УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 4 2018

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,746

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,601

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» – 70062

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.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., профессор Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., профессор 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 – 0,746.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,601.

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 – 07.05.2018
Дата выхода номера – 07.06.2018

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

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

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 23,63
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/4-2018
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 1,4-ФЕНИЛЕН-БИС-ДИАНТИПИРИЛМЕТАНА С КАТИОНАМИ НЕКОТОРЫХ D-МЕТАЛЛОВ
Абрамова В.В., Пешков С.А., Строганова Е.А., Дубских В.А., Чигринева Н.А. 7

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВУХЖИДКОСТНОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ОКСИДНЫХ РАСПЛАВАХ К СИСТЕМАМ RO, R_3O_4-B_2O_3
Борисов А.Ф., Забелин В.А. 12

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОЙ МОДИФИКАЦИИ КЕРАТИНА ИЗ БЕЛОКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА
Бортников С.В., Горенкова Г.А. 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В ВОССТАНОВЛЕННЫХ МОЛОЧНЫХ СМЕСЯХ
Ермишина Е.Ю., Белоконова Н.А., Наронова Н.А., Бородулина Т.В. 23

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА БИЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ (II) И ПАЛЛАДИЯ (II)
Салищева О.В., Молдагулова Н.Е. 29

СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНОГО ФЕРРИТА ЦИНКА
Семченко В.В., Шабельская Н.П., Кузьмина Я.А. 36

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВООБОРОТЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДАЛЁННОСТИ ЛЕСОПОЛОСЫ ПО ПРИЁМАМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ
Азизов З.М. 42

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ
Горянин О.И., Горянина Т.А. 49

ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ
Залесов С.В., Ведерников Е.А., Залесова Е.С., Иванчина Л.А., Эфа Д.Э. 54

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ И ЛЕСОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
Ивашнев М.В., Гаврилова О.И. 62

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТИМУЛЯТОРОВ И УКРЫВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ
Кабанова С.А., Данченко М.А. 67

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТИПОВ ЕЛОВО-КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ НА ГРАНИЦЕ МЕЖДУ ФОРМАЦИЯМИ КЕДРОВО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ И ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ
Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. 72

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЕВ
Михайлова А.А., Вагизов М.Р. 80

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СЕТИ КАСИБ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПУНКТАХ РОССИИ И КАЗАХСТАНА
Потоцкая И.В., Шаманин В.П., Моргунов А.И. 86

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ВЫРУБКАХ В РАЙОНЕ СРЕДНЕГО ПРИАНГАРЬЯ
Рунова Е.М., Соловьёва А.А. 92

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ БИОТОПОВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Севрюгова Ю.Б., Мельничук И.А. *98*

Науки о Земле (25.00.00)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И АРХИТЕКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРСЕПТРОНОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ ОЗЕР
Баклагин В.Н. *106*

ЧЕТНЫЕ ИЗОТОПЫ УРАНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГРУППЫ МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С. *114*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ПУТЕМ ВЫМЫВАНИЯ И СУХОГО ОСАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ
Керимов А.М., Татаренко Н.В., Татаренко З.М., Курашева О.А. *121*

ПРОЦЕСС УРБАНИЗАЦИИ БЕРЕГОВЫХ ПРОСТРАНСТВ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ)
Королева И.С., Королев А.С. *127*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ
Малкова М.А., Кантор Е.А., Вождаева М.Ю. *133*

ПРОЯВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В СТРУКТУРЕ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДКОВ СРЕДНЕГО КАСПИЯ
Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Зеленин Е.А. *139*

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПАЛЛАДИЯ В SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI, LAMIACEAE
Пшеничкина Ю.А., Пшеничкин А.Я. *145*

КРИТЕРИИ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КАМЧАТКИ
Рогатых С.В., Мурадов С.В. *150*

КОНТРОЛЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
Степанова Н.Е. *155*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕНОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ АТРИБУТОВ
Феоктистова О.В. *160*

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ
Фролов А.А. *167*

К ВОПРОСУ О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РЕЗЕРВУАРАХ
Шайхутдинова М.Ш., Дудников Ю.В., Ямалетдинова К.Ш., Гоц С.С. *172*

Научный обзор

Науки о Земле

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ И ПРОБЛЕМАХ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ
Родионова И.А., Шувалова О.В. *176*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
Ростом Г.Р. *184*

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

POSSIBILITY OF FORMATION OF COMPLEX COMPOUNDS
OF 1,4-PHENYLENE-BIS-DYANTIPYRILMETHANE WITH CATIONS OF SOME D-METALS
Abramova V.V., Peshkov S.A., Stroganova E.A., Dubskikh V.A., Chigrineva N.A. 7

