., Уткина И.А.

ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» УрО РАН, Тобольск, e-mail: tbsras@rambler.ru

Тобольск – активно развивающийся город. В связи с развитием нефте- и газоперерабатывающей отрасли постоянно увеличивается число жителей города и все новые территории охватываются строительством жилищных комплексов и индивидуальных жилищных строений. В целях обеспечения экологической безопасности градостроительства и повышения эффективности использования территорий все большее внимание уделяется естественной радиоактивности. Статья посвящена исследованию плотности потока радона в городе Тобольске и некоторых населенных пунктах Ярковского, Вагайского и Тобольского районов Тюменской области, с целью выявления радоноопасных территорий. Все измерения выполнены комплексом для мониторинга радона «КАМЕРА-01» в соответствии с руководством пользователя и МУ 2.6.1.038-2015 «Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий». Были определены pH, плотность, влажность и гранулометрический состав почвы, координаты в трехмерном пространстве. Концентрация радона в воздухе зависит в первую очередь от геологической обстановки: так, граниты, в которых много урана, являются активными источниками радона. В ходе исследования было выявлено, что на плотность потока радона с поверхности почвы в незначительной степени оказывают влияние плотность и влажность почвы. В результате работы было установлено, что на всех исследованных территориях города Тобольска и окрестностях некоторых населенных пунктов, расположенных у магистральных рек (р. Иртыш и р. Тобол) Ярковского, Вагайского и Тобольского районов, плотность потока радона не представляет опасности для населения и не превышает 80 мБк/м^{2}с, что соответствует первому классу радоноопасности.

Ключевые слова: радон, плотность потока радона, Тобольск, Вагайский, Тобольский, Ярковский районы, Тюменская область

RESEARCH OF FLUX DENSITY OF RADON IN THE SOIL SURFACE OF YARKOVSKIY, VAGAYSKIY AND TOBOLSK DISTRICTS

Tokareva A.Yu., Alimova G.S., Utkina I.A.

Tobolsk complex scietific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, e-mail: tbsras@rambler.ru

Tobolsk is an actively developing city. In connection with the development of the oil and gas processing industry, the number of residents of the city is constantly increasing, and all new territories are covered by the construction of housing complexes and individual housing structures. In order to ensure the environmental safety of urban planning and improve the efficiency of land use, increasing attention is being paid to natural radioactivity. The article is devoted to the study of the radon flux density in the city of Tobolsk and some localities of the Yarkovsky, Vagaysky and Tobolsky districts of the Tyumen region, in order to identify radon-hazardous territories. All measurements were performed by the CAMERA-01 radon monitoring system in accordance with the user's manual and MU 2.6.1.038-2015 «Assessment of the potential radon danger of land plots for construction of residential, public and industrial buildings». Were determined pH, density, moisture and particle size distribution of the soil, the coordinates in three-dimensional space. The concentration of radon in the air depends, first of all, on the geological situation, for example, granites, in which there is a lot of uranium, are active sources of radon. The study found that the density of radon flux from the soil surface to a small extent is influenced by the density and humidity of the soil. As a result of the work, it was found that in all the studied territories of the city of Tobolsk and the vicinity of some settlements located near the main rivers (the Irtysh and Tobol rivers) of the Yarkovsky, Vagai and Tobolsk districts, the radon flux density does not represent a danger to the population and does not exceed 80 MBq / m2s, which corresponds to the first class of radon hazard.

Keywords: radon flux density, radon, Tobolsk, Vagayskaya, Tobolsk, Yarkovsky district, Tyumen Region

В целях обеспечения экологической безопасности градостроительства и повышения эффективности использования территорий все большее внимание уделяется естественной радиоактивности. По данным многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых, основной радиационный фон на нашей планете создается за счет естественных источников излучения, в частности радона, который составляет значительную часть общей радиационной дозы [1–3]. Земная кора с момента своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, создающие естественный радиационный фон. Вклад радона в формирование дозы облучения человека в процессе его жизни от естественных источников оценивается в 54% (рис. 1, 2) [2]. Простое вещество радон при нормальных условиях – бесцветный инертный газ; радиоактивен, стабильных изотопов не имеет. При комнат-

ной температуре является одним из самых тяжёлых газов.

Наиболее стабильный изотоп (222Rn) имеет период полураспада 3,8 суток. Входит в состав радиоактивных рядов 238U, 235U и 232Th. Ядра радона постоянно возникают в природе при радиоактивном распаде материнских ядер. Ввиду химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решётку «родительского» минерала и попадает в подземные воды, природные газы и воздух. Поскольку наиболее долгоживущим из четырёх природных изотопов радона (218, 219, 220, 222) является 222Rn, именно его содержание в этих средах максимально [3]. Концентрация радона в воздухе зависит в первую очередь от геологической обстановки: так, граниты, в которых много урана, являются активными источниками радона. А также от погоды: во время дождя микротрещины, по которым радон поступает из почвы, заполняются водой, снежный покров также препятствует доступу радона в воздух.

Основная часть радиоактивного газа поступает в жильё человека из почвы и с подпочвенных пород, в связи с чем большое значение имеет выбор и обследование территории для застройки. Величиной, характеризующей радоновую опасность грунта, является плотность потока радона. Она указывает на интенсивность выхода газа на поверхность земли [4, 5].

Различают 3 класса радоноопасности территорий:

− первый класс (ППК менее 80 мБк/м^2·с) – для защиты достаточно обычной вентиляции);

− второй класс (ППК равен 80–200 мБк/м^2·с) – необходима умеренная защита;

− третий класс (ППК более 200 мБк/м^2·с) – требуется усиленная защита [6].

Радон радиотоксичен и канцерогенен. Попадая в организм человека, он способствует процессам, приводящим к раку лёгкого. Распад ядер радона и его дочерних изотопов в лёгочной ткани вызывает микроожог, поскольку вся энергия альфа-частиц поглощается практически в точке распада [2].

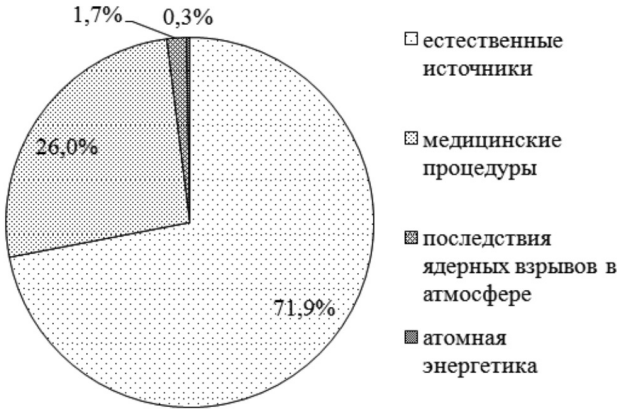


Рис. 1. Суммарная дозовая нагрузка на население от всех источников излучения

Рис. 2. Суммарная дозовая нагрузка на население от естественных источников излучения

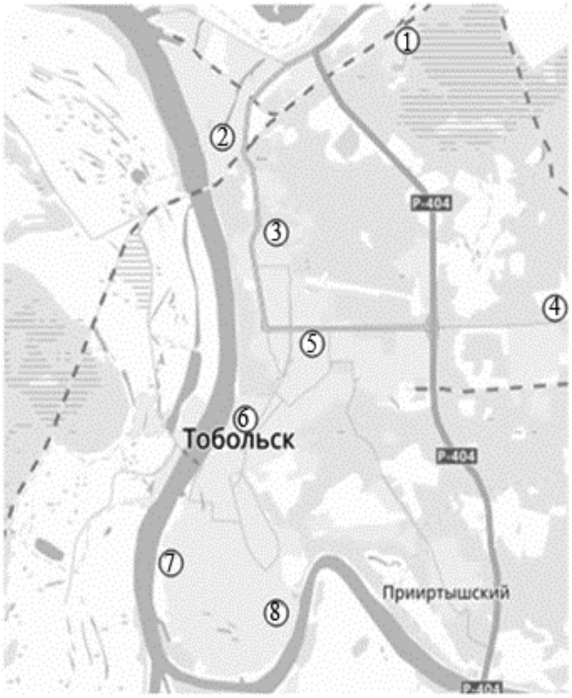


Рис. 3. Районы исследования плотности потока радона с поверхности почвы в городе Тобольске: 1. Микрорайон Менделеево (район СОШ № 20); 2. Микрорайон Речпорт (район Д.К. «Водник»); 3. Микрорайон 7 «А» Детская школа искусств им. А.А. Алябьева; 4. БСИ – 1 (район завода «Сибур-Тобольск»); 5. Микрорайон 15 (жилой сектор); 6. Территория Тобольского кремля; 7. Ул. Алябьева, район СОШ № 14; 8. Микрорайон Южный (ДОЗ)

Тобольск – активно развивающийся город. В связи с развитием нефте- и газоперерабатывающей отрасли постоянно увеличивается число жителей города и все новые территории охватываются строительством жилищных комплексов и индивидуальных жилищных строений.

Цель исследования: выявление радоноопасных территорий в городе Тобольске и некоторых населенных пунктах Ярковского, Вагайского и Тобольского районов.

Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования проведены два этапа работ: первый – определение плотности потока радона с поверхности почвы в некоторых районах города Тобольска и второй – определение плотности потока радона с поверхности почвы окрестностей некоторых населенных пунктов Вагайского, Тобольского и Ярковского районов (рис. 3, 4). Все измерения выполнены комплексом для мониторинга радона «КАМЕРА-01» в соответствии с руководством пользователя и МУ 2.6.1.038-2015 «Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий».

Первый этап исследований проводился в период с 21 по 30 мая 2018 г. при отсутствии атмосферных осадков, температура воздуха 12–18 °С, атмосферное давление 747–762 мм рт. ст., время экспозиции не менее 4 ч.

Второй этап исследований проводился в период с 25 июня по 12 июля 2018 г. при отсутствии атмосферных осадков, температура воздуха 23–30 °С, атмосферное давление 746–761 мм рт. ст., время экспозиции не менее 4 ч. Были определены также актуальная кислотность почвенного раствора по ГОСТ 26423-85, плотность почвы, координаты в трехмерном пространстве (высота над уровнем моря, широта, долгота).

Статистический анализ проведен в программе EXCEL с применением коэффициента корреляции Спирмена r_S.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования плотности потока радона в поверхностном слое почв г. Тобольска и некоторых населенных пунктов Ярковского, Вагайского и Тобольского районов Тюменской области представлены в табл. 1, 2. Наибольшие показатели в г. Тобольске имел район улицы Алябьева (СОШ № 14),

расположенный в подгорной части – среднее значение 48 ± 9 мБк/м^{2}с, при максимуме 78 ± 13 мБк/м^{2}с, что соответствует первому классу радоноопасности.

Второй этап исследования помимо определения плотности потока радона включал в себя также определение актуальной кислотности почвенного раствора, плотности почвы, высоты над уровнем моря. Исследованные почвы имеют различный гранулометрический состав: 72% – легкие суглинки, 16% – средние суглинки, 12% – супесь. На исследованных территориях Тобольского, Вагайского и Ярковского районов отмечается относительно невысокий показатель плотности потока радона с поверхности почвы до 37 мБк/м^{2}с, за исключением окрестности д. Большая Блинникова Тобольский район – 157 мБк/м^{2}с. Это пойменный участок реки Тобол, покрытый характерной для данного биотопа растительностью.

Выявлена слабая корреляционная зависимость между плотностью потока радона в поверхностном слое почв и её плотностью и влажностью, что подтверждается и другими исследователями [2, 4]. Корреляция между pH почв и содержанием радона статистически не значима.

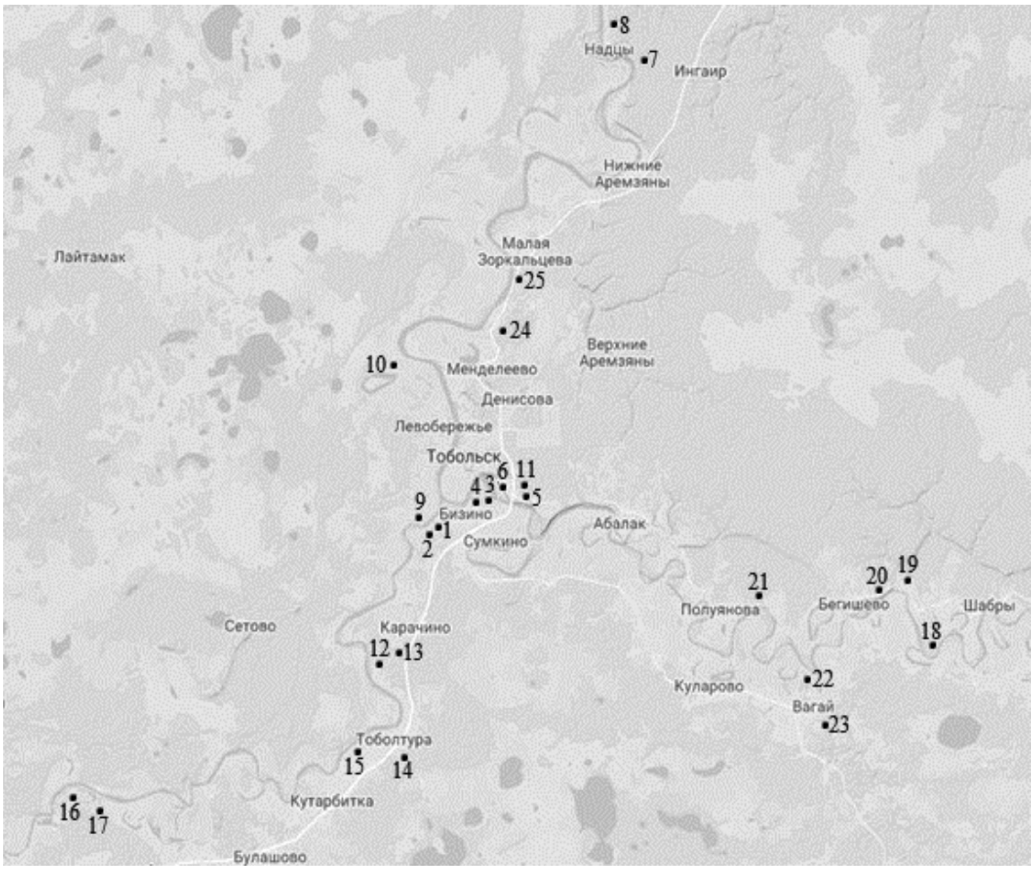


Рис. 4. Районы исследования плотности потока радона с поверхности почвы (координаты):
1. N 58°07.134' E 68°11.843'; 2. N 58°07.237' E 68°12.827';
3. N 58°09.779' E 68°18.215'; 4. N 58°09.817' E 68°17.284';
5. N 58°09.017' E 68°22.717'; 6. N 58°09.137' E 68°21.557';
7. N 58°37.903' E 68°34.823'; 8. N 58°38.633' E 68°33.920';
9. N 58°07.538' E 68°08.362'; 10. N 58°19.042' E 68°07.017';
11. N 58°09.326' E 68°22.860'; 12. N 57°57.596' E 68°04.299';
13. N 57°58.280' E 68°08.210'; 14. N 57°53.477' E 68°07.235';
15. N 57°53.473' E 68°01.633'; 16. N 57°50.309' E 67°28.547';
17. N 57°49.463' E 67°28.794'; 18. N 57°59.486' E 69°16.445';
19. N 57°59.486' E 69°16.444'; 20. N 58°02.924'E 69°07.701';
21. N 58°01.335' E 68°56.814'; 22. N 57°58.367' E 68°59.936';
23. N 57°54.411' E 68°01.920'; 24. N 58°19.009' E 68°20.264';
25. N 58°24.230' E 68°22.109'

Таблица 1

Значение плотности потока радона с поверхности почвы
в некоторых районах города Тобольска

№ п/п	Район исследования	Дата анализа	Количество точек измерений	Значение плотности потока радона с поверхности почвы, мБк/м^{2}с ± погрешность		
				Среднее	Минимальное	Максимальное
1	Микрорайон Менделеево	23.05.2018	10	14	5 ± 1	28 ± 6
2	Микрорайон Речпорт	24.05.2018	10	16	5 ± 1	50 ± 10
3	7 «А» микрорайон	21.05.2018	10	34	18 ± 5	55 ± 4
4	БСИ – 1 (район завода «Сибур-Тобольск»)	22.05.2018	10	14	6 ± 1	30 ± 8
5	15 микрорайон	29.05.2018	10	29	10 ± 6	61 ± 10
6	Территория Тобольского кремля	30.05.2018	10	25	7 ± 4	59 ± 10
7	Ул. Алябьева, район СОШ № 14	28.05.2018	10	48	23 ± 5	78 ± 13
8	Микрорайон Южный (ДОЗ)	25.05.2018	10	16	8 ± 5	24 ± 7

Таблица 2

Значение плотности потока радона с поверхности почвы окрестностей некоторых населенных пунктов Вагайского, Тобольского и Ярковского районов

№ п/п	Район исследования Координаты, высота над уровнем моря	Гранулометрический состав	Среднее значение ППР с поверхности почвы, мБк/м^{2}с	Плотность почвы, кг/м^3	pH почвы, ед. pH
1	N 58º07.134' E 68º11.843' Тобольский район, окрестности д. Медянки-Русские	Средний суглинок	16	995	7,73
2	N 58º07.237' E 68º12.827' Тобольский район, окрестности д. Медянки-Русские	Средний суглинок	37	1042	6,5
3	N 58º09.779' E 68º18.215' Тобольский район, окрестности д. Исеневская, пойменный луг, р. Иртыш	Легкий суглинок	19	1026	6,44
4	N 58º09.817' E 68º17.284' Тобольский район, окрестности с. Бизино	Средний суглинок	7	1107	6,9
5	N 58º09.017' E 68º22.717', 328 м Тобольский район, р. Иртыш, р-н автомобильного моста, широколиственный лес	Легкий суглинок	9	1067	5,39
6	N 58º09.137' E 68º21.557', 189 м Тобольский район, окрестности п. Приртышский, размывной берег р. Иртыш	Легкий суглинок	16	979	8,04
7	N 58º37.903' E 68º34.823', 254 м Тобольский район, окрестности п. Надцы, склон, сосновый лес	Легкий суглинок	24	963	6,66
8	N 58º38.633' E 68º33.920', 147 м Тобольский район, окрестности п. Пенья	Супесь	14	1154	7,39
9	N 58º07.538' E 68º08.362', 130 м Тобольский район, окрестности с. Ермаково, берег р. Иртыш	Легкий суглинок	11	1178	5,61
10	N 58º19.042' E 68º07.017', 166 м Тобольский район, окрестности д. Овсянникова	Легкий суглинок	14	1154	5,97
11	N 58º09.326' E 68º22.860' Тобольский район, окрестности п. Сибиряк	Легкий суглинок	35	995	6,43
12	N 57º57.596' E 68º04.299', 139 м Тобольский район, окрестности д. Большая Блинникова	Легкий суглинок	157	930	6,06
13	N 57º58.280' E 68º08.210', 210 м Окрестности д. Большая Блинникова, лес	Легкий суглинок	7	802	5,59

Окончание табл. 2

№ п/п	Район исследования Координаты, высота над уровнем моря	Грануломе-трический состав	Среднее значение ППР с поверхно-сти почвы, мБк/м^{2}с	Плотность почвы, кг/м^3	pH по-чвы, ед. pH
14	N 57º53.477' E 68º07.235', 146 м Тобольский район, окрестности д. Тоболту-ра, лес	Легкий суглинок	14	1123	4,67
15	N 57º53.473' E 68º01.633', 156 м Окрестности д. Тоболтура, автодорога 404	Легкий суглинок	7	882	8,15
16	N 57º50.309' E 67º28.547', 152 м Ярковский район, окрестности с. Сорокино, лес	Легкий суглинок	20	1042	6,04
17	N 57º49.463' E 67º28.794', 154 м Окрестности с. Сорокино, разнотравный луг	Легкий суглинок	9	1099	6,03
18	N 57º59.486' E 69º16.445', 161 м Вагайский район, окрестности д. Соснова, берег р. Иртыш	Супесь	8	979	7,63
19	N 57º59.486' E 69º16.444', 130 м Вагайский район, окрестности с. Бегишево, березовый лес у дороги	Легкий суглинок	10	1331	6,05
20	N 58º02.924' E 69º07.701', 273 м Вагайский район, окрестности п. Инжура, терраса р. Иртыш	Легкий суглинок	10	883	6,83
21	N 58º01.335' E 68º56.814', 149 м Вагайский район, окрестности д. Кобяк-ская, кедровый лес у дороги	Средний суглинок	24	938	5,3
22	N 57º58.367' E 68º59.936', 143 м Вагайский р-н, устье р. Вагай	Легкий суглинок	5	802	5,83
23	N 57º54.411' E 68º01.920', 191 м Вагайский р-н, окрестности с. Вагай, раз-нотравный луг	Легкий суглинок	8	1026	7,04
24	N 58º19.009' E 68º20.264', 167 м Тобольский р-н, окрестности д. Ломаево, сосновый лес	Супесь	7	818	4,88
25	N 58º24.230' E 68º22.109', 120 м Тобольский р-н, окрестности д. Медведчи-ково, берег р. Иртыш	Легкий суглинок	31	1026	6,72

Выводы

Обследование территории города Тобольска не выявило радоноопасных районов в городе. В результате работы было установлено, что на всех исследованных территориях города Тобольска и Вагайского, Тобольского и Ярковского районов плотность потока радона не представляет опасности для населения и не превышает 80 мБк/м^{2}с, таким образом, исследуемые территории соответствуют первому классу радоноопасности. Только в окрестности д. Большая Блинникова (Тобольский район) наблюдалось повышенное значение – 157 мБк/м^{2}с, данная территория относится ко второму классу радоноопасности.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0019 «Миграционные процессы радионуклидов и химических поллютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна».

Список литературы / References

1. Роберт К.А., Нешто К.Я., Мамаев Т.Д., Сенин И.Ю. Защита жителей домов от влияния радона при эксплуатации здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 10 (37). С. 46–52.

Robert K.A., Neshto K.YA., Mamaev T.D., Senin I.YU. Protecting People from the Effects of Radon in Houses // Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij. 2015. № 10 (37). P. 46–52 (in Russian).

2. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Техногенез и экология: Информационно-тематический сборник. Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. 212 с.

Utkin V.I. Radonic problem in ecology //Tekhnogenez and ecology: Information and thematic collection. Ekaterinburg: Ural'skaya gosudarstvennaya gorno-geologicheskaya akademiya, 1998. 212 p. (in Russian).

3. Карабанов А., Жук И., Ярошевич О., Конопелько М., Лукашевич Ж., Василевский Л. Радон: здоровье, опасность,

защитные мероприятия // Наука и инновации. 2013. Т. 4. № 122. С. 63–67.

Karabanov A., Zhuk I., Yaroshevich O., Konopel'ko M., Lukashevich Zh., Vasilevskij L. Radon: health, danger, protective measures // Nauka i innovacii. 2013. T. 4. № 122. P. 63–67. (in Russian).

4. Новожилова М.Б., Андреев А.И. Радон почвенного воздуха // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2013. Т. 1. С. 268–272.

Novozhilova M.B., Andreev A.I. Radon of soil air // Nauchno-tekhnicheskoe i ehkonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. 2013. T. 1. P. 268–272. (in Russian).

5. Гулабянц Л.А. Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий. М.: НО «ФЭН-НАУКА», 2013. 52 с.

Gulabyanc L.A. Grant on design of antiradonic protection of residential and public buildings. M.: NO «FEN-NAUKA», 2013. 52 p. (in Russian).

6. Контроль плотности потока радона из почвы при отведении земельного участка под строительство [Электронный ресурс]. URL: http://13.rospotrebnadzor.ru/content/kontrol-plotnosti-potoka-radona-iz-pochvy-pri-otvedenii-zemelno-go-uchastka-pod-stroitelstvo (дата обращения: 02.10.2018).

Control of density of a stream of radon from the soil at assignment of the land plot under construction [Электронный ресурс]. URL: http://13.rospotrebnadzor.ru/content/kontrol-plotnosti-potoka-radona-iz-pochvy-pri-otvedenii-zemelno-go-uchastka-pod-stroitelstvo (date of access: 02.10.2018) (in Russian).

УДК 551.435.136: 551.248.2 (470)

ВСЕЛЕНИЕ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМЫ СРЕДНИХ ШИРОТ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ЛЕТНИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ ВОЗДУХА

[1,2]Шевырёв С.Л., [3]Анциферова Г.А., [4]Русова Н.И.

[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток;
[2]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru;
[3]Воронежский государственный университет, Воронеж, e-mail: g_antsiferova@mail.ru;
[4]Военно-морской политехнический институт ВМПИ ВУНЦ ВМА «Военно-морская академия» им. Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург, e-mail: nadezhda_minnikova@mail.ru

На территории государственного природного заповедника «Воронинский» в среднем течении р. Ворона, крупного правого притока р. Хопер, входящей в бассейн среднего Дона, расположены проточно-русловые озера. К ним относятся озеровидные расширения русла реки, развивающиеся вследствие формирования активных неотектонических поднятий. Исследования сообществ фитопланктона и микрофитобентоса мелководных и среднеглубоких озер Рамза и Кипец проводились в 2007–2014 гг. В работе описаны изменения видового состава фитопланктона и микрофитобентоса озер в условиях среднестатистических климатических параметров (2007–2009 гг.), при аномально высоких летних температурах воздуха (2010–2012 гг.) и при возврате температур к среднестатистическим показателям (2013–2014 гг.). Анализ фактических данных, полученных для водоемов заповедника, показал, что таксономический состав сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий отражает воздействие природных и антропогенных процессов, происходящих в пределах геосистемы «водоем – водосборная территория». Изменения видового состава вызываются флуктуациями в потоках вещества и энергии. При превышении обычных летних температурных показателей происходит увеличение объемов накопления в водоемах органического вещества, при этом качество вод снижается. Резкое изменение состава сообществ цианобактерий показывает их высокую миграционную способность. Аномально высокие летние температуры воздуха и вод способствуют распространению цианобактерий, которые являются чужеродными для региона и характерными для теплых водоемов и горячих источников. Возвращение параметров среды обитания к среднестатистическим вызывает их исчезновение, однако при этом получают распространение виды цианобактерий, характерные для загрязненных местообитаний и способные вызывать «цветение» вод. Среди них наблюдаются также признанные продуценты цианотоксинов. Появление таких видов в природных водоемах заповедника в условиях глобальных климатических изменений подтверждает опасность положительных температурных аномалий, поскольку они чрезвычайно негативно влияют на качество поверхностных вод.

Ключевые слова: водные экосистемы, диатомовые водоросли, загрязнение вод, климат, микрофитобентос, фитопланктон, цианобактерии, чужеродные виды

IMMIGRATION OF THE ALIEN CYANOBACTERIAE INTO THE BASINS OF MIDDLE LATITUDE TERRITORIES UNDER CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURE AIR ANOMALIES

[1,2]Shevyrev S.L., [3]Antsiferova G.A., [4]Rusova N.I.

[1]Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok;
[2]Far Eastern Federal University, FEFU, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru;
[3]Voronezh State University, Voronezh, e-mail: g_antsiferova@mail.ru;
[4]Military educational scientific center of Navy «Naval academy of a name of the Admiral of Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov» (VUNTs Navy VMA), Saint Petersburg, e-mail: nadezhda_minnikova@mail.ru

The subject of our research, fluvial-riverbed lakes are located in the area of natural state reserve «Voronensky» in the middle flow Vorona river, the right tributary of Khopyor (middle Don basin). The lakes to be considered are the lake-like extensions of the riverbed, which were developed due to active neotectonic uplifts. Sampling of phytoplankton cenoses was made in the shallow and middle-deep lakes of Ramza and Kipets in 2007-2014. Paper comprises a change in species composition of phytoplankton and microphytobenthos of the lakes under conditions of standard climate regime (2010–2012), anomalous high summer temperature of the air (2010–2012) and after return of the temperature to standard values (2013-2014). Analysis of factual data taken from the natural reserve basins showed, that taxonomic composition of diatoms and cyanobacteriae reflects influence of natural and anthropogenic processes, which occur within of «basin – catchment area» system. Changes in species composition are provoked by fluctuations in substance and energy flow. Exceeding of common summer temperature values cause increasing of organic matter accumulation in basins, hence water quality drops. Steep changes in cyanobacteriae cenoses demonstrate their high migration ability. Anomalous high summer temperatures of water and air promotes extension of cyanobacteria, which are alien for the region, but typical for warm basins and hot streams. Return to mean environmental parameters makes alien species disappear, however species, which follow them are typical for polluted areas and may cause water blooming. Recognized cyanotoxins producers are among them. Occurrence of such species in the basins of natural reserve under conditions of global climatic changes proves danger of positive temperature anomalies due to their critically negative influence on the surface waters quality.

Keywords: water ecosystems, diatom, water pollution, climate, microphytobenthos, phytoplankton, cyanobacteriae, alien species

Урбанизация и ускоренное сельскохозяйственное развитие территорий Центрально-Черноземной части России приводят к усилению неблагоприятного антропогенного воздействия на поверхностные водоемы суши. Это затрудняет выбор водоемов – объектов для исследования собственно природных и климатических изменений. Рассмотрение проточных озер долины реки Ворона (правый приток р. Хопер, Тамбовская обл.), находящихся на особо охраняемой территории заповедника «Воронинский», в качестве эталонных, объясняется отсутствием прямого антропогенного воздействия на них, а также высоким эколого-биологическим качеством природных вод.

К настоящему времени для сообществ микроводорослей и цианобактерий водоемов средней полосы авторами собран обширный массив данных, значительная часть которого получена в эталонных объектах исследования – проточных озерах Воронинского заповедника. Опробованием там установлены богатые в видовом отношении ценозы диатомовых и сине-зеленых водорослей [1].

Формирование проточных озер в пойме р. Ворона обусловлено неотектоническими процессами и геологическим строением ее долины. Спутниковый ретроспективный мониторинг овражно-балочной сети показал локальную активизацию денудационных процессов в нескольких зонах долины р. Ворона между г. Кирсанов и Уварово Тамбовской области. В этих зонах размыв бортов долины и переотложение вещества, вызвавшее подпруживание поймы, были особенно активны благодаря присутствию предполагаемых неотектонических поднятий [1].

Имеющийся у авторского коллектива материал наблюдений в течение вегетационных сезонов 2007–2014 гг. позволил поставить целью проведение ретроспективного изучения миграционной способности представителей микрофитобентоса и фитопланктона, а также закономерностей в формировании и сохранении микрофитоценозов в условиях контрастных изменений природно-климатических условий. Для достижения поставленной цели охарактеризованы комплексы микроводорослей в условиях климата, типичных для лесостепной полосы (2007–2009; 2013–2014), а также при аномально высоких летних температурах воды и воздуха (2010–2012). Необходимые характеристики микрофитоценозов в условиях меняющейся среды включали определения видового состава цианобактерий и диатомовых водорослей, оценку их изобилия, а также экологическую специализацию. Выявляемые изменения в составе микроводорослей сопоставлялись с данными «*in situ*»: ландшафтными, геоморфологическими, а также космическими наблюдениями.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат проводимых исследований включает опробование и установление состава микрофитосообществ; полевые дистанционные космические наблюдения. Анализ частоты встречаемости микроводорослей в пробах позволил оценить их изобилие и соотнести с температурами воздуха в сезон проведения полевых работ. Дешифрирование космических материалов служит целям оценки факторов, влияющих на эволюцию водоемов суши: плоскостной смыв и неотектонические процессы.

Результаты исследования и их обсуждение

Совместными полевыми работами сотрудников заповедника и исследователей Воронежского госуниверситета (2006–2008 гг.) и последующих лет установлено, что характерной особенностью русла р. Ворона на участке наблюдений в районе п. Инжавино общей протяженностью более 20 км является петлеобразная форма русла, зарождение и развитие стариц. Средний уклон русла в этой части речной долины понижается до 10 см (10%), при 16 см (16%) на 1 км течения в верхнем течении реки [2]. Непосредственно выше этого участка на спутниковых снимках Landsat прослеживаются расширения русла, которые представляют уникальные для региона озера Рамза и Кипец составляющие озерную систему проточно-руслового типа (рис. 1). Свидетельства локальных неотектонических поднятий в долине р. Ворона обнаруживаются также в геологических разрезах у с. Ольховка (Тамбовская обл.). Субгоризонтально залегающие пески и алевриты раннемелового возраста, вскрытые оврагом в интервале абсолютных отметок от 170 м до 180 м, ниже по течению Вороны отмечаются у уреза воды с отметкой 115 м. Процессы, вызвавшие амплитудное вертикальное смещение меловых пород, предположительно ответственны за возникновение оз. Кипец и Рамза [1].

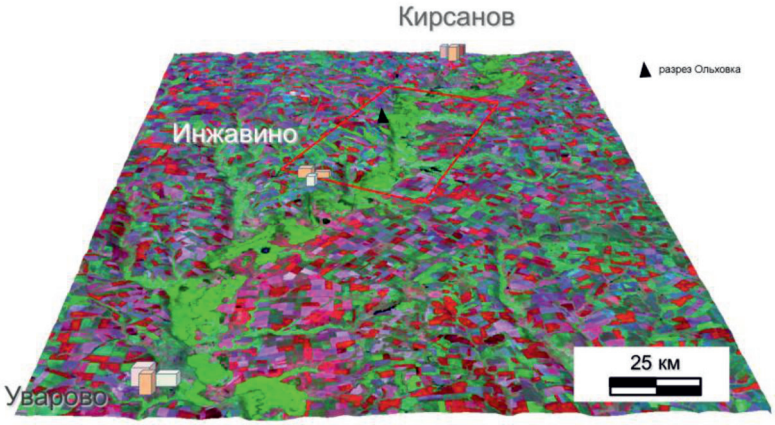


Рис. 1. Космофотоизображение (Landsat, каналы 7–4–2, состояние местности 1999–2002 гг.) долины р. Ворона на цифровой модели рельефа. Территория Воронинского заповедника показана прямоугольником

В изменяющихся погодно-климатических условиях оптическая прозрачность водоемов контролируется изменениями структуры микрофитоценозов [3]. Это, вероятно, связано со способностью диатомовых водорослей и цианобактерий участвовать как в поглощении веществ-биогенов, так и в процессе фотосинтеза, что обуславливает их высокую адаптационную способность.

Изученные ценозы микрофитопланктона и фитобентоса отличаются высоким разнообразием. Определения диатомовых водорослей в начальный (эталонный) период наблюдений включают 458 таксона, из них 47 родов. Среди них: *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *S. rotula* (Kütz.) Hendey, *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Krammer, *A. italica* (Ehr.) Grun. et var. tenuissima (Grun.) Sim., *A. granulata* (Ehr.) Sim., *A. islandica* ssp. helvetica (O.Müll.) Sim., *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Melosira varians* Ag., *Fragilaria brevistriata* Grun., *F. crotonensis* Kitt., *F. construens* var. venter (Ehr.) Grun., *Synedra berolinensis* Lemm., *S. ulna* (Nitzsch.) Grun. et var. aequalis (Kütz.) Hust., *S. tabulata* (Ag.) Kütz., *Asterionella gracillis* (Hantzsch.) Heib., *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kütz., *Eunotia lunaris* (Ehr.) Grun., *E. bigibba* Ehr., *Navicula anglica* Ralfs., *N. bacillum* Ehr., *N. bicapitata* Hust. и другие. Эталонные сообщества сине-зеленых водорослей насчитывают 53 рода, 224 вида, в числе которых: *Dactylococcopsis raphidioides* Hansg., *Merismopedia glauca* f. insignis (Schkorb.) Geitl., *Pseudoholopedia convoluta* (Bréb.) Elenk., *Microcystis hansgirgiana* (Hang.) Elenk., *M. pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. et f. holsatica (Lemm.) Elenk., *Gloeocapsa limnetica* (Lemm.) Hollerb., *Coelosphaerium kützingii* Grun., *Anabaena hassalii* f. minor V. Poljansk., *A. spiroides* Kleb. Озера Воронинского заповедника рассматриваются нами как природные убежища-рефугиумы, обеспечивающие консервацию микроводорослей. Значимость подобных объектов для сохранения биоразнообразия заключается в том, что при благоприятных условиях среды они явятся центрами распространения микробиоты в водоемы, не сохранившие ее или ей существенно обедненные [4].

Многолетний мониторинг сообществ сине-зеленых водорослей показывает открытость озер заповедника «Воронинский» для вселения, адаптации и распространения новых, прежде не описанных здесь видов. Устойчивые аномально высокие температуры летнего времени в течение 2010–2012 гг. повлияли на состав микроводорослевых сукцессий. В описываемый период температура поверхностного слоя воды в озера заповедника превышала отметку 30 °C. Этот фактор явился критическим для ухудшения условий обитания первоначальных микрофитоценозов и снижения их видового разнообразия. Изменения условий привели к появлению в водоемах ранее не описанных здесь видов.

Для диатомовых водорослей, по наблюдениям 2012 г., это виды *Eunotia fallax var. gracillima* Krasske, *Cymbella ventricosa var. ovata* Grun., *Surirella didyma* Kütz.

В период жарких летних сезонов 2010–2012 г. ценозы сине-зеленых водорослей

стали существенно более разнообразны, чем в первые годы наблюдений. Температура вод оказалась наиболее значимой для расселения теплолюбивых видов цианобактерий *Phormidium paryraceum* (Ag.) Gom. и *Phormidium ambiguum* Gom. с оценками изобилия «нередко», «часто» и «очень часто».

Виды теплых вод и горячих источников, такие как *Phormidium laminosum* (Ag.) Gom., *Ph. tenue* (Menegh.) Gom., *Ph. valderiae* (Delp.) Geitl., *Anabaena birgei* G.M. Smith., *Nematonostoc flagelliformis* (Berk. et Curt.) Elenk., *Spirulina meneghiniana* Zanard., впервые появились в 2010–2012 гг. и успешно адаптировались. В анализах проб тех лет они получили оценки обилия «в массе». С оценками «очень часто» распространены виды *Microcystis aeruginosa f. pseudofilomentosa* (Grow) Elenk., *Lyngbya truncicola* Ghose, *Mastigocladus laminosus* Cohn., *Anabaena viguieri* Denis et Fremy, *Merismopedia punctata* Meyen. Вид *Synechocystis aquatilis* Sauv. имеет оценки обилия «часто». Особого внимания заслуживает распространение в оз. Кипец с оценками обилия «в массе» вида *Ostillatoria coerulescens* Gicklh., требующего для обильного распространения условий ила, обогащенного сероводородом.

Для микрофитоценозов нами описаны также ранее неизвестные в водоемах европейской части России виды: *Romeria chlorina* Bőcher, *Lyngbya majuscula* Harvey, *Spirulina curta* (Lemm.) Geitl., *Merismopedia elegans* A.Br., *Gomphosphaeria lacustris f. compacta* (Lemm.) Elenk., *Woronichinia naegiliana* (Ung.) Elenk., *Spirulina labyrinthiformis* (Menegh.) Gom., *Spiruliba minima* A. Wurtz., *Anabaena minima* Tschernov, *Ostillatoria ornata f. planctonica* Ehr., *Phormidium fragile* (Menegh.) Gom., *Stigonema hormoides* (Kütz.) Born. et Flah., *Beckia bella* (G. Beck) Elenk., *Microcoleus lacustris* (Rabenh.) Farl.

В 2013–2014 гг. на территории исследований наблюдался возврат к обычным для этой географической широты температурным условиям. При этом из видового состава синезеленых водорослей практически исчезли таксоны, присущие теплым водам и горячим источникам. Среди теплолюбивых форм сохранились таксоны, установленные в 2007–2009 гг. Температурные всплески периода 2010–2012 гг. также оказали свое влияние и на качество вод озер заповедника.

Особенности экобиологической специализации микропланктона и микрофитобентоса показывают, что среди определений видов-индикаторов загрязнений «в массе» и «очень часто» в течение всего периода наблюдений установлены *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom., *Spirulina jenneri* (Hass.) Kütz. В завершающие годы проведения мониторинга (2013–2014 годы) наряду с указанными выше, получают широкое распространение виды *Rhabdoderma lineare f. compositum* (G.V. Smith) Hollerb., *Microcystis wesenbergii* Komarek, *Anabaena affinis* Lemm., *Aphanothece clatrata* W. et G.S. West, *Aph. stagnina* (Spreng.) B.-Peters. et Geitl. и другие. С оценками обилия «часто» и «нередко» распространены *Microcystis aeruginosa f. pseudofilamentosa* (Crow) Elenk., *M. ichthyoblabe* Kütz. и другие.

Снижение качества вод, установленное к заключительному 2014 г., подтверждается развитием видов цианобактерий – продуцентов цианотоксинов, встречающихся с высокими оценками изобилия. Это виды *Anabaena constricta* (Szaf.) Geitl., *A. solitaria* Klebs, *Ostillatoria lauterbornii* Schmidle, *O. princeps, O. putrida* Schmidle, *O. splendida* Grev. и другие. Появление указанных сине-зеленых в водоемах заповедника подтверждает наличие опасности температурных аномалий для поверхностных водоемов суши особо охраняемых территорий.

Трансформация озерных экосистем, перенесенная ими в условиях климатических флуктуаций 2010–2012 гг., нашла свое выражение в обмелении водоемов и зарастании мелководий. Уменьшение средних глубин проточных озер русла Вороны обеспечило бóльшую продолжительность периода высоких температур, благоприятных для активной вегетации сине-зеленых. Это сыграло роль в увеличении объемов органического вещества, аккумулируюемого на дне водоемов в конце сезона за счет накопления остатков высших водных растений и планктона.

Как уже указывалось, в настоящем исследовании комплекса природных и антропогенных процессов, протекающих в период наблюдений в водоемах и на водосборных площадях, нами использовались геоинформационные методы, основанные на интерпретации спутниковых данных и лабораторные определения комплексов микроводорослей.

Обработка материалов съемок Landsat 1975–2010 гг. позволила сделать выводы о динамике зарастания акваторий проточных озер (рис. 2). Наряду с этим также выявлены участки сноса песчано-глинистого материала по периферии локальных поднятий, который способствует заилению водоемов [1]. Оценка состояния водосборной территории была проведена с помощью метода

ISODATA, позволившего классифицировать отраженные на космофотоснимке площади водосборов. Отслеживание флуктуаций в значениях NDVI (нормализованный вегетационный индекс) отразило концентрацию фотосинтезирующей биомассы наземной растительности и динамику эволюции площадей зарастания в акватории оз. Рамза, Кипец, а также русла р. Ворона. На материалах орбитальных съемок оконтурены зоны лесных и луговых ландшафтов и сельхозугодья. Детектирование ложбин поверхностного стока демонстрирует зоны активизации эрозионных процессов. Для них характерно снижение плотности растительности, которая препятствует эрозии. О сокращении плотности наземной растительности в 1990–2010-х гг. также говорит снижение величины вегетационного индекса NDVI.

В то же время для озерных акваторий характерно увеличение NDVI, что подтверждает их активное зарастание высшей водной растительностью [5]. Мониторинг изменений NDVI согласуется с данными промеров глубин, свидетельствующих о значительных темпах обмеления и зарастания озера Рамза (рис. 3), находящего подтверждение в полевых наблюдениях [6].

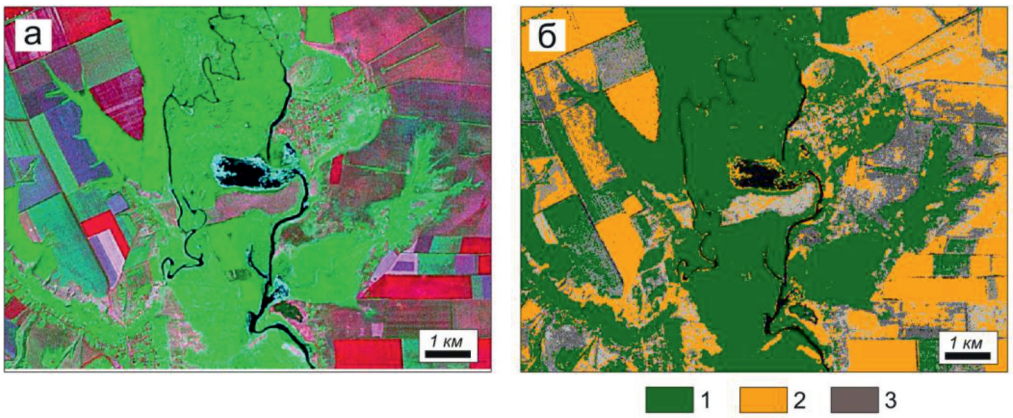


Рис. 2. Использование алгоритма неконтролируемой классификации ISODATA (б) для анализа мозаичного снимка Landsat (каналы 7-4-2, состояние местности 1999–2002 гг.) (а). Интерпретация: 1 – площади здоровой вегетации; 2 – сельскохозяйственные угодья, 3 – области нарушенной растительности, являющиеся местами сноса глинистого материала, приводящие к заилению

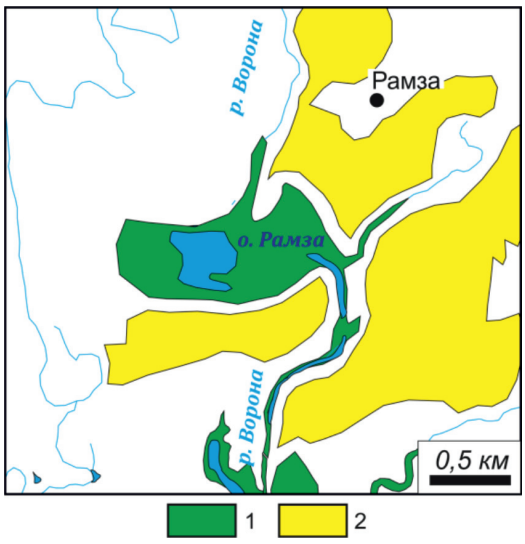


Рис. 3. Анализ динамики значений NDVI водосборов оз. Рамза с 1990 по 2010: 1 – участки положительной динамики NDVI (зарастающие), 2 – участки сокращения наземной растительности на водосборах

Заключение

Исследование процессов, происходящих в водоемах, в целом направлено на сохранение устойчивости экосистем. На их примере подтверждается общее представление о том, что водная экосистема является открытой, способной чутко реагировать на изменения условий среды. Таксономический состав сообществ фитопланктона и микрофитобентоса отражает воздействие природных и антропогенных процессов, происходящих в пределах геосистемы «водоем – водосборная территория». Полученные в 2007–2014 гг. данные показали высокую миграционную способность цианобактерий. При аномально высоких летних температурах воздуха и вод широкое развитие получают чужеродные для водоемов региона виды цианобактерий, характерные для теплых вод и горячих источников. При возврате среды обитания к среднестатистическим климатическим параметрам чужеродные виды практически исчезают. Однако в водоемах произошло увеличение объемов отмершего вещества, что повлияло на качество вод за счет органического загрязнения. Это обусловило развитие видов, характерных для загрязненных местообитаний, продуцентов цианотоксинов, в том числе способных вызывать «цветение» вод. Установлено, что положительные температурные аномалии предопределяют условия, негативно влияющие на качество поверхностных вод.

Список литературы / References

1. Анциферова Г.А., Козлов А.Т., Дорофеев В.В., Сумин А.И., Беспалова Е.В. Антропогенное эвтрофирование водоемов Окско-Донской низменности по сообществам фитопланктона // Естественные и технические науки. 2017. № 11 (113). С. 144–147.

Anciferova G.A., Kozlov A.T., Dorofeev V.V., Sumin A.I., Bespalova E.V. Anthropogenic evtrofirovaniye of reservoirs of the Oka and Don lowland on communities of phytoplankton // Estestvenny`e i texnicheskie nauki. 2017. № 11 (113). P. 144–147 (in Russian).

2. Летопись природы. ФГУ «Государственный природный заповедник «Воронинский». Под ред. А.Н. Гудиной. Кн. 10. Инжавино, 2009. 119 с.

Chronicle of the nature. FGU «Gosudarstvenny`j prirodny`j zapovednik «Voroninskij». Pod red. A.N. Gudinoj. Kn. 10. Inzhavino, 2009. 119 p. (in Russian).

3. Борисова Л.Е. Оптический режим реки Ворона // Труды государственного природного заповедника «Воронинский». Тамбов, 2011. Т. 2. 145 с.

Borisova L.E. Optical mode of Vorona River // Works of the national Voroninsky nature reserve. Tambov, 2011. T. 2. 145 p. (in Russian).

4. Анциферова Г.А., Русова Н.И. Долгосрочные последствия влияния аномально высоких летних температур воздуха 2010–2012 годов на водные экосистемы лесостепной зоны // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2017. № 2. С. 5–12.

Anciferova G.A., Rusova N.I. Long-Term Consequences of the Influence of Anomalously High Summer Air Temperatures of 2010-2012 on Water Ecosystems of the Forest-Steppe Zone // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoe`kologiya. 2017. № 2. P. 5–12 (in Russian).

5. Красовская С.А. Растительность водоёмов поймы реки Хопра // Труды Хопёрского государственного заповедника. Вып. 3. Воронеж: Воронеж. кн. Из-во, 1959. С. 142–216.

Krasovskaya S.A. Vegetation of reservoirs of the floodplain of the Hopra River. Vy`p. 3. Voronezh: Voronezh. kn. Iz-vo, 1959. P. 142–216.

6. Потапова О.Е., Самодурова Л.Е. Комплексное обследование озера Рамза // Труды государственного природного заповедника «Воронинский». Тамбов, 2009. Т. 1. С. 106–116. URL: http://voroninsky.ru/data/uploads/TRUDI-1.pdf (дата обращения: 18.10.2018).

Potapova O.E., Samodurova L.E. Comprehensive examination of the lake Ramza // Trudy` gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Voroninskij». Tambov, 2009. T. 1. P. 106–116. URL: http://voroninsky.ru/data/uploads/TRUDI-1.pdf (date of access: 18.10.2018).

УДК 911.6:624.139(571.56)

ПОДХОДЫ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Шестакова А.А., Спектор В.Б., Торговкин Я.И.

ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, Якутск, e-mail: aashest@mail.ru, vbspector@mpi.ysn.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru

В данной статье рассмотрено инженерно-геокриологическое районирование территории Республики Саха (Якутия), которое осуществлено с помощью анализа основных факторов формирования инженерно-геокриологических условий на территории РС (Я) и их картографического обобщения. В результате проведенных исследований на основе современных технологий и программ были составлены детальные карты-схемы районирования территории РС (Я) по отдельным видам инженерно-геокриологических условий: рельефу, криогенным процессам, грунтовым условиям, пластическим свойствам грунтов – учитывающих температуру и льдистость, гидрогеологическим особенностям и сейсмичности территории. Каждая из составленных карт-схем представляет собой самостоятельный предмет для анализа. Статья начинается кратким введением, в котором раскрываются цель и актуальность исследования, а также даны общие понятия инженерно-геокриологическим условиям и районированию территории. Последующий раздел «Методика работ» освещает проведение ранжирования видов инженерно-геокриологических условий для удобства районирования. В разделе «Результаты исследования и их обсуждение» приведены факторы формирования инженерно-геокриологических условий территории Республики Саха (Якутия), такие как геодинамический, морфоструктурный, геокриологический, гидрогеологический и сейсмичность территории. Проведен комплексный анализ разновидностей инженерно-геокриологических условий и выделены территории, в различной степени благоприятные для осуществления инженерной деятельности. В заключении указывается, что исключительно сложным в инженерном отношении является регион Приморской низменности и мелководного шельфа. В дальнейшем для уточнения инженерных условий представляется рациональным составление мерзлотно-ландшафтной и геоморфологической карты территории РС (Я) и других карт, которые позволят оценить экономическую целесообразность различных видов инженерной деятельности на территории Республики.

Ключевые слова: температура грунтов, экзогенные процессы, сейсмичность, морфоструктура, грунтовые условия, криогенные процессы, инженерно-геокриологические условия, мерзлые грунты, районирование

APPROACHES TO ENGINEERING AND GEOCRYOLOGICAL MAPPING OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Shestakova A.A., Spektor V.B., Torgovkin Ya.I.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: aashest@mail.ru, vbspector@mpi.ysn.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru

Engineering and geocryological zoning of the Republic of Sakha (Yakutia) is considered in the work, which was performed based on the analysis of the main factors controlling engineering and geocryological conditions in the region and their cartographic generalization. The schematic maps of zoning are made: relief (morphostructural), cryogenic processes, ground conditions, geocryological conditions and seismicity. The article begins with a short «Introduction», in which the goals and relevance of the work, as well as general concepts of geocryological conditions and zoning of the territory. The following section «Methods of work» highlights the ranking of the types of engineering and geocryological conditions for the convenience of zoning. In the section «Results of the study and their discussion», the factors forming the engineering and geocryological conditions of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) are considered, such as geodynamic, morphostructural, geocryological, hydrogeological and seismicity of the territory. A complex analysis of varieties of engineering and geocryological conditions is also given and territories were identified in various degrees favorable for the implementation of engineering activities. In the «Conclusions» section it is indicated that the region of the Primorsky lowland and shallow shelf is exceptionally difficult in engineering terms. In the future, to clarify the engineering conditions, it seems rational to compile a permafrost-landscape and geomorphological map of the territory of the RS (Y), and other maps that will enable us to assess the economic feasibility of various types of engineering activities on the territory of the Republic.

Keywords: ground temperature, exogenous processes, seismicity, morphostructural, ground conditions, cryogenic processes, engineering and geocryological conditions, frozen ground, zoning

Инженерно-геокриологическое районирование является одним из методов инженерной геокриологии, объектом которого является геологическая среда криолитозоны, взаимодействующая с инженерными сооружениями.

Целью работы является проведение инженерно-геокриологического районирования в связи с ускорением освоения северных (в том числе арктических) территорий, необходимостью информационного обеспечения планирования инженерной деятельности на территории РС (Я), принятия принципиальных решений по размещению объектов строительства и направлениям магистральных транспортных и инженерных коммуникаций, основ генеральных схем инженерной защиты от опасных геологических процессов, оценки эффективности строительства и эксплуатации крупных инженерных сооружений на территории РС (Я), предотвращения критических технических и экологических ситуаций.

Под инженерно-геокриологическим районированием понимается пространственная оценка территории с точки зрения изменчивости инженерно-геокриологических условий [1]. Инженерно-геокриологические условия определяются свойствами мерзлых и оттаивающих пород, развитием мерзлотно-геологических процессов, состоянием горизонтов межмерзлотных и подмерзлотных вод, быстрой временной изменчивостью температурного поля пород [2]. Анализ инженерно-геокриологических условий проведен на глубину 10–20 м, соответствующую зоне взаимодействия большинства инженерных сооружений, возводимых и планируемых на территории РС (Я), с криолитозоной. Этот же диапазон глубин совпадает с мощностью слоя годовых колебаний температур криолитозоны территории.

Материалы и методы исследования

Задачи инженерно-геокриологического районирования решены с помощью построения карт-схем, отражающих разные виды инженерно-геологических условий: 1 – строение рельефа; 2 – опасные геокриологические процессы (экзодинамической); 3 – грунтовые условия; 4 – геокриологические условия; 5 – гидрогеологические условия; 6 – сейсмические условия. Карты-схемы составлены в электронном варианте в формате «ArcGIS 10 version 10.1» [3–5]. Для удобства районирования проведено ранжирование видов инженерно-геокриологических условий. Наивысший классификационный таксон – в ранге региона – был присвоен наиболее крупным элементам рельефа. Второй ранг – провинции – также закреплен за менее крупными элементами рельефа и тесно с ними связанными криогенными процессами. Третий, более низкий по уровню таксономический уровень – ранг областей – был закреплен за грунтовой составляющей. Ранг районов был присвоен криогенной составляющей инженерно-геокриологических условий. Вне ранжирования на схемах-врезках показаны гидрогеологическая составляющая инженерно-геокриологических условий и сейсмичность.

Результаты исследования и их обсуждение

На формирование инженерно-геологических условий влияют, прежде всего, геодинамический, морфоструктурный, геокриологический и гидрогеологический факторы, которые объединяются геодинамической обстановкой и климатической зональностью [6]. Все факторы взаимосвязаны и, каждый в отдельности и все вместе, влияют на рельеф, экзогенные процессы, на состав, свойства, температуру и размещение дисперсных грунтов и в конечном итоге на весь комплекс инженерно-геокриологических условий.

Рассмотрим карты-схемы инженерно-геокриологического районирования территории РС (Я) по отдельным видам инженерно-геокриологических условий.

Морфоструктурное (геоморфологическое) районирование территории Республики Саха (Якутия) (рис. 1). Районирование территории РС (Я) проведено по морфоструктурному принципу. В соответствии с размерами рассматриваемой территории морфоструктуры (регионы) приняты авторами в качестве таксонов первого порядка. В пределах территории РС (Я) выделено 5 регионов: I – регион Приморских равнин и низменностей и мелководного шельфа представляет собой четко выраженную в современном рельефе наиболее низкую морфологическую ступень (отрицательную морфоструктуру); II – регион равнин и плато Средней Сибири включает 30 провинций и охватывает две разные категории морфоструктур: равнины и разновысокие плато, на которых существенно различаются все виды инженерно-геокриологических условий; III – Байкало-Становой регион характеризуется высоким рельефом, высокой современной тектонической активностью, что обуславливает здесь широкое распространение обвалов, в том числе и сейсмогенных, осыпей, оползней, курумов (интенсивность 4–5 баллов); IV – Верхояно-Чукотский регион характеризуется горным рельефом и, соответственно, развитием обвально-осыпных процессов (4–5 баллов); V – Трансрегиональные области представлены долинами крупных рек – Лены, Индигирки и Колымы [7].

Предлагаемая классификация близка к предлагаемой в работе [2]. В зависимости от высотного положения вершинной поверхности, размеров морфоструктур, их пространственного положения и ландшафтным особенностям, выделенные регионы разделяются на менее крупные таксоны – провинции. Всего на карте-схеме морфоструктурного районирования выделено в составе 5 регионов около 90 провинций. Выделенные типы провинций были внесены в таблицу, где в баллах оценена сравнительная степень сложности инженерных условий (при прочих равных условиях) в зависимости от сложности рельефа на основных видах морфоструктурных регионов и провинций.

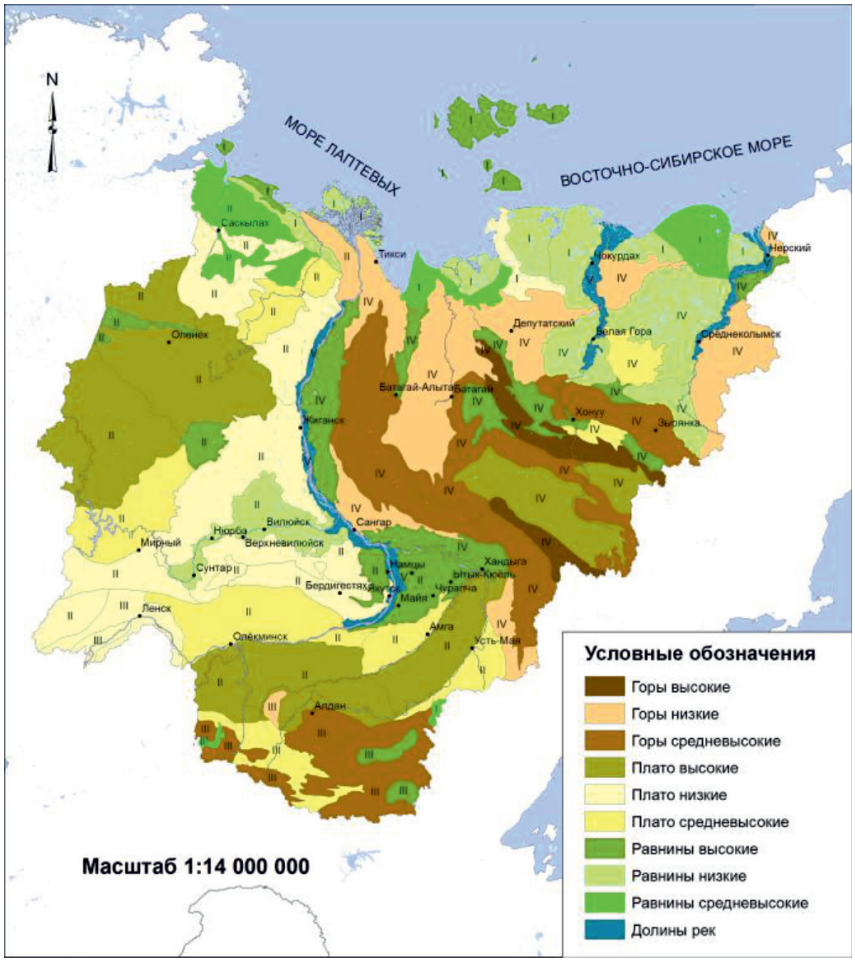


Рис. 1. Карта-схема морфоструктурного (геоморфологического) районирования

Районирование территории Республики Саха (Якутия) по интенсивности криогенных процессов (рис. 2). Оценка степени опасности криогенных процессов (для наземного строительства) выполнена в соответствии с классификацией, разработанной на кафедре геокриологии геологического факультета МГУ [2]. По степени опасности криогенные процессы разделяются на следующие классы: незначительно опасные – 1 класс; малоопасные – 2 класс; умеренно опасные – 3 класс; опасные – 4 класс; чрезвычайно опасные – 5 класс. Виды криогенных процессов и их интенсивность проявления оценены авторами на основании собственных предшествующих геокриологических и геоморфологических исследований на территории РС (Я). Классификация интенсивности проявления процессов по площади была проведена по методике, изложенной в работе [2, табл. 5.3, с. 188]. На карте-схеме интенсивность экзогенных (криогенных) процессов показана цветом. На основе анализа интенсивности криогенных процессов проведена сравнительная оценка выделенных регионов по этому показателю.

На территории суши рассматриваемого региона распространены преимущественно высокольдистые грунты ледового комплекса, имеющие оценку сложности 10 баллов. Высокая сейсмичность свойственна в основном акватории моря Лаптевых. Скорость криогенных процессов на этой территории представляется недостаточно оцененной. Наибольшую опасность здесь представляют термокарстовые процессы. Их средняя скорость (0,5–2 м/год) может быть оценена исходя из размеров наиболее крупных из них (5–20 км) и периода голоценового потепления (10 тыс. л), наступившего после сартанского оледенения. В действительности современные скорости термокарста могут быть значительно выше в силу положитель-

ных обратных связей температур приземного слоя воздуха и процесса термокарста. В частности, скорость современных термоабразионных процессов достигает в отдельные годы первых десятков метров. Требует дальнейшего уточнения и фактор эндогенной динамики рельефа. Некоторые наблюдения указывают на обусловленность эндогенных движений поверхности в зависимости от изменений климата. В частности, побережье моря Лаптевых, по данным повторных геодезических измерений, испытывает современные положительные движения, связанные с гляциоизостатическим поднятием. С учетом этих явлений оценка сложности инженерных условий на Приморской низменности может быть увеличена.

Районирование территории Республики Саха (Якутия) по грунтовым условиям (рис. 3). Для задач районирования грунтовых условий столь большой территории ранг грунтовых таксонов был ограничен классом и группой грунтов. Дополнительно были выделены переходные группы – сочетания карбонатных и терригенных грунтов, сочетания дисперсных и полускальных грунтов, двуслойные разрезы.

Районирование Республики Саха (Якутия) по геокриологическим условиям. Определяющим критерием состояния мерзлых грунтов, для строительства наземных сооружений, показан интервал температур равный 0 ÷ –2 °С. Этот интервал температур контролирует пластические свойства мерзлых грунтов, определяя их твердомерзлое и пластично-мерзлое состояние (табл. 1). Кроме них на карте-схеме выделяются охлажденные и морозные грунты (рис. 4). Небольшие площади на юге территории, на участках островной и прерывистой мерзлоты, могут находиться и в талом состоянии. В скобках приведена оценка усложнения инженерно-геологических условий в зависимости от льдистости и температуры грунтов.