APPLICATION OF A METHOD OF VISUALIZING THE TWO-LIQUID STRUCTURE
OF QUANTUM LIQUIDS IN OXID MELTS TO RO, R_3O_4-B_2O_3 SYSTEMS
Borisov A.F., Zabelin V.A. 12

PRODUCTION OF SOLUBLE MODIFICATION OF KERATIN
FROM PROTEIN-CONTAINING ANIMAL WASTES
Bortnikov S.V., Gorenkova G.A. 17

DEFINITION OF DIFFUSION COEFFICIENTS AND DIMENSIONS OF PARTICLES
IN RESTORED DAIRY MIXTURES
Ermishina E.Yu., Belokonova N.A., Naronova N.A., Borodulina T.V. 23

METHOD OF QUANTITATIVE ANALYSIS OF BINUCLEAR COMPLEXES
OF PLATINUM (II) AND PALLADIUM (II)
Salishcheva O.V., Moldagulova N.E. 29

THE SYNTHESIS AND CATALYTIC PROPERTIES OF THE NANOSIZED ZINC FERRITE
Semchenko V.V., Shabelskaya N.P., Kuzmina Ya.A. 36

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

WINTER WHEAT YIELD IN CROP ROTATION IN CONNECTION WITH DISTANCE
OF FOREST SHELTERBELT AND BASIC TILLAGE SOIL TECHNIQUE AND FERTILIZERS
Azizov Z.M. 42

ASPECTS OF AGRICULTURAL CROPS CULTIVATING IN THE MIDDLE VOLGA REGION
Goryanin O.I., Goryanina T.A. 49

DETERMINATION OF THE SANITARY STATE OF FOREST STANDS
Zalesov S.V., Vedernikov E.A., Zalesova E.S., Ivanchina L.A., Efa D.E. 54

BASES FOR APPLICATION OF CONTINUOUS-TYPE MACHINES
FOR EXECUTION OF SILVICULTURAL AND REFORESTATION WORKS
Ivashnev M.V., Gavrilova O.I. 62

OUTCOMES OF THE EXPERIMENT ON USING STIMULANTS AND COVERING
MATERIAL FOR GROWING SEEDLINGS OF SILVER BIRCH (BETULA PENDULA ROTH)
Kabanova S.A., Danchenko M.A. 67

FORMATION OF TRANSITIONAL TYPES OF THE SPRUSE-CEDAR FORESTS
AT THE BORDER BETWEEN FORMATIONS OF CEDAR-BROAD-LEAVED
FORESTS AND FIR-SPRUCE ONE IN PRIMORSKY KRAI
Mayorova L.A., Petropavlovskiy B.S. 72

TECHNIQUE FOR PROCESSING DATA OF EARTH REMOTE SENSING
WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND ALLOMETRIC
CORRELATIONS FOR DEFINITION OF FOREST STANDS INDICATORS
Mikhaylova A.A., Vagizov M.R. 80

YIELD EVALUATION OF SPRING BREAD WHEAT VARIETIES
OF NETWORK KASIB UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL
POINTS OF RUSSIA AND KAZAKHSTAN
Pototskaya I.V., Shamanin V.P., Morgunov A.I. 86

SPECIAL FEATURES OF THE UNDERGROWTH FORMATION
ON THE LOGGING TERRITORIES OF PINE FORESTS ADJACENT
TO THE MIDDLE ANGARA REGION
Runova E.M., Soloveva A.A. 92

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR INTEGRATED ANALYSIS
OF HABITAT CONNECTIVITY IN URBAN ENVIRONMENT
USING THE EXAMPLE OF ST. PETERSBURG
Sevryugova Yu.B., Melnichuk I.A. 98

Earth sciences (25.00.00)

SELECTION OF PARAMETERS AND ARCHITECTURE OF MULTILAYER
PERCEPTRONS FOR PREDICTING ICE COVERAGE OF LAKES
Baklagin V.N. 106

EVOLUTIONARY ISOTOPES OF URANIUM IN SURFACE WATERS OF THE GROUP
OF SMALL LAKES OF THE NORTHWEST OF THE ARKHANGELSK REGION
Zykova E.N., Zykov S.B., Yakovlev E.Yu., Larionov N.S. 114

FEATURES RECEIPT OF AEROSOL PARTICLES IN SNOW COVER THROUGH
LEACHING AND DRY DEPOSITION IN HIGH ALTITUDE CONDITIONS
Kerimov A.M., Tatarenko N.V., Tatarenko Z.M., Kurasheva O.A. 121

PROCESS OF URBANIZATION OF COASTAL SPACES OF THE MODERN CITY
(ON THE EXAMPLE OF BELGOROD CITY AGGLOMERATION)
Koroleva I.S., Korolev A.S. 127

THE PREDICTION OF TRIHALOMETHANE'S CONCENTRATION
IN DRINKING WATER
Malkova M.A., Kantor E.A., Vozhdaeva M.Yu. 133