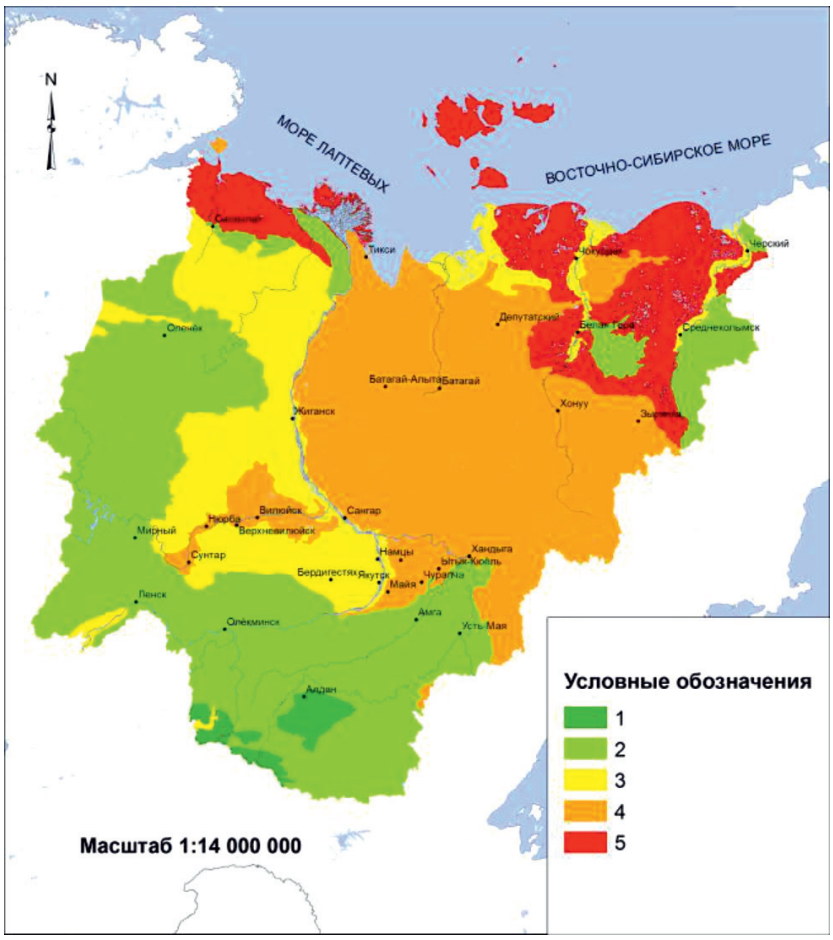


Рис. 2. Карта-схема районирования по интенсивности криогенных процессов

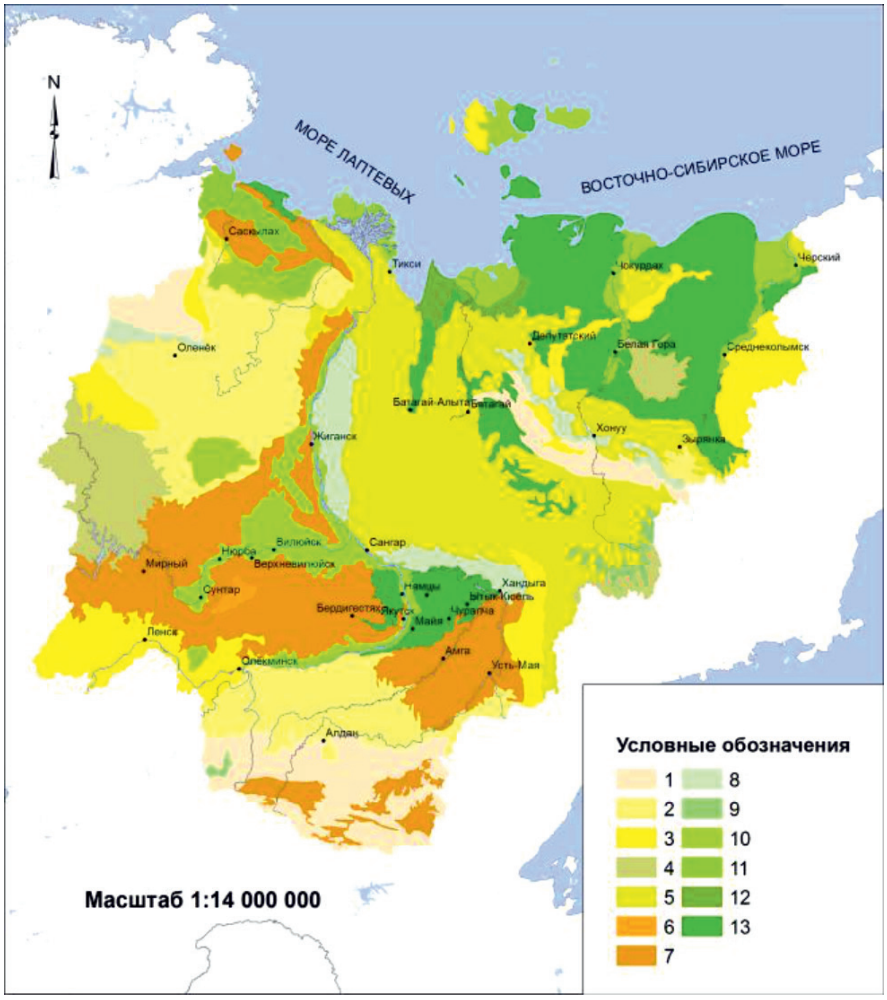


Рис. 3. Карта-схема районирования по грунтовым условиям: 1 – интрузивные, траппы, гнейсы, сланцы, роговики; 2 – известняки, доломиты; 3 – сочетание карбонатных и терригенных грунтов; 4 – туфы, лавы; 5 – переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, пласты и прослои углей; 6 – известняки, доломиты, гипс; 7 – сочетание песков, песчаных алевритов, алевролитов, аргиллитов; 8 – щебни, галька, гравий, глыбы с песчано-суглинистым заполнителем; 9 – галечники, пески, супеси; 10 – пески, супеси с галькой, гравий, щебни; 11 – суглинки, супеси, глины, пески с гравием; 12 – илы минеральные и органические супеси, пески, торф; 13 – лессовидные суглинки, супеси, льдистые (>40%)

Районирование территории Республики Саха (Якутия) по гидрогеологическим условиям проведено по свойствам состава и агрессивности межмерзлотных и надмерзлотных вод. На большей части территории надмерзлотные воды характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом и не обладают агрессивными свойствами [8]. На юго-западе территории, в Байкало-Становом регионе отмечаются выходы минерализованных вод (в среднем 4 г/л) с сульфатной агрессивностью, приуроченные к участкам развития прерывистой и островной мерзлоты.

Карта-схема сейсмического районирования территории Республики Саха (Якутия) составлена путем разделения территории по балльности землетрясений. Около 50% территории РС (Я) относится к зонам, имеющим балльность около 6 баллов и выше. На остальной части территории возможны землетрясения интенсивностью 5 баллов.

Комплексный анализ факторов инженерно-геокриологических условий. Составленные карты-схемы распространения факторов инженерно-геокриологических условий позволяют оценить относительную устойчивость выделенных элементов районирования разного таксономического ранга. Остановимся на сравнительной оценке для самых крупных единиц районирования – регионов (табл. 2).

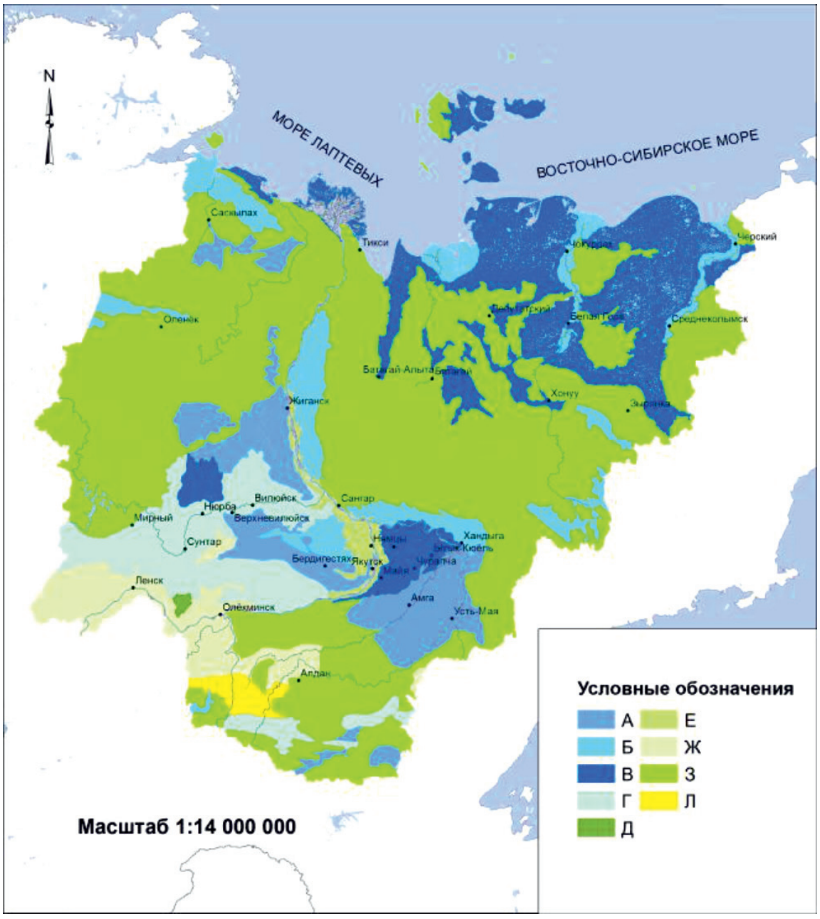


Рис. 4. Карта-схема районирования по геокриологическим условиям

Таблица 1

Характеристика геокриологических условий

Состав грунтов	Температура грунтов, °С	Состояние грунтов	Льдистость грунтов		
			Слабая	Средняя	Сильная
Дисперсные	Ниже –2°	твердо-мерзлые	А (1)	Б (2)	В (4)
	0÷–2 °С	пластично-мерзлые	Г (2)	Д (3)	Е (5)
Скальные и полускальные	Ниже –0 °С	охлажденные	Ж (4)		
		мерзлые	З (0)	И (1)	К (2)
	Выше 0 °С	талые	Л (1)		

Таблица 2

Сравнительная оценка сложности инженерно-геокриологических условий

Регион	Сложность инженерно-геокриологических условий в баллах						
	Рельеф	Криогенные процессы	Грунтовые условия	Криологические условия	Гидрогеологические условия	Сейсмические условия	Сумма баллов
I. Приморских равнин и низменностей и мелководного шельфа	4	5	10	4	1	9	33
II. Равнин и плато Средней Сибири	3	3	6	4	3	5	24
III. Байкало-Станового складчато-надвигового пояса	9	2	6	4	3	9	33
IV. Верхояно-Чукотский	12	4	2	1	1	9	29
V. Трансрегиональные регионы – долины крупных рек	4	3	7	1	1	7	23

Подход к оценке условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений в условиях криолитозоны заимствован из известных работ [2]. Исходные данные о сложности разных видов условий по выделенным регионам приведены на рис. 1–4.

Заключение

Таким образом, инженерно-геокриологическое районирование территории Республики Саха (Якутия) посредством анализа основных факторов формирования инженерно-геокриологических условий на территории Республики показало, что наиболее благоприятными инженерно-геокриологическими условиями характеризуются долины крупных магистральных рек (23 балла) и близкие к ним по оценке равнины и плато Средней Сибири (Центральная Якутия). Наихудшие условия инженерной деятельности имеют место в регионе приморских равнин и низменностей и мелководного шельфа, а также Байкало-Станового пояса, которые характеризуются сложностью около 33 баллов. Эта сложность обусловлена грунтовыми и динамическими условиями.

Необходимо отметить, что данная оценка является сугубо ориентировочной, основанной на приблизительных оценках сложности и не учитывает экономического значения регионов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 17-05-41079.

Список литературы / References

1. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. 384 с.

Trofimov V.T., Krasilova N.S. Engineering-geological maps: study guide. M.: KDU, 2007. 384 p. (in Russian).

2. Ершов Э.Д. Основы геокриологии. Ч. 5: Инженерная геокриология. М.: Изд-во МГУ, 1999. 526 с.

Ershov E.D. Fundamentals of Geocryology. Part 5: Engineering Geocryology. M.: Izd-vo MGU, 1999. 526 p. (in Russian).

3. Современная инженерно-геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:2500000 / ВСЕГИНГЕО, Росгеолфонды, 2011. URL: http://900igr.net/prezentacija/geografija/sovremennaja-inzhenerno-geologicheskaja-karta-territorii-possijskoj-federatsii-masshtaba-12-500-000-105189.html (дата обращения: 08.11.2018).

Modern Engineering Geological Map of the Russian Federation Scale 1: 2500000 / VSEGINGEO, Rosgeolfondy, 2011. URL: http://900igr.net/prezentacija/geografija/sovremennaja-inzhenerno-geologicheskaja-karta-territorii-possijskoj-federatsii-masshtaba-12-500-000-105189.html (date of access: 08.11.2018) (in Russian).

4. Козловский С.В. Методические аспекты, принципы и последовательность организации геоинформационной системы (ГИС) в инженерной геологии // Инженерная геология. 2010. № 1. С.18–22.

Kozlovsky S.V. Methodical aspects, principles and sequence of organization of a geographic information system (GIS) in Engineering Geology // Ingenernaya Geologiya. 2010. № 1. P. 18–22 (in Russian).

5. Козловский С.В. Теория и практика создания геоинформационной системы в инженерной геологии. автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Москва, 2010. 39 с.

Kozlovsky S.V. The theory and practice of creating a geographic information system in Engineering Geology. Avtoref. dis. … dokt. geol.-mineral. nauk. Moskva, 2010. 39 p. (in Russian).

6. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.

Trofimov V.T., Averkina T.I. Theoretical Foundations of Regional Engineering Geology. M.: GEOS, 2007. 464 p. (in Russian).

7. Спектор В.Б., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Спектор В.В. Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутия) // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 28–37.

Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Spektor V.V. Engineering Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia) // Ingenernaya geologia. 2017. № 2. P. 28–37 (in Russian).

8. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2011. 169 с.

Shepelev V.V. Permafrost waters of the cryolithozone. Novosibirsk: Akad. izd-vo «Geo», 2011. 169 p. (in Russian).

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Нажису, Ерофеев В.И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: narisu2011@yandex.ru, erofeevvi@mail.ru

В настоящее время технология полимерного заводнения является наиболее совершенным химическим методом для увеличения нефтеотдачи пластов, она может значительно повысить добычу нефти в условиях разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Технология полимерного заводнения позволяет значительно увеличить нефтеотдачу пластов с 5% до 30% на разрабатываемых нефтяных месторождениях. С быстрым развитием данной технологии и хорошим положительным эффектом вытеснения нефти в производстве, технология полимерного заводнения в будущем будет основным методом повышения нефтеотдачи пластов при разработке нефтяных месторождений. В данной работе рассмотрены основные особенности механизма вытеснения нефти из пластов с помощью технологии полимерного заводнения, основные применяемые полимеры в производстве, современное состояние технологии полимерного заводнения в промысловых условиях, их существующие проблемы и тенденции развития технологии полимерного заводнения. В работе особое внимание уделено экономической эффективности применения технологии полимерного заводнения по сравнению с технологией АСП заводнения при нынешних низких ценах на нефть. Установлено, что актуальными являются исследования по установлению механизма возврата профиля абсорбции. Когда полимерное заводнение входит в среднюю и более позднюю стадии из-за возврата профиля абсорбции, вызванного неоднородностью коллектора и удерживанием полимера в коллекторе, тогда слои со средней и низкой проницаемостью будут заблокированы и поглощение жидкости будет протекать значительно труднее, и это не будет способствовать повышению степени использования слоев пласта средней и низкой проницаемости и полимерный раствор циркулирует неэффективно преимущественно в слое с высокой проницаемостью, где содержание остаточной нефти относительно невелико и коэффициент охвата пласта не может быть значительно повышен. Кроме того, разработки новых эффективных полимеров, обладающих высокой термостойкостью, устойчивостью к высокой солености водонефтяных растворов и имеющих низкую себестоимость, является ключевым направлением развития технологии полимерного заводнения в будущем.

Ключевые слова: полимерное заводнение, методы увеличения нефтеотдачи пластов, механизм вытеснения нефти, нефтяное месторождение, коэффициент извлечения нефти

INVESTIGATION AND APPLICATION OF POLYMER FLOODING TECHNOLOGY FOR IMPROVEMENT OF PETROLEUM OIL REFINING

Narisu, Erofeev V.I.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: narisu2011@yandex.ru, erofeevvi@mail.ru

Currently, polymer flooding technology is the most advanced chemical method for enhanced oil recovery, which can significantly increase oil production in the conditions of development and operation of oil fields. The technology of polymer flooding allows to significantly increase oil recovery from 5% to 30% in developed oil fields. With the rapid development of this technology and a good positive effect of oil displacement in production, the technology of polymer flooding in the future will be the main method of enhanced oil recovery in the development of oil fields. This paper discusses the main features of the mechanism of oil displacement from reservoirs using polymer flooding technology, the main polymers used in production, the current state of polymer flooding technology in field conditions, their existing problems and trends in the development of polymer flooding technology. In this paper, special attention is paid to the economic efficiency of the use of polymer flooding technology as compared to the HSA technology of water flooding with the current low oil prices. It has been established that studies on the establishment of the mechanism for returning the absorption profile are relevant. When polymer flooding enters the middle and later stages due to the return of the absorption profile caused by heterogeneity of the reservoir and retention of the polymer in the reservoir, then layers with medium and low permeability will be blocked and fluid absorption will be much more difficult and it will not increase the use of layers of the reservoir of medium and low permeability and polymer solution circulates inefficiently mainly in the layer with high permeability, where the content of residual oil relatively small and the enrollment ratio cannot be significantly increased. In addition, the development of new efficient polymers with high heat resistance, resistance to high salinity of oil-water solutions and having a low cost, are key areas for the development of polymer flooding technology in the future.

Keywords: polymer flooding, oil recovery methods, oil displacement mechanism, oil field, oil recovery factor

В последние годы мировая экономика интенсивно развивается и потребности многих стран в нефти и газе значительно возросли. Чтобы обеспечить достаточный объем добычи нефти, необходимый для развития национальной экономики, в дополнение к поиску новых запасов, во многих странах мира основное внимание научных исследований направлено на уменьшение материальных затрат при разработке нефтяных месторождений и на увеличение нефтеотдачи пластов при применении различных

химических методов увеличения нефтеотдачи пластов [1, 2]. В большинстве случаев химические методы увеличения нефтеотдачи пластов относятся к добавлению различных химических реагентов в нагнетательную воду, которые вызывают значительное изменение физико-химических свойств вытесняющей жидкости и межфазных свойств между вытесняющей жидкостью, нефтью и резервуаром, что в конечном итоге приводит к увеличению нефтеотдачи пластов. Полимерное заводнение является самым широко применяемым химическим методом для увеличения нефтеотдачи пластов. Полимерное заводнение позволяет увеличить нефтеотдачу пластов от 5% до 30% [3]. В настоящей работе рассмотрены механизм вытеснения нефти из пластов с применением метода полимерного заводнения, анализ эффективности применения метода полимерного заводнения в нефтедобывающей промышленности, его существующие проблемы и дальнейшее направление развития данного метода.

Механизм метода вытеснения нефти с помощью полимерного заводнения

Полимерное заводнение пластов достигается за счет добавления некоторого количества частично гидролизованного полиакриламида к нагнетательной воде, за счет этого макроскопически увеличивается вязкость нагнетательной воды и снижается коэффициент мобильности нефти и воды (M_0), т.е., по существу, полимер задерживается в порах коллектора, вызывает уменьшение сечения потока и увеличение фильтрационного сопротивления. Для неоднородного пласта полимер на начальной стадии полимерного заводнения сначала входит в слой с высокой проницаемостью и низким сопротивлением и задерживается в нем, что приводит к уменьшению сечения потока в порах и увеличению фильтрационного сопротивления. Когда тот же раствор полимера проникает в слои с низкой и средней проницаемостью коллектора, также будет происходить задержание полимера и увеличение прироста фильтрационного сопротивления в них. По мере продолжения процесса полимерного заводнения фильтрационное сопротивление в слоях средней и низкой проницаемости коллекторов будет постепенно увеличиваться [4–6]. Объем и время задержки полимера в порах и фильтрационное сопротивление пласта может оцениваться по коэффициенту сопротивления и коэффициенту остаточного сопротивления. По мере увеличения коэффициента сопротивления и коэффициента остаточного сопротивления увеличивается давление нагнетания, повышается перепад давления поглощения в слоях средней и низкой проницаемости, увеличиваются степень поглощения жидкости и коэффициент охвата пласта [7–10]. Для повышения нефтеотдачи пластов используются в основном два типа полимеров: синтетический полимер и биополимер. В настоящее время широко используются частично гидролизованный полиакриламид, ксантановые смолы и модифицированные полимеры, полиакриламиды в значительной степени доминируют при полимерном заводнении, а биополимеры пока не находят широкого применения [11, 12]. Самым широко используемым полимер в процессе повышения нефтеотдачи пластов на месторождении является частично гидролизованный полиакриламид (ПАА). Он представляет собой сополимер полиакриламида и полиакриловой кислоты. ПАА является предпочтительным в процессе повышения нефтеотдачи пластов, так как он может выдерживать высокие механические силы в процессе заводнения. Кроме того, низкая стоимость и устойчивость к бартерному воздействию тоже являются большим достоинством данного полимера. Но ПАА очень чувствителен к солености и вязкости воды. Свойство повышения вязкости значительно снижается, когда ПАА растворяется в воде высокой солености и вязкости [11–13].

Ксантан представляет собой полисахарид, который получают путем ферментации глюкозы или фруктозы различными бактериями. Возможность повышения вязкости раствора заключается в высокой молекулярной массе ксантана, которая находится в диапазоне от 2 до 50×10^6 г/мол. По сравнению с ПАА, ксантан имеет более устойчивую структуру и является более не ионным соединением. Благодаря этим свойством ксантан не чувствителен к солености и твердости, но после закачки в пласт ксантан чувствителен к бактериальному разложению [13, 14]. Полиакриламид и частично гидролизованный полиакриламид очень чувствителен к солености и вязкости воды, за счет этого свойство повышения вязкости значительно снижается, когда ПАА растворяется в высокоминерализованной воде. Кроме того, термическое разложение и низкая термостойкость являются недостатком полиакриламида и частично гидролизованного полиакриламида. Когда температура

выше, чем 93 °С происходит серьезное термическое разложение полиакриламида, поэтому полиакриламид не пригоден в пластах при высоких температурах. В связи с этим разработка термостойких и солеустойчивых модифицированных полимеров является актуальной задачей [15, 16]. В последние годы исследования термостойких и солеустойчивых модифицированных полимеров разделяют на два основных направления:

– ультрастойкие молекулярные полимеры и химическая модификация полимеров, в том числе сополимер акриламида с термостойкими и солеустойчивыми мономерами;

– гидрофобный ассоциирующий полимер, сополимер акриламида с новой структурой [17].

Состояние применения технологии полимерного заводнения в промысловых условиях

Технологии полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов начали применять в середине 20 в. В 1964 г. США проводили первое пилотное тестирование по полимерному заводнению пластов для повышения нефтеотдачи пластов и в течение следующих пяти лет провели 61 пилотное испытание. С 1970 по 1985 г. были проведены 183 промышленных испытаний по полимерному заводнению, 55,7 % из них достигли хорошего технического и экономического эффекта. С 1990-х гг. из-за падения цен на нефть количество промышленных испытаний сократилось. В табл. 1 представлено количество проведенных промышленных испытаний по применению технологии полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов в мире до 2015 г. В 24 странах были проведены 733 промышленных испытания по применению технологии полимерного заводнения. Из них 8 испытаний были выполнены на море, меньше чем 15 % испытаний проведены на карбонатных коллекторах [18, 19].