SIGNS OF MODERN TECTONIC EVENTS IN LATE-QUATERNARY
SEDIMENTS OF MIDDLE CASPIAN
Putans V.A., Merklin L.R., Zelenin E.A. 139

THE STUDY OF THE CONTENT OF PALLADIUM
IN SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI, LAMIACEAE
Pshenichkina Yu.A., Pshenichkin A.Ya. 145

CRITERIA FOR DESIGNATING AND EVALUATING THERMOMINERAL
WATERS OF KAMCHATKA
Rogatykh S.V., Muradov S.V. 150

MONITORING AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT DISTURBED SOILS
OF THE VOLGOGRAD REGION
Stepanova N.E. 155

THE DEFINITION OF CLASSES OF POTENTIAL PRODUCTIVITY
SENENSKY SEDIMENTS BASED ON CORELATION OF SEISMIC ATTRIBUTES
FOR CONDITIONS OF WEST SIBERIAN NORTH
Feoktistova O.V. 160

GIS-MAPPING IN THE STUDY OF LANDSCAPE CHANGEABLENESS
Frolov A.A. 167

TO THE QUASTION ABOUT PREVENTION FORMING AND ACCUMULATION
BOTTOM SEDIMENTS IN OIL STORAGES
Shaykhutdinova M.Sh., Dydnikov Yu.V., Yamaletdinova K.Sh., Gots S.S. 172

Scientific review

Earth sciences

THE EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY SUPPORT POLICIES IN RUSSIA
Rodionova I.A., Shuvalova O.V. 176

EVALUATION OF POSSIBLE CLIMATE CHANGE SCENARIOS
Rostom G.R. 184

УДК 544.1:544-971

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 1,4-ФЕНИЛЕН-БИС-ДИАНТИПИРИЛМЕТАНА С КАТИОНАМИ НЕКОТОРЫХ D-МЕТАЛЛОВ

Абрамова В.В., Пешков С.А., Строганова Е.А., Дубских В.А., Чигринева Н.А.

Оренбургский государственный университет, Оренбург, e-mail: ondevil1996@gmail.com

В данной статье рассматривается возможность и путь образования устойчивых комплексов с катионами некоторых d-металлов нового производного антипирина – 1,4-фенилен-бис-диантипирилметана. Данное вещество было получено авторами ранее, и его структура была установлена такими методами, как масс-спектрометрия и ЯМР ^{1}H, ^{13}C. Целью настоящей работы явилось исследование возможности взаимодействия 1,4-фенилен-бис-диантипирилметана с катионами d-металлов путем определения стабильности комплексов с помощью квантово-химического моделирования. С помощью метода Хартри – Фока в приближении HF/6-311G, с учетом континуальной модели PCM-C, теоретически был определен реакционный центр молекулы, смоделированы геометрические структуры комплексов и рассчитана их устойчивость на основании величины полной энергии системы ΔE. Масштабирующий коэффициент в данной статье не применялся. Выявлено направление ориентации катионов d-металлов по атомам кислорода карбонильных групп в пространстве между гетероциклическими фрагментами молекулы, расположенными в одной полуплоскости. Определено, что реакции присоединения с участием атомов азота пиразольных колец маловероятны из-за стерического фактора (пространственного расположения частей молекулы). Квантовохимически обосновано, что наиболее стабильное соединение с 1,4-фенилен-бис-диантипирилметаном формирует катион Cu^{2+}, при этом устойчивость комплексов падает в ряду: Cu^{2+}>Zn^{2+}>Ni^{2+}>Co^{2+}>Ge^{4+}. Поскольку зависимости устойчивости комплексов от ионных радиусов элементов не наблюдается, можно сделать вывод, что подобное распределение связано с увеличением плотности сольватной оболочки, снижающей жесткость ионов металлов – кислот Льюиса, что, согласно теории жестких и мягких кислот и оснований Льюиса – Пирсона, уменьшает вероятность образования стабильного продукта с кислород-центрированным жестким основанием.

Ключевые слова: антипирин, диантипирилметан, переходные элементы, d-металлы, структура, электронная плотность

POSSIBILITY OF FORMATION OF COMPLEX COMPOUNDS OF 1,4-PHENYLENE-BIS-DYANTIPYRILMETHANE WITH CATIONS OF SOME D-METALS

Abramova V.V., Peshkov S.A., Stroganova E.A., Dubskikh V.A., Chigrineva N.A.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ondevil1996@gmail.com

In this paper, the possibility and the way of formation of stable complexes with cations of some d-metals of a new derivative of the antipyrine, 1,4-phenylene-bis-diantipyrylmethane, is considered. This substance was previously obtained by the authors, and its structure was established by methods such as mass spectrometry and 1H, 13C NMR. The aim of this work was to investigate the possibility of interaction of 1,4-phenylene-bis-diantipyrylmethane with cations of d-metals by determining the stability of complexes by means of quantum-chemical modeling. Using the Hartree-Fock method in the HF / 6-311G approximation, taking into account the continual model of PCM-C, the reaction center of the molecule was theoretically determined, the geometric structures of the complexes were modeled and their stability was calculated on the basis of the total energy of the system ΔE. The scaling factor in this article was not applied. The direction of orientation of cations of d-metals on oxygen atoms of carbonyl groups in the space between heterocyclic fragments of the molecule located in one half-plane is revealed. It was determined that the addition reactions involving nitrogen atoms of pyrazole rings are unlikely because of the steric factor (the spatial arrangement of the parts of the molecule). It is quantum-chemically justified that the most stable compound with 1,4-phenylene-bis-diantipyrylmethane forms a Cu2 + cation, while the stability of the complexes falls in the series: Cu2 +> Zn2 +> Ni2 +> Co2 +> Ge4 +. Since the dependence of the stability of the complexes on the ionic radii of the elements is not observed, it can be concluded that this distribution is associated with an increase in the density of the solvate shell, which reduces the stiffness of metal ions-Lewis acids, which, according to the theory of hard and soft acids and Lewis-Pearson bases, A stable product with an oxygen-centered hard base.

Keywords: antipyrine, diantipyrylmethane, transition elements, d-metals, structure, electron density

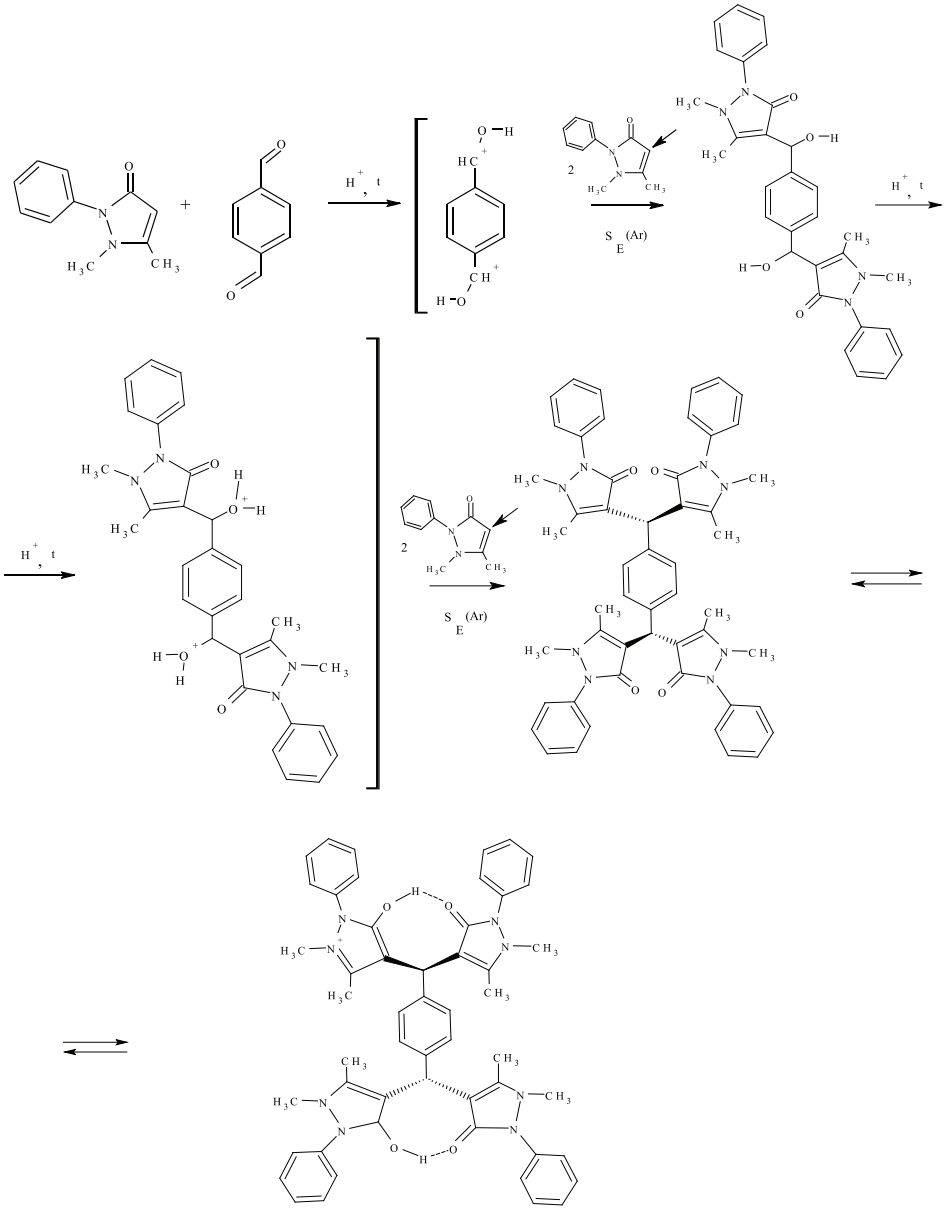
В современной химии всё чаще говорят о комплексных соединениях, поскольку они обладают специфическими свойствами (например, могут являться адсорбентами или «транспортом» для ферментов), что даёт широкие возможности как практического, так и теоретического характера. КС способны образовывать как металлы, так и неметаллы. Особый интерес в настоящее время представляют комплексные соединения металлов с различными органическими лигандами. Ранее был осуществлён синтез 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана при участии терефталевого альдегида по реакции электрофильного замещения в ароматическое кольцо гетероцикла антипирина согласно схеме 1. Структура продукта синтеза была установлена ме-