На сегодняшний день в Китае широко применяются технологии полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов. В 1972 г. на нефтяном месторождении Дацин в Китае были впервые проведены полевые испытания технологии полимерного заводнения. После проведенных промышленных испытаний на нефтяных месторождениях Дацин, Щэнгли, Ляохэ, Синьцзян, Даганг, Хэнань и Цзилинь были реализованы проекты по полимерному заводнению. В настоящее время технологии полимерного заводнения широко применяются в Китае и представляют собой одну из важных технологий для устойчивой добычи нефти [20–22]. В 2003 г. объем добычи нефти в результате полимерного заводнения достиг более 10 млн т / год на месторождении Дацин, который стал крупнейшим месторождением по объему добычи нефти в результате применения технологии полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов в Китае, что позволило увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН) на 13–14 %. Общий объем геологических запасов месторождения Дацин подходит для применения химических методов увеличения нефтеотдачи пластов – 2,313 млрд т. В настоящее время химические методы увеличения нефтеотдачи пластов применены на 87 нефтяных промыслах, с общим количеством 1,077 млрд т геологических запасов [23, 24].

Таблица 1

Количество проведенных испытаний технологий полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов в мире до 2015 г.

Страна	Количество	Страна	Количество
Ангола	1	Индонезия	1
Аргентина	11	Кувейт	1
Австралия	1	Мексика	1
Австрия	1	Нигерия	1
Бразилия	2	Оман	2
Канада	50	Польша	1
Китай	67	Румыния	3
Колумбия	1	Россия	2
Франция	5	Суринам	1
Германия	12	Тринидад	1
Венгрия	1	Великобритания	1
Индия	6	США	560

Существующие проблемы и тенденция развития полимерного заводнения

С точки зрения исследования механизма вытеснения нефти полимерного заводнения исследование механизма возврата профиля абсорбции является актуальной задачей [25, 26]. Для нефтяных месторождений с относительно большой неоднородностью пластов полимерное заводнение не имело более высокого эффекта увеличения добычи нефти и уменьшения обводненности. На ранней стадии полимерного заводнения профиль абсорбции вытесняющего агента коллектора может быть улучшен, но когда полимерное заводнение входит в среднюю и более позднюю стадии из-за явления воз-

врата профиля абсорбции, вызванного неоднородностью коллектора и удерживания полимера в коллекторе, слои со средней и низкой проницаемостью будут заблокированы и поглощение жидкости происходит значительно труднее, и это не способствует повышению степени использования слоев пласта средней и низкой проницаемости. Полимерный раствор неэффективно циркулирует преимущественно в слое с высокой проницаемостью, где содержание остаточной нефти относительно невелико и объем охвата не может быть расширен [27–29]. В ходе применения полимерного заводнения используемые полимерные реагенты часто деградируют при различных физических или химических условиях, таких как термическое разложение, окислительная деградация, механическая деградация и др. После деградации высокомолекулярная масса и механическая энергия полимерного реагента уменьшаются или даже исчезают, что приводит к уменьшению вязкости, прочности и снижению эффекта применения полимерного реагента, поэтому для более эффективного повышения нефтеотдачи пластов необходимо уменьшать степень разложения полимера. В нефтяной промышленности, учитывая огромные масштабы производства, большое значение при выборе определенных конкретных химических методов для увеличения нефтеотдачи пластов имеют цена и степень риска при выборе химреагентов. В связи с этим Китайская национальная нефтяная компания провела экономическую оценку и сделала сравнительный анализ по применению технологии полимерного заводнения и технологии АСП (щелочь/ПАВ/полимер) заводнения для повышения нефтеотдачи пластов. В табл. 2 представлено сравнение финансовых затрат на добычу нефти с использованием технологии полимерного заводнения и технологии АСП заводнения. Так, например, стоимость одной наземной скважины, работающей с использованием технологии полимерного заводнения, составляет около $29{,}1\times10^4$ дол. США, а стоимость скважины, работающей с использованием технологии АСП заводнения, значительно больше и составляет $42{,}7\times10^4$ дол. США. Из-за сложности систем очистки сточных вод и систем нагнетания стоимость наземного строительства скважин, работающих с использованием технологии АСП заводнения, значительно выше, чем стоимость скважин, работающих с использованием технологии полимерного заводнения [30].

Таким образом, при нынешних низких ценах на нефть стоимость технологии АСП заводнения значительно выше, чем стоимость полимерного заводнения с точки зрения экономической эффективности, и оно доминирует в химических методах увеличения нефтеотдачи пластов. В то же время необходимо содействовать разработке и применению высокоэффективных и недорогих «зеленых» полимеров и минимизировать затраты на химические вещества, тем самым повышая экономическую эффективность применения технологий полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов. В то же время необходимо стимулировать разработки и применение высокоэффективных полимеров с низкой себестоимостью и минимизировать затраты на химические реагенты, тем самым увеличивая экономическую эффективность технологий полимерного заводнения для повышения нефтеотдачи пластов.

Таблица 2

Сравнение затрат на добычу нефти при использовании технологии полимерного заводнения и технологии АСП заводнения

Проекты	Инвестиции в строительство (доллар США на тонну нефти)	Стоимость химического агента (доллар США на тонну нефти)	Операционная стоимость (доллар США на тонну нефти)
Полимерное заводнение	88	37	77
АСП заводнение	88	92	110

Заключение

В настоящей работе рассмотрены часто применяемые полимеры для повышения нефтеотдачи пластов, их механизмы вытеснения нефти, состояние применения технологии полимерного заводнения и тенденции развития данной технологии. Объекты применения технологии полимерного заводнения изменяются от песчаниковых пород до гравелитовых и карбонатных пород, от нормальных пластовых температур до высоких пластовых температур и высокоминерали-

зованных нефтей, от высокомолекулярных полимеров до сверхвысоких полимеров. Поэтому разработки новых полимеров с высокой термостойкостью, устойчивых к высокой солености растворов и с низкой себестоимостью, являются одним из ключевых направлений развития технологий полимерного заводнения в будущем.

Список литературы

1. Bai B., Zhou J., Yin M. A comprehensive review of polyacrylamide polymer gels for conformance control. Petroleum exploration and development. 2015. vol. 42. no. 4. P. 481–487. DOI: 10.1016/S1876-3804(15)30045-8.

2. Sheng J.J., Leonhardt B., Nasser A. Status of polymer-flooding technology. Journal of Canadian petroleum technology. vol. 54. no. 2. P. 116–125. DOI: 10.2118/174541-PA.

3. El-hoshoudy A.N., Desouky S.E.M., Elkady M.Y., Alsabagh A.M., Betiha M.A., Mahmoud S. Hydrophobically associated polymers for wettability alteration and enhanced oil recovery – Article review. Egyptian Journal of Petroleum. 2017. vol. 26. no. 3. P. 757–762. DOI:10.1016/j.ejpe.2016.10.008.

4. Hou W. Water injection profile variation of oil layers under polymer flooding. Petroleum exploration and development. 2007. vol. 34. no. 4. P. 478–482.

5. Co L., Zhang Z., Ma Q., Watts G., Zhao L., Shuler P.J., Tang Y. Evaluation of functionalized polymeric surfactants for EOR applications in the Illinois Basin. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. vol. 134. P. 167–175. DOI: 10.1016/j.petrol.2015.06.009.

6. Niu L., Lu X., Xiong C., Tang X., Wu X., Jia X., Zhang S. Experimental study on gelling property and plugging effect of inorganic gel system (OMGL). Petroleum exploration and development. 2013. vol. 40. no. 6. P. 728–732.

7. Wang J., Xv S. Overview of methods of improving oil-gas recovery efficiency by chemical flooding. Contemporary Chemical Industry. 2016. vol. 45. no. 5. P. 911–915.

8. Dong M., Ma S., Liu Q. Enhanced heavy oil recovery through interfacial instability: A study of chemical flooding for Brintnell heavy oil. Fuel. 2009. vol. 188. P. 1049–1056. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.11.014.

9. Shedid A.S. Influences of fracture orientation on oil recovery by water and polymer flooding processes: An experimental approach. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2006. vol. 50. P. 285–292. DOI: 10.1016/j.petrol.2005.12.002.

10. Xie K., Lu X., Li Q., Jiang W., Yu Q. Analysis of reservoir applicability of hydrophobically associating polymer. SPE Journal. 2016. vol. 21. no. 1. P. 1–9. DOI: 10.2118/174553-pa.

11. Wever D.A.Z., Picchioni F., Broekhuis A.A. Polymers for enhanced oil recovery: A paradigm for structure-property relationship in aqueous solution. Progress in polymer science. 2010. vol.36. no. 11. P. 1558–1628. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2011.05.006.

12. Mohammad H.S., Mohammad H.G., Mohsen M., Davood R. Experimental and numerical investigation of polymer flooding in fractured heavy oil five-spot systems. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2013. vol. 108. P. 370–382. DOI: 10.1016/j.energy.2014.09.005.

13. Abass A. Olajire Review of ASP EOR (alkaline surfactant polymer enhanced oil recovery) technology in the petroleum industry: Prospects and challenges. Energy. 2014. vol. 77. P. 963–982.

14. Maurya N.K., Kushwaha P., Mandal A. Studies on interfacial and rheological properties of water soluble polymer grafted nanoparticle for application in enhanced oil recovery. Journal of the Taiwan institute of chemical engineers. 2017. vol. 70. P. 319–330.

15. Wang Y., Li N., Zhang Z., Zhou J. Research progress of temperature resistant and salt-resistant polymers for oil-displacing agent. Fine and Specially Chemicals. 2010. vol. 18. no. 10. P. 35–38.

16. Raffa P., Broekhuis A.A., Pocchioni F. Polymeric surfactants for enhanced oil recovery: A review. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2016. vol. 145. P. 723–733. DOI: 10.1016/j.petrol.2016.07.007.

17. Su X., Wang X., Zhou Y., Sun J., Yang X. Research progress on improving oil recovery by using cross-linked polymer oil-displacing system in China. Advances in fine petrochemicals. 2007. vol. 8. no. 4. P. 22–25.

18. Jin Y. Progress in research and application of polymer flooding technology abroad. Unconventional oil & gas. 2017. vol. 4. no. 1. P. 116–122.

19. Wang J., Dong M. Optimum effective viscosity of polymer solution for improving heavy oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2009. vol. 67. P. 155–158.

20. Zhang L. Technical and economic potential for polymer flooding in Shengli Oilfield. Petroleum exploration and development. 2007. vol. 34. no. 1. P. 79–83.

21. Alsofi A.M., Blunt M.J. Polymer flooding design and optimization under economic uncertainty. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2014. vol. 124. P. 46–59.

22. Zhu Y., Hou Q., Jian G., Ma D., Wang Z. Current development and application of chemical combination flooding technique. Petroleum exploration and development. 2013. vol. 40. no. 1. P. 90–97. DOI: 10.4172/2157-7463.C1.014.

23. Wang D., Cheng J., Wu J., Wang G. Application of polymer flooding technology in Daqing oilfield. Acta Petrolei Sinica. 2005. vol. 26. no. 1. P. 74–78.

24. Xiong C., Tang X. Technologies of water shut-off and profile control: An overview. Petroleum exploration and development. 2007. vol. 34. no. 1. P. 83–86.

25. Wang X., Shen S., Wang J., Li B., Hua K. Remaining oil distribution of polymer flooding in Bohai S oilfield. Special oil and gas reservoirs. 2016. vol. 23. no. 3. P. 102–105.

26. Bai Z., Wu S., Fu Z. The distribution of microcosmic remaining oils after polymer flooding in Daqing oilfield. Acta Petrolei Sinica. 2013. vol. 34. no. 5. P. 924–931.

27. Hou J., Du Q., Su Q., Zhang B., Gao D. Macroscopic response mechanism and distribution rules of remaining oil in polymer flooding. Acta Petrolei Sinica. 2010. vol. 31. no. 1. P. 96–99.

28. Cao R., Han P., Hou W. Section inversion rules and inversion mechanism of polymer flooding. Acta Petrolei Sinica. 2009. vol. 30. no. 2. P. 267–270.

29. Liu Z., Li Y., Gao W., Xue X., Wang S., Li X. Experimental study on variable flow resistance during polymer flooding in vertically heterogeneous reservoirs. Xinjiang Petroleum Geology. 2017. vol. 38. no. 3. P. 332–336.

30. Li S., Wu X., Wang D., Yu Z., Weng X. Research on polymer flooding system and its development trend. Contemporary Chemical Industry. 2018. vol. 47. no. 3. P. 632–635.

УДК 551.4:551.343(571.51/.52+571.6)

ТЕРМОКАРСТ КАК ФАКТОР РАЗРУШЕНИЯ И СОЗИДАНИЯ В РАЗВИТИИ ГЕОСИСТЕМ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

Предмет исследований – термокарст как процесс неравномерного проседания почвогрунтов в результате вытаивания подземных льдов, свидетельствующий об его актуальности при хозяйственном освоении территории. Тема – причины его возникновения: глобальные факторы (общее потепление климата); континентальные (усиление континентальности, летней); региональные (изменения теплового режима грунта естественными процессами – эрозией, пожарами и т.д.) и локальные (естественные – морозобойное растрескивание деятельных поверхностей, точечное обводнение и заболачивание; антропогенные – вырубка леса, распашка, пожары; техногенные – строительство гражданских и промышленных объектов). Цель – рассмотреть различное проявление термокарста и его специфику в различных пространственно-временных обстановках: северных территорий российского и американского секторов Арктики (в обзорном плане) и направленно выделяемых (в подробном формате) юга Средней Сибири и Дальнего Востока. В этом проявляется его новизна. Использованные методы – сравнительно-географический, геофизический, информационный и т.д. Результаты (большей частью по авторским материалам) – в соответствии с зональными особенностями мерзлотно-природной обстановки регионов находится и морфогенетический эффект термокарста. Так, в пределах таежного юга Средней Сибири он увеличивается по региону с юго-запада на северо-восток, по направлению общего увеличения площадей вечной мерзлоты. Термокарстовые формы (округлые западины, озерные ванны; формы проседания; и другие) здесь встречаются относительно редко, но равномерно на всех геоморфологических уровнях. Термокарстовые озера (в том числе и «блуждающие») на Чукотке встречаются часто, но приурочены главным образом к долинам рек. Наиболее широко они распространены лишь в пределах Анадырской низменности и на побережье залива Креста. Термокарстовые явления (округлые западины, котловины и озерные ванны, коленчато-полигональные формы) экстремального проявления здесь достигают только в редкие аномально теплые и дождливые годы. Термокарст в Приохотье и Приморье проявляется в виде различных немногочисленных просадок и характеризуется увеличивающимся сокращением.

Ключевые слова: термокарст, разрушение, формирование, просадки, Сибирь, Чукотка, Приморье

THERMOKARST AS THE FACTOR OF DESTRUCTION AND CREATION IN DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS OF THE SOUTH OF MIDDLE SIBERIA AND THE FAR EAST

Skrylnik G.P.

Pacific Geographical Institute of FEB of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tigdvo.ru

The subject of researches is thermokarst as the process of non-uniform subsidence of soils-grounds resulting from melting of underground ices, testifying to its urgency, when economic development of the territory occurs. A theme is the reasons of its occurrence: global factors (general warming of climate); continental factors (strengthening of continental features, the summer ones); regional factors (changes of a thermal regime of ground by natural processes – erosion, fires and others.) and the local factors (natural – frost cracks of active surfaces, dot flooding and bogging; the anthropogenic factors – deforestation, cultivation, fires; the technogenic factors- construction of civil and industrial objects). The purpose is to consider various manifestations of thermokarst and its specificity under various spatial-temporal conditions: the northern territories of the Russian and American sectors of Arctic regions (in the survey plan) and allocated territories (in a detailed format) of the south of Middle Siberia and the Far East. It is its very novelty. The used methods – are comparative-geographical, geophysical, information and others. The results (mostly by author's materials) – a morphogenetic effect of thermokarst matches the zone features of frost -natural conditions of the regions. So, within the taiga south of Middle Siberia it increases in the region from the southwest to the northeast, in the direction of the general increase in the areas of permafrost. Thermokarstic forms (round pedings, lake baths; forms of subsidence; and others) are encountered there rather seldom, but in regular intervals at all geomorphic levels. Thermokarstic lakes (including «wandering») are often encountered in Chukotka, but are mainly confined to the river valleys. They are wide spread only within the Anadyrskaya lowland and on the coast of the Crest Gulf. The thermokarstic phenomena (round pedings, depressions, lake baths, and forms) reach extreme manifestation there only in the rare abnormal warm and rainy years. Thermokarst manifests itself in Priokhotie and Primorie in the form of various not numerous settings and are characterized by an increasing reduction.

Keywords: thermokarst, destruction, a formation, subsidence, Siberia, Chukotka, Primorskii Krai

Термин «термокарст» введён в обращение в 1932 г. М.М. Ермолаевым, проводившим исследования на Большом Ляховском острове.

Термокарст – криогенный физико-механический (термический) процесс, представляющий «неравномерное проседание почв и подстилающих горных пород» [1, с. 1525], связанный (по исследованиям С.П. Качурина в 1961 г.) с вытаиванием подземных льдов самого различного генезиса (инъекционных, полигонально-жильных, льдов грунтовых наледей и других) и образованием над возникающими пустотами провальных и просадочных форм.

Рис. 1. Термокарстовый провал – кратер Батагайка (Республика Саха; около 100 м в глубину и один километр в длину, по краям оползни; образовался после сведения леса в 1960-х гг., приведшего к наводнению; увеличивается каждый день, из-за таяния вечной мерзлоты) [6]

Термокарстовому воздействию подвержены низменные пространства российского сектора Арктики (Север Европейской России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Центральная Якутия, Дальний Восток – [2–4]); американского (Аляска) и канадского Севера [5].

Несмотря на то, что термокарсты – «это красивые узоры на поверхности Земли» (рис. 1, 2) [6]), они оказывают отрицательное влияние на окружающую среду (оттаивание приводит к частым оползням и выбросу в атмосферу парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода, что является неблагоприятным для окружающей среды).

Рис. 2. Термокарстовые ландшафты Аляски [6]

Цели и задачи: рассмотреть различное проявление термокарста и его специфику в различных пространственно-временных обстановках: северных территорий российского и американского секторов Арктики (в обзорном плане) и направленно выделяемых (в подробном формате) юга Средней Сибири и Дальнего Востока. В этом проявляется и его региональная новизна.

Методы исследования: сравнительно-географический, геофизический, информационный. Эти использованные нами методы находятся в ряде сквозных направлений (методов) изучения комплексной физико-географической оболочки (КФГО), разработанных еще в 1973 г. академиком К.К. Марковым с соавторами.

Результаты исследования и их обсуждение

Использованы фондовые (без указания источников) и опубликованные материалы, а также сведения натурных исследований автора в различных районах Севера России и американцев на Аляске. Кроме того, особенно предметно-тематические материалы наблюдений автора в Сибири и Дальнем Востоке (на Средне-Сибирском плоскогорье – в бассейнах рек Иркут, Чадобца, Подкаменной Тунгуски; в верховьях р. Лены; на Чукотке – в бассейнах рек Канчалан, Танюрер, Белой, Амгуэмы и пространствах Анадырской низменности; в Приохотье – в прибрежных районах Удской и Пенжинской губы и г. Охотска; в Приамурье – в районах хр. Ям-Алинь, хр. Джугджур, низовий р. Амур и зал. Николаева; в Приморье – в районах хр. Сихотэ-Алинь и севера Приханкайской низменности).

Термокарст по своей ландшафтопреобразующей специфике, как явление и про-

цесс деградации геосистем, отличается постоянной региональной актуальностью (из-за негативного воздействия на хозяйственные объекты) и неповторимостью локальной новизны.

История развития термокарста всегда рассматривается в связи с историей развития вечномерзлых горных пород, от которых этот процесс неотделим. В частности, территориальное проявление термокарста на местности наиболее полно увязывается с распространением вечной мерзлоты, иллюстрируемым схематической картой (рис. 3).

Современная криолитозона (по материалам И.П. Герасимова и К.К. Маркова, И.Я. Баранова и А.И. Попова, А.А. Величко и Н.Н. Романовского и др.) сформировалась в кайнозойскую ледниковую эру, когда во второй половине третичного периода началось глобальное похолодание климата.

Динамика термокарста в пространственно-временном плане испытывала и испытывает в Арктике существенные колебания: в 1970–1980 гг. его интенсивность в соответствии с глобальным потеплением достигла пика, а в последующие годы (по исследованиям Н.В. Ловелиуса и А.Ю. Ретеюма) начала снижаться одновременно с замедлением и снижением потепления [7]. Так, «по аналогии с событиями двух закончившихся циклов солнечной активности можно заключить, что сохранение высоких темпов потепления Арктики в обозримой перспективе маловероятно» [7, с. 129]. С этим совпадают и выводы международных экспертов [8].

Всесторонний учет системообразующих свойств термокарста является весьма актуальным при освоении территории (особенно в районах разработки нефтегазовых месторождений и строительства нефтегазопроводов, сопровождающихся искусственным изменением гидрологической сети и непосредственным тепловым воздействием технических сооружений). Развитие термокарста хорошо иллюстрируется распространением и динамикой термокарстовых озер.

Причинами возникновения термокарста могут быть: глобальные факторы (общее потепление климата); континентальные (усиление континентальности, летней); региональные (изменения теплового режима грунта естественными процессами – эрозией, пожарами и т.д.) и локальные (естественные – морозобойное растрескивание деятельных поверхностей, точечное обводнение и заболачивание; антропогенные – вырубка леса, вспашка, пожары; техногенные – строительство гражданских и промышленных объектов). При этом велика роль тектонических процессов в развитии термокарста: а) опускания могут вызвать его активизацию из-за обводнения поверхности; б) они могут быть причиной его затухания из-за дренажа территории.