тодами масс-спектрометрии и ЯМР ^{1}H, ^{13}C-спектроскопии [1]. Диантипирилметан и его производные являются одними из примеров, широко применяемых в аналитической химии комплексообразователей [2].

Так, диантипирилметан и его алифатические производные применяют в роли сорбентов, катализаторов и экстрагентов, в фотометрическом и гравиметрическом анализах [3, 4]. Эти данные позволяют предполагать высокую комплексообразующую способность нового, полученного нами производного – 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана. В связи с этим целью настоящей работы явилось исследование возможности взаимодействия 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана с катионами d-металлов путем определения стабильности гипотетических комплексов с помощью квантово-химических расчетов.

Материалы и методы исследования

Оптимизацию геометрических параметров комплексов с катионами металлов производили в приближении HF/6-311G, на функциях ограниченного метода Хартри – Фока с открытой оболочкой. Для начала были построены и рассчитаны модели в газовой фазе, а затем с учетом влияния растворителя (этилового спирта), которое учитывали с помощью континуальной модели PCM-C.



Реакция электрофильного замещения в гетероциклическое кольцо антипириналигандами

Результаты исследования и их обсуждение

Первоначальной и самой важной задачей являлось правильное построение молекулы и её оптимизация. Пространственное расположение фрагментов органической молекулы в некоторых случаях может оказывать сильное воздействие на распределение электронной плотности внутри структуры [3–5].

На рис. 1 приведена оптимизированная квантово-химическая модель 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана, на основании которой далее производили расчет взаимодействия с катионами металлов. Предполагая, что «центральный» цикл не будет оказывать существенного влияния на комплексообразование (из-за размеров самой молекулы), моделирование реакции с металлами осуществляли только при участии электронно-акцепторной части молекулы – диантипирилметанового фрагмента, приведенного на рис. 2 [3, 6].

Для определения реакционного центра органической молекулы методом Хартри – Фока с открытой оболочкой HF/6-311G рассчитали распределение электронной плотности и электростатического потенциала (рис. 3) [6, 7]. Далее, к оптимизированному фрагменту последовательно присоединяли катионы переходных d-металлов. Устойчивость комплексов определяли по разности энергий образования комплексов и исходного фрагмента молекулы. Чем большие значения ΔE соответствуют комплексу с металлом, тем сильнее связывается металл с 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметаном.

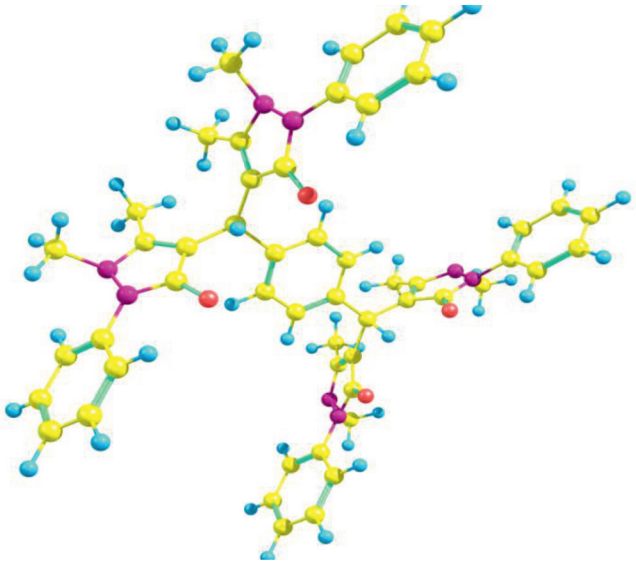


Рис. 1. Геометрическое строение оптимизированной структуры ароматической модификации 1,4-фенилен-бис-диантипирилметана

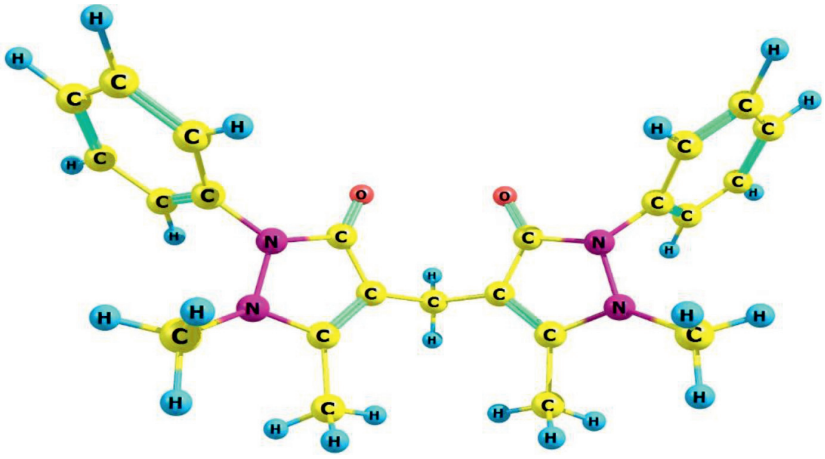


Рис. 2. Геометрическое строение диантипилиметанового фрагмента 1,4-фенилен-бис-диантипирилметана

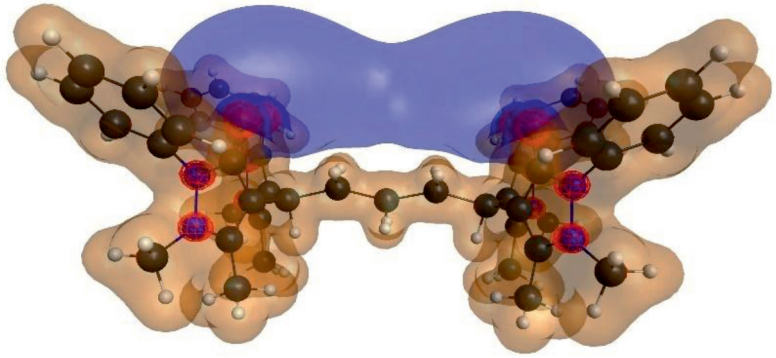


Рис. 3. 3D модель распределения электронной плотности и электростатического потенциала. Синим цветом обозначена локализация отрицательного электростатического потенциала, коричневым – положительного заряда, красной «сеткой» отмечена электронная плотность

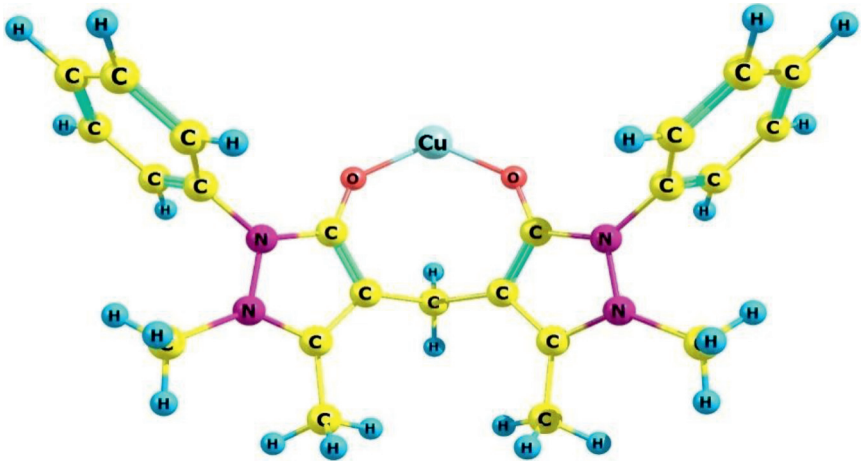


Рис. 4. Геометрическое строение оптимизируемого с металлами фрагмента

Энергии образования комплексов 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана с катионами металлов

Металл	Ge Z = 32	Co Z = 27	Ni Z = 28	Zn Z = 30	Cu Z = 29
Ионный радиус, нм	0,073	0,074	0,069	0,074	0,073
E^0, хартри	–3310,689	–2620,079	–2744,902	–3014,482	–2876,295
ΔE, кДж/моль	–531,891	–595,462	–619,646	–681,167	–716,274

Таким образом, наибольшая электронная плотность сконцентрирована на атомах азота и кислорода, но при этом отрицательный потенциал локализован на кислородных центрах. Следовательно, реакционным центром молекулы при взаимодействии с катионами металлов или электроноакцепторными частицами следует ожидать атомы кислорода. Причем, учитывая локализацию электростатического потенциала, катионы металлов будут устремляться в молекулярное пространство между карбонильными группами гетероциклов, ориентированных в одной полуплоскости [7, 8]. Что касается азота, то даже при наличии донорных групп и участия в мезомерном эффекте (положительный МФ), реакции присоединения с его участием произойти не могут из-за стерического фактора. Остальная же часть молекулы покрыта положительным электростатическим потенциалом, что определяет возможность хорошего сольватирования молекулами полярных протонных и апротонных растворителей.