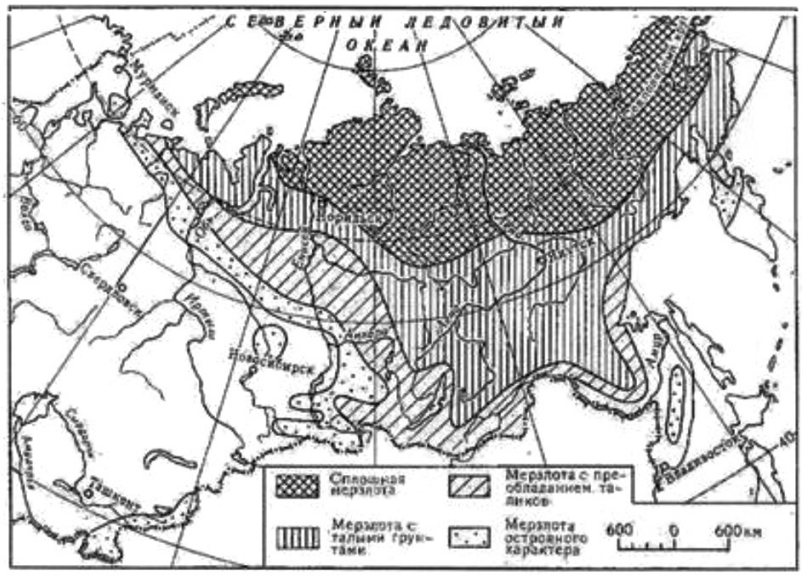


Рис. 3. Схематическая карта распространения вечной мерзлоты (по И.Я. Баранову, с дополнениями автора)

Во всех этих случаях вытаивание льдов и оттаивание вечно- и сезонномерзлого грунта связано с наступающим повышением среднегодовых температур в подошве слоя годовых колебаний (до 0 °С). Типичные формы термокарста – поверхностные оседания (западины, блюдца, многоугольные сети ложбин по морозобойным трещинам, аласы, байджерахи, озерные котловины); подповерхностные провалы. Развитие термокарста, как правило, сочетается (в комплексе или по отдельности – с плоскостным и подпочвенным смывом, солифлюкцией, эрозией, абразией). Нарушения динамического равновесия в водном и тепловом режиме деятельной поверхности могут вызвать термокарстовые явления и на территории стабильной и аградирующей вечной мерзлоты. Причиной этого, прежде всего, может явиться антропогенная деятельность, при которой минимизация негативных эффектов обеспечивается направленным сохранением вечномерзлых пород (их затенением, перекрытием торфяным горизонтом, применением активного дренажа).

Хотя термокарст относительно хорошо изучен, в его механизме и региональных чертах проявления имеются многие еще невыясненные детали и разночтения

Выявлены существенные и разнонаправленные изменения термокарстовых озер с 1950–1970-х гг., что связывается с активизацией термокарстовых процессов, якобы из-за потепления климата: сокращение количества и площади озер на Аляске до 50 % – в зоне прерывистой вечной мерзлоты (по данным американских авторов – Fitzgerald, Riordan в 2003 г.; Riordan et al. в 2006 г.); в Западной Сибири в зоне сплошной вечной мерзлоты – увеличение отмеченных показателей до 12 % [9]; двукратное увеличении площади озер в Центральной Якутии [10]. Отметим, что по одним и тем же районам (в частности, по Западной Сибири) результаты существенно разнятся [11, 12]), что очевидно объясняется различными методическими подходами. Для «снятия» этих разночтений была разработана специальная методика, для чего были использованы космические снимки со спутника Landsat [2, 13, 14)].

Выбор эталонного района исследований был определен по характеру распространения термокарстовых озер на территории России (рис. 4, [2]) и уточнен по отличающимся данным (рис. 5) [10]. Заметим, что вопрос о вероятном влиянии современного потепления климата, несмотря на ряд утверждающих исследований [9] на активизацию термокарста, до конца не выяснен. Поэтому при выборе района исследований В.И. Кравцова и Т.В Родионова [2, 15] использовали карты метеогеокриологического риска криолитозоны России [16].

В области «высокого метеогеокриологического риска попадают север Западной Сибири, Север европейской части Росси и Чукотка, а в области слабого метеогеокриологического риска – дельта р. Лены, Северная Якутия…» [16, с. 83]. Кроме этого, были учтены результаты ранних исследований, показавших неодинаковое протекание термокарста в разных регионах, а в других – неодинаковые результаты для одного и того же района. Так, в частности, в Западной Сибири происходило увеличение площади озер в зоне сплошного развития вечной мерзлоты [9], а в других районах этого же региона – их уменьшение. При этом, изменяющиеся обстановки в Западной Сибири не связаны с современным потеплением климата [9].

Таким образом, глубинное проявление механизмов термокарста находится, вероятно, в соответствии с меняющимися величинами метеогеокриологического риска.

Выполнены многочисленные исследования динамики термокарстовых озер, охватывающие области как сплошного, так и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород в пределах Аляски [5] и криолитозоны Евразии – Севера Европейской части России [17], Западной Сибири [11], Восточной Сибири [18], Центральной и Северной Якутии [19, 20] и России в целом [10].

Исследования в разных частях криолитозоны показывают, что в зоне сплошного распространения мерзлоты отмечается относительная стабильность термокарстовых озер. Однако в отдельных районах отмечается увеличение площади озер (на территории Западной Сибири [9] и Центральной Якутии [10]), которое авторы связывают с активизацией термокарстового процесса под влиянием потепления климата из-за увеличения выбросов углекислого газа, содержащегося в вечной мерзлоте, на 125–190 % – по сравнению с теми количествами диоксида углерода, что высвобождаются при постепенном таянии [21]. В зоне прерывистого распространения мерзлоты большинство исследователей отмечают сокращение площади озер, что связывается с просачиванием воды в оттаявший грунт и с испарением воды из озер.

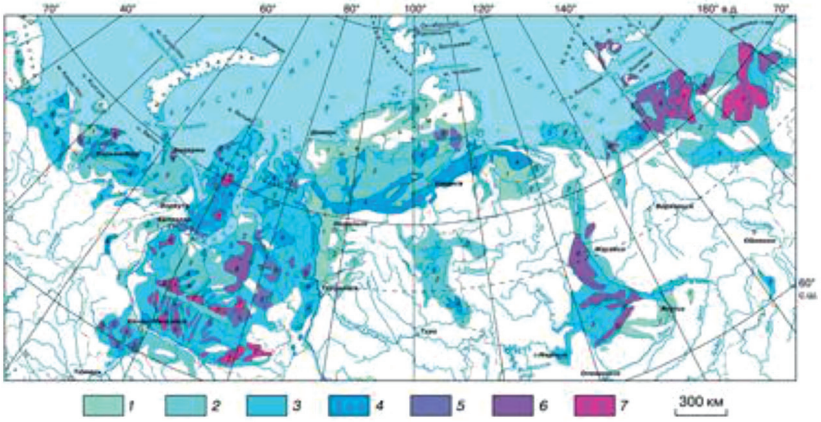


Рис. 4. Распространение термокарстовых озер на территории России [6]. Условные обозначения – Преобладающие размеры озер: 1 – малые; 2 – средние. Сочетания озер разных размеров: 3 – малые и средние; 4 – малые и большие; 5 – малые и крупные; 6 – средние и большие; 7 – средние и крупные. Диаметр озер (км): малых – 0,1–0,5, средних – 0,5–1,5, больших – 1,5–3,0, крупных – 3–6

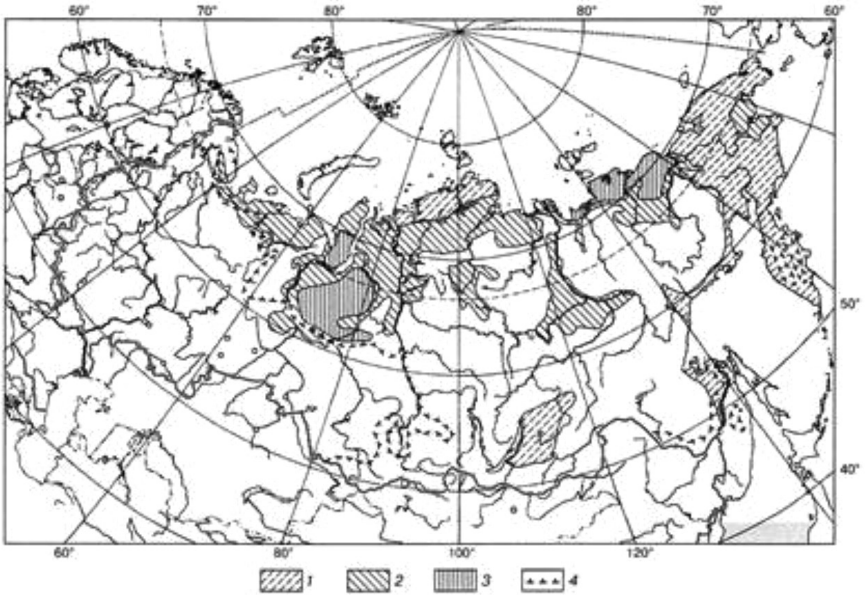


Рис. 5. Схема районов распространения термокарстовых озер на территории России [10]: 1 – малых озер; 2 – малых и средних озер; 3 – средних и крупных озер. Границы: 4 – южная граница криолитозоны [10]

Отмеченная картина в снижении количества термокарстовых озер хорошо согласуется с наблюдаемой ситуацией начавшегося общего глобального похолодания климата, фиксируемого международными экспертами и подтверждаемой материалами региональных исследований автора [8, 22].

В итоге динамические характеристики озер не являются индикатором влияния потепления климата на криолитозону, так как его влияние однозначно не выделяется.

Ниже, на основе авторских тематических материалов, подробно рассматриваются особенности термокарстового фона (в статике и динамике) основных заявленных регионов (Средней Сибири, Чукотки и Приморья) в естественных и антропогенных обстановках.

Средняя Сибирь

В пределах таежного юга Средней и Восточной Сибири формы рельефа, обязанные

своим происхождением термокарсту, встречаются относительно редко, но равномерно на всех геоморфологических уровнях и при общем знакомстве с территорией создают ложное впечатление о ведущей роли термокарста среди мерзлотных факторов рельефообразования. Так, на основании исследований Ф.Н. Лещикова, Н.Е. Зарубина и Н.Н. Романовского еще недавно делались далеко идущие выводы о продолжающейся здесь деградации вечной мерзлоты. В действительности, как показывают наши исследования, на рассматриваемой территории преимущественно островного развития вечной мерзлоты (рис. 1) ее направленного сокращения в настоящее время не происходит [23].

Термокарст, по данным А.И. Попова, представляет лишь часть очень сложного природного процесса, связанного с увеличением мощности деятельного слоя и включением в него сильно льдистых грунтов или ископаемого льда.

Для юга Средней и Восточной Сибири в современный период нехарактерно направленное изменение климата ни в сторону потепления, ни в сторону похолодания. Следовательно, современное активное протекание термокарста на отдельных участках следует связывать с местными изменениями физико-географических условий, т.е. с частными, а не с общими причинами. К ним можно отнести: а) существенное нарушение или полное уничтожение растительного покрова, в общегодовом выводе оказывающего охлаждающее влияние на грунты; б) следующее за этим возникновение различного рода трещин (морозобойных, динамических и др.), приводящих к площадному или локальному увеличению зоны активного теплообмена между земной поверхностью и атмосферой; в) хозяйственное освоение территории, связанное с ее распашкой, проведением дорог и т.д. При этом наибольшее значение имеют охватывающие большие площади лесные пожары – не столько из-за непосредственного теплового воздействия, как указывал еще в 1939 г. В.Ф. Тумель, сколько из-за возникновения новых деятельных поверхностей с другим теплообменом. На гарях, по наблюдениям автора, геотермический уровень теплообмена повышается, что находит свое выражение в увеличении среднегодовых температур грунтов и увеличении мощности деятельного слоя. Следовательно, происходит антропогенная активизация термокарста.

Рост термокарстовых просадок всегда сопровождается изменением внешних местных физико-географических условий (повышенным накоплением снега, дополнительным увлажнением грунтов в пределах просадок, а часто и возникновением в них озер и т.д.).

На юге Средней Сибири среди «островных» высокотемпературных (около 0°С) вечномерзлых пород максимальной льдистостью характеризуются четвертичные отложения, преимущественно на низких уровнях в речных долинах. В пределах южной тайги – это поймы, 1 и 11 надпойменные террасы рек, верховья долин, нижние части склонов (на юге – северной экспозиции, а на севере – южной); в пределах средней тайги – заторфованные и заболоченные выровненные водораздельные пространства. Наибольшая выраженность термокарстовых просадок в последнем случае чаще и отмечается.

В современный период термокарст на юге Средней Сибири связан как с вытаиванием льда в деятельном слое и формированием мелких форм, так и с процессами в вечномерзлых толщах, когда возникают просадки значительных размеров и различных очертаний в плане. Так, в первом случае – на месте сезонных бугров пучения возникают блюдцеобразные понижения и реже кратеровидные воронки (размеры не превышают 1–2 м); во втором – в пределах речных террас часто формируются отдельные термокарстовые озера, поперечные размеры которых достигают 30–50 м, а глубины до 1,5 м. При этом если вытаивание миграционных и сегрегационных льдов приводит к появлению отдельных неправильных очертаний просадок, то разрушение сетки полигонально-жильных льдов обусловливает возникновение закономерно построенных, полигональных в плане, образований. Заметим, что на морфологию термокарста существенный отпечаток накладывает также эрозия, карст и т.д. Так, сочетание термокарстовых и карстовых процессов, что наиболее часто в нашем регионе отмечается в условиях Верхоленья, обусловливает формирование просадочных форм рельефа сложного генезиса. Здесь, по наблюдениям автора, поверхностные термокарстовые формы переходят в глубинные карстовые.

Специфическое проявление термокарста на юге Средней Сибири представлено озерно-термокарстовыми процессами. Последние отмечаются в пределах древних озерных котловин (верховья рек Чулы

и Ханды) и на низких террасовых уровнях в верховьях рек Непы, Нижней Тунгуски и Катанги. Эти местности сложены мерзлыми озерно-аллювиальными илами, тяжелыми суглинками и глинами, перекрытыми с поверхности 1,5–7-метровым слоем торфа различной степени разложения и минерализации. Внешне они представляют собой плоско- или выпукло-бугристые торфяники: от речных русел отделены береговыми валами; характеризуются незначительной мощностью деятельного слоя (0,3–0,8 м); имеют типичный лесотундровый облик с разреженной и угнетенной растительностью. Талые и дождевые воды, из-за плохих условий стока в соседние реки, задерживаются здесь на длительное время и образуют в понижениях мелкие озерца. Значительный приток солнечного тепла в весенне-летнее время аккумулируется водными массами и служит главной причиной начала термокарста.

Развитие термокарста здесь протекает не только в глубину, но и активно распространяется в стороны. Постепенно отдельные округлые воронки проседания, возникшие в процессе протаивания выпуклобугристых торфяников, соединяются между собой или с межбугровыми впадинами, а в пределах плоскобугристых торфяников – объединяются с просадками вдоль былых ледяных жил. В результате формируются обширные термокарстовые озера (до 150–200 м в поперечнике; слой воды до 3,5 м; над ними превышения торфяников до 1,5 м).

Особо следует отметить, что с продвижением от русел рек в сторону коренных склонов глубины таких «блуждающих» озер увеличиваются, постепенно исчезают необводненные котловины, а признаки «блуждания» озер становятся более явственными. В результате поверхность торфяников приобретает уклон в сторону коренного склона речной долины, что благоприятствует застаиванию талых и дождевых вод, вызывающих дальнейшую интенсификацию термокарста. Из-за соединения многочисленных термокарстовых озер под коренным склоном долин (например, в районе зимовья Мироновского, между устьями рек Хаил и Кумакагня) формируются широкие (20–60 м) и длинные (до 400–500 м) ложбины, обычно заполненные водой и характеризующиеся в плане самыми прихотливыми очертаниями. В отдельных случаях эти ложбины по своей конфигурации напоминают старицы, что необходимо учитывать при камеральном дешифрировании аэрофотоснимков.

Морфогенетический эффект термокарста на юге Средней Сибири не ограничивается формированием только отдельных микроформ рельефа или площадей проседания. Возникновение последних в днищах речных долин, что обычно происходит после лесных пожаров или объемных рубок леса, а в особых условиях является результатом озерно-термокарстового процесса, приводит к локальному снижению базиса денудации конкретных склонов. Такие геосистемные нарушения вызывают активизацию склоновых процессов и, следовательно, приводят к интенсивной переработке склоновых поверхностей.

В соответствии с зональными особенностями мерзлотно-природной обстановки таежного юга Средней и Восточной Сибири находится и морфогенетический эффект термокарста: он увеличивается по региону с юго-запада на северо-восток, по направлению общего увеличения площадей вечной мерзлоты. Именно в этом направлении увеличиваются общее количество и размеры отдельных просадок, чаще отмечаются площади проседания и повышается роль озерно-термокарстового процесса в преобразовании общего рельефа.

В целом для всего региона рельефообразующая роль термокарста, по сравнению с морозобойным трещинообразованием и мерзлотным крипом, в естественных условиях все же невелика. В ходе интенсивного хозяйственного освоения территории термокарстовые явления становятся здесь все более и более характерными. Следовательно, удельный вес термокарста в общем преобразовании поверхности осваиваемых районов с редкоостровной вечной мерзлотой все время антропогенно направленно возрастает.

Чукотка

Чукотка – особый край вечной мерзлоты (подземного оледенения), выделяющийся среди других северных территорий ярким своеобразием и неповторимостью полярных ландшафтов. К этим отличительным особенностям относятся:

а) противоречивое соседство и контрастное чередование талых и мерзлых пород (рис. 3; [24]);

б) широчайший спектр мощностей (от 0 до 700 и более метров) и среднегодовых температур (от 0 °С до минус 11 °С и ниже) вечномерзлых грунтов [25];

в) высокие тренды увеличения температуры воздуха, из-за чего район Чукотки по-

падает в область высокого метеогеокриологического риска [14];

г) полный набор криогенных процессов и явлений в организации восходящего и нисходящего развития вечной мерзлоты [24, 25].

Термокарстовые явления (округлые западины, котловины и озерные ванны; линейные, линейно-коленчатые и полигональные формы проседания; и другие)**,** являясь типичными для территории Чукотки, экстремального проявления достигают только в редкие аномально теплые и дождливые годы (рис. 6 и 7). В эти периоды на участках близкого залегания к дневной поверхности залежей подземных льдов активизируются площадные просадки, а на склонах – процессы оврагообразования [24].

Во многих местах, по исследованиям в 1970 г. С.В. Томирдиаро, зафиксированы следы передвижения озер, оставляющие за собой ровные открытые площадки, сложенные с поверхности илистыми отложениями (5–15 см), а глубже – горизонтами уплотненного заиленного торфяника (с глубины 0,6–1,0 м в мерзлом состоянии). Вслед за «уходом» термокарстового озера в сторону или его обмелением и дальнейшим высыханием здесь на открытых участках опять формируется вечная мерзлота.

Термокарстовые озера (в том числе и «блуждающие») встречаются локально и приурочены главным образом к долинам рек. Наиболее широко они распространены лишь в пределах Анадырской низменности и на побережье залива Креста. На остальных береговых участках морей термокарстовые озера сосредоточены на узких полосах прибрежных равнин и в устьевых расширениях речных долин, где обычно развивается достаточно густая сеть очень небольших (0,1–0,3 км) озер. Количество и размеры термокарстовых озер год от года испытывают разнонаправленные колебания. Последние прослежены на эталонных участках – 1) на северном побережье Пенжинской губы и на побережье Удской губы Охотского моря (снимки 1973 и 2001 гг.); 2) Яно-Индигирской низменности вдоль южного побережья моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря (снимки 1972 и 2000 гг.). При сравнении разновременных снимков первого участка изменений в характеристиках озер не обнаружено, а для второго – обнаружено увеличение площади многих из существовавших озер и массовое появление новых малых (0,1–0,2 км) озер [10].

Рис. 6. Термокарстовые деформации нижней части склона в окрестностях п. Лаврентия. Фото А.А. Галанина

Рис. 7. Термоабразия берега Берингова моря в районе п. Лаврентия. Фото (с тыльной стороны) А.А. Галанина

Фоновая направленность развития вечной мерзлоты уже в ближайшее время может существенно измениться. Начавшееся общее похолодание оконтуривает отдельные геоэкологические риски (из-за усиления морозобойного трещинообрзования в направлении разрушения отдельных геосистем), а с другой стороны – снижает естественную интенсивность термокарста.

Тем не менее картина антропогенно обостряется (например, по нашим наблюдениям в 1972–1973 г.г. в р-не п. Канчалан), из-за нарушений теплового баланса деятельных поверхностей, вызывая локальное разрушение геосистем с возникновением

борозд-рвов (до 1 м), оврагов (до 2 м) и других отрицательных форм.

Все изменения теплового баланса атмосферы-литосферы, вызываемые хозяйственной деятельностью человека на Чукотке, происходят в следующих направлениях:

а) в изменении на больших площадях вещественного состава почвогрунтов (возведение насыпей, дамб, плотин; распашка задернованных участков и лугов, снятие дерна; разработка полезных ископаемых открытым способом и т.д.);

б) в нарушении приходо-расходных частей теплового баланса территории (вырубка лесов и удаление снега, затенение или планация земной поверхности, спуск озер или устройство водохранилищ и т.д.);

в) в создании искусственных источников тепла (сооружение отапливаемых зданий и теплоцентралей, спуск теплых промышленно-бытовых вод, устройство палов и т.д.).

Хозяйственная деятельность человека в целом приводит к изменению мощности и среднегодовых температур вечномерзлых толщ. Так, до постройки Анадырского водохранилища в среднем течении р. Казачка указанные температуры в подошве слоя годовых колебаний были равны в среднем минус 4 °С. Последующие изменения этих температур в 1971 г. зафиксировали их значения в отдельных точках как 0 °С, а температуры донных отложений составляли плюс 4 °С. Одновременно с изменением отмеченных температур «прошли» термокарстовые процессы и возникли различные просадки грунтов.

Вмешательство человека в естественную природную обстановку чаще проявляется в нарушениях растительного покрова – этого наиболее динамичного природного фактора. Именно с такого рода нарушениями наиболее тесно связана активизация термокарстовых процессов. Пирогенные воздействия, в частности, на вечную мерзлоту, опосредствованные через уничтожение растительности, являются разноплановыми, но по своему эффекту занимают одно из важных мест в этом аспекте. Так, выгорание даже одного кустарникового и травянисто-кустарникового покрова приводит в общегодовом выводе к усилению жесткости температурных условий в почвогрунтах и формированию более низких температур вечномерзлых толщ, а в теплый период года – служит толчком к активизации оплывинно-солифлюкционных движений грунта на склонах и к началу интенсивного термокарста в пределах скопления ледяных включений в грунтах различных местоположений и т.д. [24].

Строительство жилых поселков в пределах северных аллювиальных равнин, сложенных очень льдистыми грунтами, сопряжено с большими трудностями. Связано это с активизацией многих мерзлотных процессов (в первую очередь термокарстовых), протекающих с особой быстротой и осложняющих строительство и эксплуатацию сооружений. Так, под поселок Канчалан был выбран участок в пределах 1 и 2-й надпойменных террас в среднем течении р. Канчалан, где оказались широко развитые мощные и неглубоко залегающие к дневной поверхности полигонально-жильные льды. Снятие и (или) уплотнение дерново-мохового и снежного покрова, осушение и (или) обводнение грунтов, планация земной поверхности, а в некоторых случаях даже вскрытие и выведение на поверхность подземных льдов, в ходе строительства и эксплуатации жилых и служебных зданий, привело к резкой перестройке естественного гидротермического фона почвогрунтов. Это послужило причиной интенсивного вытаивания полигонально-жильных льдов. В результате сформировался бугристо-западинный рельеф, возникли термокарстовые просадки и овраги и оплывинно-солифлюкционные трансформации, что привело к разрушению многих зданий и дорог.

Устройство временных дорог в равнинной тундре приводит к механическому разрушению травяно-мохового покрова, который десятилетиями не восстанавливается. Так, по наблюдениям автора в 1972 г. в долине р. Танюрер, на поверхности закочкаренных террас были отмечены единичные 15-летней давности глубокие (до 15–20 см) колеи тракторов и вездеходов. Эти колеи в ряде мест явились путями концентрированного стока дождевых и талых вод, что в конечном счете привело и к образованию оврагов. Превращение отдельной колеи в овраг происходит очень быстро. Так, по наблюдениям Н.А. Граве и И.А. Некрасова в 1961 г. в районе пос. Шахтерский (вблизи г. Анадыря), возникновение оврага на месте гусеничной колеи трактора произошло в течение 5 лет. В тех случаях, когда колеи, а потом и овраги совпадают в плане с простиранием ледяных жил или морозобойных трещин, процессы линейной эрозии и бурного термокарста протекают особенно активно.

Поскольку колеи-борозды от тракторов и вездеходов большей частью сильно об-

воднены (влажность грунтов в них часто превышает предел текучести), несущая способность почвогрунтов здесь быстро снижается до минимальных значений. Поэтому временные дороги прокладываются все время на новых местах, по соседству с прежними. В результате вокруг большинства чукотских поселков тундра в настоящее время «распахана» и представляет собой обширные пространства, лишенные растительного покрова, изобилующие рытвинами, водороинами, провалами, оврагами и термокарстовыми озерами самых различных очертаний. Причем во многих местах (например, вокруг поселков м. Шмидта, Певека, Депутатского, Шахтерского и др.) процесссы оврагообразования, термокарста, солифлюкции и морозобойного трещинообразования протекают дальше уже без вмешательства человека.

Спуск теплых промышленно-бытовых вод в ручьи, озера, отдельные замкнутые западины активизирует термокарстовые процессы и приводит к заглублению здесь верхней кровли вечной мерзлоты и увеличению мощности деятельного слоя. По немногочисленным данным бурения и электроразведки в районе поселков Амгуэмы, Шмидта и Шахтерского можно говорить, что по этим причинам за последние десятилетия произошло «точечное» понижение верхней кровли вечной мерзлоты до 5 м, а на поверхности – к термокарстовым просадкам.

Насыпные грунтовые дороги промерзают и служат препятствием со стороны склонов поверхностному и поддерновому стоку. Последний объединяется с термокарстом вдоль дорог, и в результате формируются линейные рытвины и промоины. Так, вдоль насыпной дороги от бывшего аэропорта до пос. Шахтерского, ориентированной поперек склона, с 1964 по 1972 г. образовались овраги глубиной до 3 м.

Таким образом, в ходе хозяйственного освоения территорий активизируются все мерзлотные процессы, при ведущей роли термокарста. В зависимости от формы вмешательства в природные обстановки, нарастание активности термокарста и других мерзлотных процессов, приводящих к нежелательным последствиям, происходят чаще скачкообразно. Для достижения оптимально-устойчивого развития осваиваемых территорий необходим учет всех описанных явлений для исключения или минимизации их негативных эффектов [24].

Приморье

Территория расположена на крайнем юге распространения редкоостровной и высокотемпературной (0-0,5^{0}C) вечной мерзлоты, где последняя присутствует в основном только в верховьях речных долин и на горных участках хр. Сихотэ-Алинь. В соответствии с таким «возникшим редкоостровным объектным положением» находятся и проявления термокарста. Площади последнего естественно ограничены и в территориальном плане закономерно рассредоточены. Термокарст на местности проявляется в виде различных немногочисленных просадок, мелких котловин и крайне редко – термокарстовых озерков. На месте бугров пучения возникают западины и воронки, чаще заполненные водой, на месте разрушенных многолетних бугров пучения – озера (рис. 8), а в пределах единичных площадей термокарстового проседания формируются участки «пьяного леса» (рис. 9).

Рис. 8. Термокарстовое озеро на террасе в верховьях р. Опасная, на месте разрушенного многолетнего бугра пучения (бассейн р. Самарга, Северный Сихотэ-Алинь). Фото А.М. Короткого

Рис. 9. Площадь термокарстового проседания, возникшая на участке после сильного низового пожара, занятая «пьяным» лесом (урочище Килоу, бассейн р. Бикин). Фото А.М. Короткого

«Снятие» охлаждающего влияния растительного покрова (из-за пожаров или сплошных вырубок; строительства дорог и т.д.) и сопутствующее осушение грунтов приводит к деградации маломощных мерзлых толщ и активизации термокарстовых явлений. Последние в ландшафтогенезе Приморья выступают своеобразными факторными «вкраплениями», играющими заметную, но все же подчиненную роль в организации геосистем.

Заключение

Исследования в разных частях криолитозоны России показывают, что в зоне сплошного распространения мерзлоты отмечается относительная стабильность термокарстовых озер – происходят только незначительные разнонаправленные изменения под влиянием локальных факторов. Однако по данным отдельных исследователей, отмечается увеличение площади озер: на территории Западной Сибири [9] и Центральной Якутии [10]. В зоне прерывистого распространения мерзлоты большинство исследователей отмечают сокращение площади озер под влиянием потепления климата, что связывают чаще с просачиванием воды в оттаявший грунт и с испарением воды из озер. На Чукотке отмечены противоречивые тенденции – в прибрежных районах происходит относительное увеличение площади озер, а в горных районах их уменьшение.

Всесторонний анализ представленных авторских тематических материалов по трем основным регионам свидетельствует, что наиболее полный и значимый системопреобразующий спектр термокарстовых процессов и явлений (от разрушения старых форм до создания новых модификаций) отмечается в современных обстановках Чукотки и носит в целом экстремальный характер. Это объясняется тем, что здесь относительно наибольшие колебания мощностей и среднегодовых температур вечномерзлых толщ, наиболее контрастны переходы температур через 0 °С и, что очень важно – наиболее простые структуры организации ландшафтов. Относительно еще более неустойчивыми территориями в отношении термокарстового воздействия являются прибрежные участки северных морей и соседние низменности. В результате мы сталкиваемся здесь с неповторимостью и новизной активных противоречивых термокарстовых образований.

В других регионах – на Средне-Сибирском плоскогорьи развитие термокарста характеризуется типичными показателями, а в Приморье – пониженными.

При этом в целом, в контексте климатических изменений (потепление – похолодание), протекающие в криолитозоне России термокарстовые процессы имеют широтную и долготную специфику:

а) в западном секторе Арктики озера в зоне сплошной вечной мерзлоты сохраняют стабильность или частично увеличивают свои площади, а в зоне прерывистой вечной мерзлоты, наоборот, сокращают их – по данным космических снимков 1973–2005 гг. [2, 10, 14];

б) в Восточном секторе Арктики (по данным автора на Чукотке и в соответствии с опубликованными источниками [2, 3]) термокарстовые озера, как индикаторы динамики состояния мерзлотных ландшафтов (но не потепления климата), свидетельствуют о начавшемся сокращении их площадей, а в Приохотье и Приморье – увеличивающемся сокращении.

Выбор стратегии рационального природопользования во всех рассмотренных районах должен быть всесторонне «щадящим» – по пространственно-временной нормализации природной среды (созданию и сохранению устойчивой агроэкологической обстановки; применению прогрессивных агротехнических приемов; улучшению условий и охраны труда путем совершенствования эргономических параметров рабочих мест и внедрения организационно-технических мероприятий), учитывающим существующие риски и определяемые ими экологические ограничения.

Список литературы / References

1. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1987. 1600 с.

Soviet encyclopedic dictionary. M.: Soviet encyclopedia, 1987. 1600 p. (in Russian).

2. Кравцова В.И., Родионова Т.В. Исследование динамики площади и количества термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 1. С. 81–89.

Kravtsova V.I., Rodionova T.V. A research of dynamics of the area and the number of thermokarst lakes in various regions of a kriolitozona of Russia according to space pictures // Kriosfera Zemli. 2016. T. 20. № 1. P. 81–89 (in Russian).

3. Анисимов М.А. Развитие природной среды Новосибирских островов в голоцене: дис. … канд. геогр. наук. СПб., 2009. 154 с.

Anisimov M.A. Development of the environment in the New Siberian Islands during Holocene: dis. … kand. geogr. nauk. SPb., 2009. 154 p. (in Russian).

4. Нестерева М.И. Возникновение и распространение термокарстовых озер на территории Якутии // Молодой ученый. 2012. № 9. С. 79–82. URL https://moluch.ru/archive/44/5202 (дата обращения: 24.09.2018).

Nestereva M.I. Emergence and distribution of thermokarst lakes in the territory of Yakutia // Molodoj ucheny`j. 2012. № 9. P. 79–82. URL https://moluch.ru/archive/44/5202 (date of access: 24.09.2018). (in Russian).

5. Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic lakes. Science. 2005. Vol. 308. No. 5727. 1429 p. DOI:10.1126/science.1108142.

6. Термокарст: определение, формирование и воздействие на окружающую среду. URL: https://natworld.info/raznoe-o-prirode/termokarst-opredelenie-formirovanie-i-vozdejstvie-na-okruzhajushhuju-sredu (дата обращения 24.09.2018).

Thermokarst: definition, formation and impact on the environment. URL: https://natworld.info/raznoe-o-prirode/termokarst-opredelenie-formirovanie-i-vozdejstvie-na-okruzhajushhuju-sredu (date of access: 24.09.2018). (in Russian).

7. Ловелиус Н.В., Ретеюм А.Ю. Циклы солнечной активности в Арктике // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 1. С. 128–130.

Lovelius N.V., Reteyum A.Yu. Cycles of solar activity in the Arctic // Obshhestvo. Sreda. Razvitie. 2018. № 1. P. 128–130 (in Russian).

8. Глобальная служба атмосферы. URL: https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch programme (дата обращения: 16.06.2018).

Global Atmosphere Watch Programme. URL: https://public.wmo.int/…/programmes/global-atmosphere-watch programme (date of access: 16.06.2018) (in Russian).

9. Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Изучение взаимосвязи изменений климатических и термокарстовых прроцессов в зонах сплошной и прерывистой мерзлоты Западной Сибири // Вестник Югорского государственного университета. 2009. № 3. С. 3–12.

Bryksina N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M. Study of the relationship between climatic and thermokarst processes in continuous and discontinuous permafrost zones of Western Siberia // Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 3. P. 3–12 (in Russian).

10. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах Сибири за последние 30 лет // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 2. С. 16–26.

Kravtsova V.I., Bystrova A.G. Change of the sizes of thermokarst lakes in various Areas of Siberia for the last 30 years // Kriosfera Zemli. 2009. T. 13. № 2. P. 16–26 (in Russian).

11. Кравцова В.И., Тарасенко Т.В. Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Т. 1. № 1. С. 96–103.

Kravtsova V.I., Tarasenko T.V. Investigation of changes in thermokarst lake distribution in West Siberia by multitemporal satellite images // Dinamika okruzhayushhej sredy` i global`ny`e izmeneniya klimata. 2010. T. 1. № 1. P. 96–103 (in Russian).

12. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозоне Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185–189.

Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., Bryksina N.A. Thermokarst lakes square dynamics of West Siberian continuous and discontinuous permafrost under impact of global warming // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2008. № 311. P. 185–189 (in Russian).

13. Тарасенко Т.В., Кравцова В.И. Исследование изменений площадей термокарстовых озер на основе анализа космических снимков // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению TICOP (г. Салехард, 25–29 июня 2012 г.). Салехард: Северное издательство; Тюмень: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 505–510.

Tarasenko T.V., Kravtsova V.I. A research of changes of the areas of thermokarst lakes on the basis of the analysis of space pictures // Works of the Tenth International conference on TICOP permafrostology (Salekhard, on June 25–29, 2012). Salekhard: Severnoe Izdatel`stvo. Tyumen: LLC Pechatnik, 2012. T. 3. P. 505–510. (in Russian).

14. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам. М.: МГУ, 2013. 196 с.

Rodionova T.V. A research of dynamics of thermokarst lakes in various regions of a kriolitozona of Russia according to space pictures. M.: MGU, 2013. 196 p. (in Russian).

15. Оценка возможностей использования снимков со спутника Landsat для изучения динамики термокарстовых озер // Тезисы конференции «Геокриологическое картографирование: проблемы и перспективы» (Москва, 5–6 июня 2013 г.). 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: CD-R. гос. регистрации обязат. электрон. Издания – 0321302405.

Assessment of opportunities of use of pictures from the Landsat satellite for studying of dynamics of thermokarst lakes // Theses of a conference «Geocryologic mapping: problems and prospects» (Moscow, on June 5-6, 2013). 2013. [Electronic resource] access Mode: The state registrations to oblige the CD-R. electron. Editions – 0321302405 (in Russian).

16. Малкова Г.В., Павлов А.В. Геоинформационное картографирование современных изменений климата и криолитозоны на севере России // Труды 10 Международной конференции по мерзлотоведению TICOP (Салехард, 25–29 июня 2012 г.). Тюмень: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 313–318.

Malkova G.V., Pavlov A.V. Geoinformation mapping of modern climate changes and a kriolitozona in the north of Russia // Works of the 10th international conference on TICOP permafrostology (Salekhard, on June 25-29, 2012). Tyumen: LLC Pechatnik, 2012. T. 3. P. 313–318 (in Russian).

17. Елсаков В.В., Марущак И.О. Спутниковые изображения в анализе количественных характеристик лесных фитоценозов Печеро-Илычского заповедника Республики Коми // Современые проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 303–309.

Elsakov V.V., Marushchak I. O. Satellite images in the analysis of quantitative characteristics of forest fitotsenoz of the Pechero-Ilychsky reserve of the Komi Republic // Sovremeny`e problemy` distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2011. T. 8. № 4. P. 303–309 (in Russian).

18. Кравцова В.И.,Тюкавина А.Ю. Компьютерные стереонаблюдения при географическом дешифрировании аэрокосмических снимков // Геодезия и картография. 2010. № 3. С. 34–39.

Kravtsova V.I., Tyukavina A.Yu. Computer stereoobservations while geographical interpretation of aerospace imageries // Geodeziya i kartografiya. 2010. № 3. P. 34–39 (in Russian).

19. Босинов Н.П., Исаев А.П., Иванова Е.И., Захарова В.И., Сивцева Л.В., Иванова А.П., Семенов С.Г., Аммосова В.Н., Порядина Л.Н., Исакова В.Г. Ритмы развития аласных экосистем Центральной Якутии // Наука и образование. 2012. № 2. С. 52–57.

Bosinov N.P., Isaev A.P., Ivanova E.I., Zakharova V.I., Sivtseva L.V., Ivanova A.P., Semyonov S. G., Ammosova V.N., Poryadina L.N., Isakova V.G. Rhythms of development of alasny ecosystems of the Central Yakutia//Science and education. 2012. № 2. P. 52–57 (in Russian).

20. Каплина Т.Н. Аласные комплексы Северной Якутии // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 3–17.

Kaplina T.N. Alasnye complexes of Northern Yakutia//Kriosfera of Earth. 2009. T. 13. № 4. P. 3–17 (in Russian).

21. В Сибири обнаружили признаки грядущей катастрофы. URL: https: // lenta. ru/news/2018/08/20/permafrost/ (дата обращения: 14.08.18).

In Siberia found signs of the future accident. URL: https://Lenta.ru/news/2018/08/20/permafrost/ (date of access: 14.08.2018) (in Russian).

22. Скрыльник Г.П. Курумообразование и общая тенденция развития рельефа Дальнего Востока // Геоморфология и неотектоника горных стран Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 86–88.

Skrylnik G.P. Kurumoobrazovaniye and general trend of development of a relief of the Far East // Geomorphology and neotectonics of highlands of the Far East. Vladivostok: DVNCz AN SSSR, 1977. P. 86–88 (in Russian).

23. Скрыльник Г.П. Морфогенетический эффект термокарста в районах редкоостровной вечной мерзлоты Сибири // Исследования взаимодействий в геосистемах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 239–242.

Skrylnik G.P. Kurumoobrazovaniye and general trend of development of a relief of the Far East // Geomorphology and neotectonics of highlands of the Far East. Vladivostok: DVNCz AN SSSR, 1977. P. 86–88 (in Russian).

24. Скрыльник Г.П. Некоторые вопросы динамики вечной мерзлоты и криоморфогенеза в связи с хозяйственной деятельностью на Северо-Востоке СССР // Природа и Человек. Владивосток: ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 112–117.

Skrylnik G.P. Some questions of dynamics of permafrost and a cryomorphogenesis in connection with economic activity in the Northeast of the USSR//the Nature and the Person. Vladivostok: TIG DVNCz AN SSSR, 1973. P. 112–117 (in Russian).

25. Котов А.Н. Многолетнемерзлые породы // Труды НИЦ «Чукотка». Вып. 5. Магадан: Изд-во СВНЦ ДВО РАН, 1997. С. 9–13.

Kotov A.N. Permafrost breeds // Trudy` NICz «Chukotka». Vy`p. 5. Magadan: Izd-vo SVNCz DVO RAN, 1997. P. 9–13 (in Russian).

УДК 911.5/.9

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ГЛОКАЛИЗАЦИИ

[1]Тишкова М.А., [2]Межова Л.А.

[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, e-mail: tishk2002@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», Воронеж, e-mail: lidiya09@rambler.ru

Начиная со второй половины XX в. активно изучается процесс глобализации, который проявляется в природных, социальных, экономических и экологических сферах. В рамках формирования модели мирового хозяйства происходит модернизация локальных культур в глобальную мультикультурную цивилизацию. Этот процесс представлен глокализацией, дана система ее определений. Проблемы глокализации рассматриваются на основе понятия глокалов, оценивается их географическое положение, типизация и классификация. На основе процессов глокализации развиваются новые формы культурной самоидентификации и конфликтов. Глобализация – объективный процесс формирования новых и реструктуризации существующих связей в общественных системах на всемирном уровне. Совокупность глокалов и создает костяк глобального экономико-географического пространства, которое на сегодня находится в стадии формирования и пока является дискретным. Дискретность глобального экономико-географического пространства, его представленность в форме совокупности территориально ограниченных ареалов является важной фундаментальной особенностью современного глобального экономико-географического пространства. Дальнейшее развитие глокала сопряжено уже с качественными изменениями его структуры, происходящими под влиянием как внутренних, так и внешних процессов. Основным внутренним процессом является эволюция структуры хозяйственных взаимоотношений и размещения объектов хозяйственной деятельности, обеспечивающих их реализацию. Процесс глобализации неравномерен – он протекает с разной скоростью не только в различных странах, но и в разных регионах одной страны. Быстрее он протекает на территориях, располагающих ресурсами, представляющими непосредственный интерес для мировой экономики на определенном этапе развития, а также в различных зонах с особым правовым режимом хозяйственной деятельности, создаваемых национальными органами власти для реализации определенных политических и экономических целей. Однако, и на территориях, вовлекаемых в оборот мировой экономики, глобализационные процессы характеризуются пространственно-временной неравномерностью проявления, которую и характеризует появление и разрастание на ней глокалов и систем транспортных связей между ними.

Ключевые слова: глобализация, глокализация, глокалы, мультикультурная цивилизация, процесс всемирной стратификации, социокультурная иерархия

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROCESSES OF GLOBALIZATION AND GLOCALIZATION

[1]Tishkova M.A., [2]Mezhova L.A.

[1]Russian State Pedagogical University A.I. Gerzen, St. Petersburg, e-mail: zairasag@yandex.ru;

[2]Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, e-mail: tishk2002@mail.ru

Starting from the second half of the 20th century, the process of globalization, which manifests itself in natural, social, economic and environmental spheres, is being actively studied. Within the framework of the model of the world economy model formation, local cultures are being modernized into a global multicultural civilization. This process is represented by glocalization, and a system of its definitions is given. The problems of glocalization are considered on the basis of the concept of glocal, their geographical location, typification and classification are estimated. On the basis of the processes of glocalization, new forms of cultural self-identification and conflicts are developing. Globalization is an objective process of forming new and restructuring existing links in public systems at the world level. The totality of glocals creates the backbone of the global economic and geographical space, which is currently in the formative stage and is still discrete. Discreteness of the global economic-geographical space, its representation in the form of a set of territorially limited areas is an important fundamental feature of the modern global economic and geographical space. The further development of the glocal is already associated with qualitative changes in its structure that take place under the influence of both internal and external processes. The main internal process is the evolution of the structure of economic relationships and the location of economic activities that ensure their implementation. The process of globalization is uneven – it takes place at different speeds, not only in different countries, but also in different regions of the same country. It flows faster in territories that have resources that are of direct interest to the world economy at a certain stage of development, as well as in various zones with a special legal regime of economic activity created by national authorities for the implementation of certain political and economic goals. However, in the territories involved in the world economy, globalization processes are characterized by spatio-temporal unevenness of manifestation, which is characterized by the emergence and proliferation of glo cals and systems of transport connections between them.