Согласно результатам расчета, представленным в таблице, можно сделать вывод, что в целом все значения ΔE для изученных металлов достаточно велики, что определяет высокую вероятность формирования устойчивых комплексов катионов изученных металлов с 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметаном [9, 10]. Однако, наиболее стабильное соединение с 1,4-фениленбис-диантипирилметаном формирует катион Cu^{2+}(рис. 4). Следовательно, из растворов сложного состава с наибольшим коэффициентом распределения должна извлекаться медь. Лиотропный ряд ионов металлов согласно значениям ΔE выглядит следующим образом: $Cu^{2+}>Zn^{2+}>Ni^{2+}>Co^{2+}>Ge^{4+}$(в сравнении с р-элементом – германием). Зависимости устойчивости комплексов от ионных радиусов элементов не наблюдается, так как для всех катионов металлов характерно примерно одинаковое расстояние до реакционного центра молекулы [11, 12]. Очевидно, подобное распределение связано с увеличением плотности сольватной оболочки, снижающей жесткость ионов металлов – кислот Льюиса, что, согласно теории жестких и мягких кислот и оснований Льюиса – Пирсона, уменьшает вероятность образования стабильного продукта с кислород-центрированным жестким основанием [11, 13].

Выводы

1. Методом Хартри – Фока с открытой оболочкой HF/6-311G в программе Firefly (ранее известна как PC GAMESS) смоделировано распределение электронной плотности и установлены электронодонорные реакционные центры молекулы 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана.

2. Определено, что реакции присоединения с участием атомов азота пиразольных колец маловероятны из-за стерического фактора, и катионы металлов будут устремляться к атомам кислорода в молекулярное пространство между карбонильными группами гетероциклов, ориентированных в одной полуплоскости.

3. Рассчитаны энергии образования комплексов 1,4-фенилен-*бис*-диантипирилметана с катионами d-металлов, на основании которых составлен ряд устойчивости комплексов ($Cu^{2+}>Zn^{2+}>Ni^{2+}>Co^{2+}>Ge^{4+}$).

Список литературы

1. Строганова Е.А. Синтез и исследование структуры функционального производного 4,4-метиленбис(1,2-дигидро-1,5-диметил-2-фенил-3-пиразолона) / Е.А. Строганова, В.Е. Улядарова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10(185). – С. 316–319.

2. Диантипирилметан и его гомологи как аналитические реагнеты / под ред. С.И. Гусева. – Пермь: Перм. ун-т, 1974. –278 с.

3. Дегтев М.И. Физико-химические свойства антипирина и его производных: монография / М.И. Дегтев, Е.Н. Аликина. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 2009. – 173 с.

4. Кипер Р.А. Физико-химические свойства веществ: справочник по химии / Р.А. Кипер. – Хабаровск, 2013. – 1016 с.

5. Иванов В.Г. Органическая химия: учеб. пособие для вузов / В.Г. Иванов, В.А. Горденко, О.Н. Гева. – 5-е изд., стер. – М.: Академия, 2009. – 624 с.

6. Справочник по химии: основные понятия, термины, законы, схемы, формулы, справочный материал, графики: учебное пособие / Л.Н. Блинов [и др.]; С.-Петерб. гос. политехн. ун-т. – Москва: Проспект, 2015. – 154 с.

7. Глинка Н.Л. Общая химия: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Глинка. – М.: КноРус, 2009. – 746 с.

8. Цирельсон В.Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела: учебное пособие / В.Г. Цирельсон. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 495 с.

9. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения: учебник для бакалавров / В.В. Киреев. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 602 с.

10. Кнунянц И.Л. Химическая энциклопедия т. 1 / И.Л. Кнунянц. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 623 с.

11. Pearson R.G., Songstad J. Application of the Principle of Hard and Soft Acids and Bases to Organic Chemistry. JACS. – 1967. – vol.89, no.8. – P. 1827–1836.

12. Кнунянц И.Л. Электронная химическая энциклопедия / И.Л. Кнунянц [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/default.shtm (дата обращения: 30.01.2018).