Keywords: globalization, glocalization, glocal, multicultural civilization, the process of world stratification, socio-cultural hierarchy

Процесс глобализации приводит к трансформации географического пространства мирового хозяйства, которая проявляется на различных уровнях – от глобального до локального. О. Дольфюс считал глобализацию процессом создания мегапространства, ин-

тенсивно вовлекающим все человечество, проживающее на планете Земля. Вместе с тем выделил маргинальные области, которые, как он считал, «изолированы от позитивного воздействия глобализации» [1]. У. Бек под глобализацией понимал «процессы, в которых национальные государства и их суверенитет вплетаются в паутину транснациональных акторов и подчиняются их властным возможностям, их ориентации и идентичности» [2].

В этой связи важнейшими географическими следствиями процесса глобализации стали:

– формирование мирового рынка с международным разделением труда, ярко выраженной специализацией отдельных стран и крупных регионов внутри страны на производстве определенных товаров/оказании услуг в общемировом масштабе [3];

– трансформация сетки национальных экономических районов в международные с существенной корректировкой их границ, появление трансграничных экономических районов, использующих преимущества различий в национальных законодательствах и иных условиях социальной системы соседних стран для организации определенного комплекса видов хозяйственной деятельности [4];

– индустриализация развивающихся и деиндустриализация развитых стран, появление «новых индустриальных стран» и ликвидация целых отраслей промышленности в развитых странах;

– перенос «центра тяжести» в управлении экономикой с национального на региональный уровень, формирование системы международного экономического сотрудничества на уровне регионов [1];

– резкое возрастание роли городов-миллионеров и плотных городских агломераций (в том числе мегаполисов) в мировой экономике. Рост диспропорций центр – периферия в национальном и мировом экономическом пространстве при одновременном географическом росте размеров центров и ближнего пространства [5].

Цель исследования заключается в теоретико-методологическом анализе процессов глобализации и глокализации.

Существует множество теоретических путей перехода стран в эпоху глобализации, среди которых в качестве основных рассматриваются два − это вестернизация (на примере какой-либо одной страны; чаще всего это США (единственная, прошедшая все основные этапы развития)), либо цивилизованный вариант. Под последним понимается взаимодействие культур: европейской, восточно-христианской, буддистской, конфуцианско-буддистской и т.д., приводящий к преобразованию в единую цивилизацию всех культур [6].

Для глобализации характерны два противоположных процесса – универсализация по стандартам качества жизни и их материальным воплощениям и выраженная дифференциация по уровню жизни и хозяйственно-общественной специализации конкретных территорий. В своих исследованиях Д.Б. Елин рассматривает противоречивость процесса глобализаии и противопоставляет глокализацию и локализацию [7]. Универсализация связана с унификацией национальных технических регламентов, стандартов качества, законодательных правил обеспечения доступа на внутренний рынок, трудового законодательства и уголовного права, облегчения перемещения через государственные границы физических лиц и капитала, сближения понятий о качестве жизни и нормах поведения [8]. В то же время, как показала практика, в процессе глобализации не происходит формирования всемирной гомогенной социальной среды, поскольку международное разделение труда предполагает не только наличие, но и искусственное поддержание существенных различий между отдельными частями мира, как в факторах производства, так и общественного устройства в целом, что обеспечивает надежное присутствие отдельных стран и регионов (а также географически менее значительных образований) на мировой экономической арене. Косвенным подтверждением данного тезиса является характерный для второй половины XX – начала XXI в. процесс глобальной децентрализации, протекающий в различных формах: распада колониальных империй и многонациональных государств, официальной и неофициальной федерализации, различных иных видов делегирования органами центральной власти ряда своих экономических и политических функций местным сообществам [9]. Также, в силу протекания процесса глобальной децентрализации, многочисленные крупнорегиональные экономические и политические союзы, даже имеющие внутренние связи, такие как ЕС, так и не превратились в единые государства в привычном смысле этого понятия. Процесс глобализации – это размыв как многонациональных, так и мононациональных государств, дробления их экономик и политических структур на отдельные компоненты, которые представляют собой эко-

номически самодостаточные территориальные образования в рамках модели единого мирового хозяйства или могут быть интегрированы в таковые. Фактически формирование таких регионов является локальным откликом на процесс глобализации, названным Р. Робертсоном «глокализацией» [10]. По определению руководителя корпорации «Сони» А. Морита, глокализация сочетает в себе модернизацию локальных культур с достижениями формирующейся глобальной мультикультурной цивилизации, способствуя сближению полюсов глобального и локального. В настоящее время проблемы глокализации и функционирования глокалов рассматриваются как в системе экономических наук, так и в гуманитарных, философских и географических науках.

Система определений глокализации представлена на рисунке.

Процесс дробления национального экономического, политического и социально-культурного пространства, направленный на формирование территориальных ареалов, характеризующихся высокой возможностью к интеграции в глобальную социально-экономическую систему, получил название глокализации. В ходе его происходит разделение территории страны на ареалы, способные на данном уровне развития национального хозяйства и мировой социально-экономической системы к интеграции в систему мирового хозяйства, и те, которые в настоящее время в данном процессе участвовать не могут. Территориальные структуры, способные к глобализации, которые формируются при разделении национального социально-экономического пространства и представляют собой глокалы, т.е. локальные структуры глобального социально-экономического пространства.

Изучением проблем глокализации занимались И.С. Мехришвили, Е.Ф. Авдокушин, У. Бек [12, 3, 2]. В отличие от глокализации глокал – это сетевая организационно-управленческая структура, которая характеризуется географической разветвленностью и широким развитием аутсорсинга. Глокал – это общественное явление, имеющее как местное, так и глобальное значение [13]. Глокалы различаются по своим функциям, размерам и географическому положению. По функциям на настоящий момент можно выделить следующие типы глокалов [14]:

– сырьевые (ориентированные на добычу сырья, используемого в различных видах производств). При формировании сырьевых глокалов, наряду с общественными, большую роль играют и природные факторы, определяющие запасы и доступность тех или иных видов сырья для их разработки. В качестве подтипов сырьевых глокалов могут рассматриваться добывающие и аграрные. Добывающие глокалы характеризуются самыми большими площадями ареалов (соответствуют размерам крупных добывающих, сельскохозяйственных и лесохозяйственных районов), зачастую – «размытым» центром (его роль выполняет полицентрическая агломерация, построенная по принципу «от района») [15, 16];

Рис. 1. Основные понятия глокализации [11]

– глокалы, связанные с хозяйственной деятельностью в области производства промышленных товаров и оказания услуг. Представлены следующими подтипами:

– обрабатывающих производств – ориентированные на производство продукции реального сектора на экспорт. Зачастую трансформация национальной промышленной территории в глокал стимулируется политически (например, установлением режима свободной экономической зоны, выдачей государственных гарантий поддержки тех или иных видов хозяйственной деятельности и т.п.);

– транспортные (крупные логистические центры, мультимодальные хабы, обрабатывающие пассажиропотоки и грузы международного значения);

– непроизводственные (научные, торгово-банковские, рекреационные, культурные и т.п.), концентрирующие предприятия непроизводственного сектора мировой экономики;

– внеэкономические – выполняют в системе мирового хозяйства функции, не связанные непосредственно с экономической деятельностью, но тем не менее являющиеся неотъемлемой частью мирохозяйственной и глобальной социальной системы. К ним относятся значимые политические, религиозные и культовые центры. Также к подобным глокалам можно отнести и охраняемые территории мирового уровня, обеспечивающие устойчивость глобальной экологической системы. В отличие от глокалов, рассмотренных выше, в формировании внеэкономических глокалов ведущая роль принадлежит не ТНК, а международным общественным, социально-культурным и политическим структурам;

– комбинированные (совмещающие несколько функций одновременно)

Глокалы различаются двумя основными показателями своих размеров – площадью и численностью населения. При этом размеры глокала могут быть оценены, как в абсолютных единицах, так и в относительных показателях. В предельном случае глокалы охватывают целиком всю национальную территорию и включают все население. Наиболее ярким примером последнего является Ватикан [17].

Географическое положение глокала может оцениваться как относительно национальной территории (внутринациональное), так и относительно сети мирохозяйственных центров (внешнее). Относительно национальной территории следует различать положение глокала относительно национальных границ и относительно значимых хозяйственных центров и инфраструктурных объектов. Относительно национальных границ можно выделить следующие виды положения глокала: приграничное (у сухопутной границы государства). Характерно для активно формирующихся в настоящее время приграничных экономических регионов; прибрежное – на побережье моря или крупной судоходной реки, из которой морские суда имеют непосредственный выход в море; внутреннее – во внутренних районах страны. Ядро глокала, как правило, представлено крупным городом или центральной частью города, в котором сконцентрированы основные структуры, осуществляющие управление созданием и реализацией продуктов международной специализации территории, а также основные мощности по реализации продуктов международной специализации [18]. Это не только и не столько промышленные предприятия, сколько биржевые и банковские структуры, научно-исследовательские учреждения и учебные заведения, учреждения культуры и т.п. Полупериферия представлена преимущественно городскими окраинами и ближайшими пригородами, в которые вынесены производственные предприятия, крупные транспортные и логистические объекты, а также располагается основная часть заселенных территорий.

Периферия глокала представлена преимущественно внегородскими, как заселенными, так и незаселенными территориями, обеспечивающими преимущественно функционирование полупериферии, обеспечивающими дополнительное поступление в нее рабочей силы, водных ресурсов, утилизацию части отходов. Однако основная функция периферии резервная, она представляет собой территориальный резерв пространственного расширения глокала. При этом сама периферия является мощным потребителем материальных и нематериальных ресурсов ядра и полупериферии глокала, прежде всего образовательных (в ядре проходит обучение большей части специалистов, трудящихся на периферии), рынка труда, источника потребительских товаров и услуг и т.п.

Однако, в отличие от городской агломерации или мегаполиса, развивающихся в рамках национальной экономики, ядро и полупериферия глокала в значительно меньшей степени нуждаются в периферии, поскольку значительную часть материальных и нематериальных ресурсов для своего

функционирования глокал получает из других глокалов страны и из-за рубежа. В связи с этим не столько центр глокала заинтересован в существовании периферии, сколько периферийные территории заинтересованы в сохранении и уплотнении связей с глокалом. Именно сравнительно небольшая заинтересованность ядра и полупериферии глокала в периферийных пространствах и делает установление его пространственных границ достаточно сложной географической задачей. Вышеописанная теоретическая структура глокала существенно изменяется под влиянием его специализации и стадии развития. Так, для сырьевых глокалов и отчасти глокалов обрабатывающих производств характерна полицентричность. Полицентричность представляется и одной из территориальных черт глокала с комплексной специализацией, сформировавшегося в форме мегаполиса. Для транспортных глокалов характерна «вывернутая наизнанку» структура, в которой ядром, по сути, являются транспортно-логистические комплексы, располагающиеся на городских окраинах, а центральные районы города играют роль полупериферии, поскольку используются преимущественно для проживания, розничной торговли и рекреации. Глокал нельзя рассматривать в качестве неизменной структуры. В процессе своего развития он проходит несколько стадий [19]. Начальная стадия – это формирование глокала, точнее, переход крупного городского центра с его метрополитенским ареалом или территории добычи или иного вида эксплуатации природных ресурсов из рамок национальной экономики к встраиванию в глобальную хозяйственную систему. Этот переход представляет собой процесс, возможно, длящийся не одно десятилетие. Его можно считать начавшимся тогда, когда в городе начинают появляться отрасли хозяйственной деятельности, ориентированные исключительно на внешний рынок и на работу с внутринациональными поставщиками и потребителями на тех же условиях, что и с зарубежными [20]. Переход территории в состояние глокала можно считать завершенным тогда, когда объем внешнеторговых операций в части ВРП, создаваемой в городе (на территории), превысит 50% (т.е. ориентированность на внешние рынки превысит ориентированность на национальный рынок). На начальной стадии происходит трансформация хозяйственной структуры территории – расположенные на ней хозяйственные объекты, ориентированные на работу в рамках национальной экономической системы, заменяются ориентированными на международную хозяйственную деятельность [21, 22].

Заключение

Таким образом, процессы глобализации, глокализации, интернационализации выражается в особенностях экономических отношений, которые формируются между национальными хозяйствами на основе создания монопольных преимуществ корпораций и специфики экономических систем различных типов стран. Глобализацию считают новым этапом развития мирового хозяйства, глокализация также представлена интенсивными процессами формирования интегральных культур. В настоящее время сформировалось новое качественное состояние международных производительных сил и отношений. Организационно-экономические отношения приводят к углублению и усложнению международного разделения труда, изменение форм кооперирования, специализации, интеграции производств и сдвиг в размещения производства. Таким образом, происходит изменение глобальной межотраслевой и отраслевой структуры, в результате происходит интернационализация производственных сил и связей между участниками на межгосударственном уровне [23, 24]. Сущность глобализации и глокализации заключается в следующем: обеспечении собственной воспроизводимости международных монополий и участии в процессе воспроизводства национальных экономик; добиваться в конкурентной борьбе экономических преимуществ за счет увеличения качества производимой продукции и снижении затрат; инновационные процессы, которые активно внедряются в современную экономику [25].

Основными закономерностями глобализации и глокализации являются принцип всеобщей связи, всеобщего развития и противоречивости. Глобализация тесно связана с нарастающими научно-техническим обновлением и совершенством материально-технического производства, постоянным формированием новых потребностей и оказывает влияние на этнокультурную самобытность. Процесс глобализации усиливает конкуренцию на международном рынке за счет интернационализации, идет процесс объединения различных социально-экономических систем в единую глобальную систему. При этом осуществляется жесткий контроль за перемещением капитала,

инновационных проектов, высококвалифицированных кадров, инновационных технологий. Идет нарастание различных форм интеграции, кооперации, контрактных отношений, стратегических альянсов.

Список литературы / References

1. Dolffus O. La mondalisation. Paris, 1997. 13 p.

2. Бек У. Что такое глобализация? Пер. с нем. А. Григорьев и В. Седельник. Общ. ред. А. Филиппова. М.: Прогресс-Традиция, 2001. 301 с.

Beck W. What is globalization? Per. s nem. A. Grigor`ev i V. Sedel`nik. Obshh. red. A. Filippova. M.: Progress-Tradiciya, 2001. 301 p. (in Russian).

3. Авдокушин Е.Ф. Глокализация как объективный процесс и корпоративная стратегия // Глобализация и международная экономическая интеграция. М.: Магистр: ИНФРА-М, 2017. С. 112–132.

Avdokushin E.F. Globalization as an objective process and corporate strategy // Globalization and international economic integration. M.: Master: INFRA-M, 2017. P. 112–132 (in Russian).

4. Козяйкин П.В. Влияние транснациональных корпораций на развитие процесса глокализации мировой экономики // Российское предпринимательство. 2011. Т. 12. № 8. С. 4–9.

Kozhainkin P.V. Influence of Transnational Corporations on the Glocalization Development Process in the World Economy // Russian Journal of Entrepreneurship. 2011. Vol. 12. № 8. P. 4–9 (in Russian).

5. Старцев Е.Н. Глокальность как всеобщая форма отражения современной реальности // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Политология. Религиоведение. 2009. № 1 (3). С. 296–302.

Startsev E.N. Glokalnost as a universal form of reflection of modern reality // News of the Irkutsk State University. Series: Political science. Religious Studies. 2009. № 1 (3). P. 296–302 (in Russian).

6. Ли Т. Глокализация мирового экономического пространства: содержание и воздействие на национально-государственные экономические системы // Экономические науки. 2017. № 154. С. 7–10.

Li Tanqi Globalization of the World Economic Space: Content and Impact on National-State Economic Systems // Economic Sciences. 2017. № 154. C. 7–10 (in Russian).

7. Елин Д.Б. Противоречивость процесса глобализации: локализация и глокализация // Общество: политика, экономика, право. 2010. № 1. С. 14–17.

Elin D.B. The proto-style of the globalization process: localization and glocalization // Society: politics, economics, law. 2010. № 1. P.14–17 (in Russian).

8. Козлов С.Д. Глобализация и регионализация, локализация и глокализация: некоторые вопросы методологии исследования и преподавания процессов // Проблемы современной науки и образования. 2018. № 1 (121). С. 64-71.

Kozlov S.D. Globalization and regionalization, localization and glocalization: some questions of the methodology of research and teaching of processes // Problems of modern science and education. 2018. № 1 (121). P. 64–71 (in Russian).

9. Мальцев А.А. Теоретические аспекты и современная практика глобализации мировой экономики // Глобализация и международная экономическая интеграция. М.: Магистр: ИНФРА-М, 2017. С. 55–67.

Maltsev A.A. Theoretical aspects and modern practice of globalization of the world economy // Globalization and international economic integration. M.: Master of Science: INFRA-M, 2017. P. 55–67 (in Russian).

10. Robertson R. Globalization: Social Theory and Global Culture (Theory, Culture & Society Series). The Cromwell Press Ltd. Broughton Gifford. Melksham. Wiltshire, 1992. 211 p.

11. Ли Т. Концептуальные основы развития глокализации как реакции на процесс глобализации // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2017. Т. 6. № 3 (20). С. 244–246.

Li Tanqi. Conceptual basis for the development of globalization as a reaction to the process of globalization // Azimuth of scientific research: economics and management. 2017. T. 6. № 3 (20). P. 244–246 (in Russian).

12. Мехришвили И.С. Современные мегапроекты в контексте процессов глокализации // Ceteris paribus. 2015. № 4. С. 147–149.

Mekhrishvili I.S. Modern mega projects in the context of globalization processes // Ceteris paribus. 2015. № 4. P. 147–149 (in Russian).

13. Най Дж. С., Кохэн Р.О. Транснациональные отношения и мировая политика // Теория международных отношений: Хрестоматия. Сост., науч. ред. и коммент. П.А. Цыганкова. М., 2002. 154 с.

Nai J.S., Cohen R.O. Transnational relations and world politics // Theory of International Relations: Anthology. Comp., Scientific. Ed. and comments. P.A. Tsygankova. M., 2002. 154 p. (in Russian).

14. Носкова М.В., Павлова Ю.В. Брендинг региона в процессе глокализации // VI Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» (15.02. – 31.03.2014). URL:https://www.scienceforum.ru/2014/722/5125 (дата обращения: 13.08.2018).

Noskova M.V., Pavlova Yu.V. Branding of the region in the process of glocalization // VI International Student Electronic Scientific Conference «Student Scientific Forum» (15.02. – 31.03.2014). URL: https: //www.scienceforum.ru/2014/722/5125 (date of access: 13.08.2018) (in Russian).

15. Пшиканокова Н.И., Пшиканокова С.Д., Пшиканокова Н.Д. Научно-методологические основы территориальной организации в условиях глокализации регионов России // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2014. № 3 (142). С. 165–170.

Pshikanokova N.I., Pshikanokova S.D., Pshikanokova N.D. Scientific and methodological foundations of territorial organization in the context of glocalization of Russian regions // Bulletin of the Adyghe State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2014. № 3 (142). P. 165–170 (in Russian).

16. Россошанский А.В. Глобализация и глокализация: соотношение понятий // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Социология. Политология. 2012. Т. 12. № 3. С. 90–94.

Rossoshansky A.V. Globalization and glocalization: the relationship of concepts // News of the Saratov University. New episode. Series: Sociology. Political science. 2012. T. 12. № 3. P. 90–94 (in Russian).

17. Чумаков А.Н. Теоретико-методологические основания исследований процессов глобализации // Век глобализации. 2013. № 2. С. 23–37.

Chumakov A.N. The Theoretical and Methodological Foundations of Globalization Process Research // The age of globalization. 2013. № 2. P. 23–37 (in Russian).

18. Манакова И.Ю. Сущность и перспективы развития глобализационных процессов // Вестник ВГУ. Серия: Философия. 2010. № 2. С. 57–68.

Manakova I.Yu. Essence and prospects for the development of globalization processes // Vestnik VSU. Series: Philosophy. 2010. № 2. P. 57–68 (in Russian).

19. Чумаков А.Н. Глобализация. Контуры целостного мира: монография. 3-е изд. М.: Проспект, 2017. 456 с.

Chumakov A.N. Globalization. Contours of the whole world: a monograph. 3rd ed. M.: Prospekt, 2017. 456 p (in Russian).

20. Напсо М.Д. Риски глобализации для национальной традиции // Политика и общество. 2016. № 2. С. 129–134.

Napso M.D. Risks of globalization for the national tradition // Politics and Society. 2016. № 2. P. 129–134 (in Russian).

21. Мамедов И.Б. Становление и развитие политических исследований деятельности транснациональных корпораций // Мировая политика. 2016. № 1. С. 6–18.

Mamedov I.B. Formation and development of political studies of the activities of transnational corporations // World Politics. 2016. № 1. P. 6–18 (in Russian).

22. Косов Е.В. Глокализация: основы формирования глобально-локальных узлов цивилизации // Философия хозяйства. 2012. № 3 (81). С. 116–138.

Kosov E.V. Globalization: the foundations of the formation of global-local nodes of civilization // Philosophy of economy. 2012. № 3 (81). P. 116–138 (in Russian).

23. Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. Пер. с англ.; под науч. ред. О.И. Шкаратана. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.

Castells M. Information age: economics, society and culture. Trans. from the English; under the scientific. Ed. O.I. Shkaratan. M.: GU VShE, 2000. 608 p. (in Russian).

24. Авдокушин Е.Ф. Глокализация как объективный процесс и корпоративная стратегия // Вопросы новой экономики. 2010. № 2 (14). С. 4–17.

Avdokushin E.F. Globalization as an objective process and corporate strategy // Questions of a new economy. 2010. № 2 (14). P. 4–17 (in Russian).

25. Малиновский П.В. Глобализация 90-х годов: время выбора // Глобализация: контуры XXI. Ч. 1. М.: ИНИОН, 2002. С. 5–49.

Malinovsky P.V. The globalization of the 90s: the time of choice // Globalization: the outlines of XXI. Part 1. M.: INION, 2002. P. 5–49 (in Russian).