13. Pearson R.G. Hard and Soft Acids and Bases. JACS. – 1963. – vol.85, no. 22. – P. 3533–3539.

References

1. Stroganova E.A., Ulyadarova V.E. Sintez i issledovanie struktury funktsionalnogo proizvodnogo 4,4-metilen-bis-(1,2-digidro-1,5-dimetil-2-fenil-3-pirazolona) [Synthesis and research of structure of new functional com-pound based on 4,4-metilen-bis-(1,2-dihidro-1,5-dimethyl-2-phenil-3-pirazolone)]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015, no. 10, pp. 316–319.

2. Guseva S.I. Diantipirilmetan i ego gomologi kak analiticheskie reagnety [Diantipyrylmethane and its homologues as analytical reagents]. Perm, Permskii universitet, 1974. 278 p.

3. Degtev M.I., Alikina E.N. Fiziko-khimicheskie svoistva antipirina i ego proizvodnykh [Physicochemical Properties of Antipyrine and Its Derivatives]. Perm, Permskii Gosudarstvennyi Universitet, 2009. 173 p.

4. Kiper R.A. Fiziko-khimicheskie svoistva veshchestv [Physicochemical Properties of Substances]. Khabarovsk, 2013. 1016 p.

5. Ivanov V.G., Gordenko V.A., Geva O.N. Organicheskaia khimiia [Organic Chemistry]. Moscow, Akademiia, 2009. 624 p.

6. Blinov L.N. Spravochnik po khimii [Handbook of Chemistry]. Moscow, Prospekt, 2015. 154 p.

7. Glinka N.L. Obshchaia khimiia [General chemistry]. Moscow, KnoRus, 2009. 746 p.

8. Tsirelson V. G. Kvantovaia khimiia. Molekuly, molekuliarnye sistemy i tverdye tela [Quantum Chemistry. Molecules, molecular systems and solids]. Moscow, BINOM. Laboratoriia znanii, 2010. 495 p.

9. Kireev V.V. Vysokomolekuliarnye soedineniia [Highmolecular compounds]. Moscow, Iurait, 2013, 602 p.

10. Knuniants I. L Khimicheskaia entsiklopediia [Chemical Encyclopedia]. Moscow, Sovetskaia entsiklopediia, 1988, vol. 1. 623 p.

11. Pearson R.G. Songstad J. Application of the Principle of Hard and Soft Acids and Bases to Organic Chemistry. JACS, 1967, vol.89, no.8, pp. 1827–1836.

12. Knuniants I.L. Elektronnaia khimicheskaia entsiklopediia [Electronic Chemical Encyclopedia]. Available at: http://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/default.shtm (accessed 30.01.2018).

13. Pearson R.G. Hard and Soft Acids and Bases. JACS, 1963, vol. 85, no. 22, pp. 3533–3539.

УДК 54.06:538.94

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВУХЖИДКОСТНОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ОКСИДНЫХ РАСПЛАВАХ К СИСТЕМАМ RO, R_3O_4-B_2O_3

Борисов А.Ф., Забелин В.А.

ГОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», Нижний Новгород, e-mail: zabelin88@bk.ru

В данной статье приводится способ визуализации, подтверждающий образование двухжидкостной структуры в борных сверхтекучих расплавах. Оксидный расплав получают путем плавления тонкодисперсного порошка B_2O_3 с добавками BaO или Co_3O_4 в соотношении: расплав 1 BaO – 1,0% ; B_2O_3 – 99.0% мол.; расплав 2 Co_3O_4 – 1,0% ; B_2O_3 – 99,0% мол. Расплав 1 или расплав 2 помещаются в платиновую ячейку. После выдержки при определенной температуре исходный расплав самопроизвольно разделяется на сверхтекучую часть (расплав B_2O_3), находящуюся в одной емкости, и нормальную жидкость, находящуюся в другой емкости. Расплавы резко отличаются по своим физико-химическим свойствам. Сверхтекучая часть представляет собой прозрачный расплав оксида бора, в то время как исходный расплав 1 с добавкой оксида бария приобретает молочно–белый цвет, обусловленный микроликвацией (заглушенное стекло). При этом следует отметить, что в малом тигле образуется хорошо видимое невооруженным глазом полупрозрачное колечко, толщиной 3 мм. Данное явление связано с внедрением в сверхтекучую жидкость (инжектируемых) ионов, а квантовые вихри, имеющие форму кольца, формируют наблюдаемое в борно-бариевой сверхтекучей части полупрозрачное колечко. В целом оптический эффект связан с проявлением квантовых свойств сверхтекучих борных оксидных расплавов. В расплаве 2, с цветным индикатором, протекают аналогичные процессы при перетекании сверхтекучей части. Нормальная часть расплава сохраняет интенсивную сине-фиолетовую окраску, тогда как сверхтекучая часть полностью обесцвечивается. Можно предполагать, что процессы, протекающие в сверхтекучих жидкостях, в частности образование в них двухжидкостной структуры, отличают их от термомеханических процессов, протекающих в нормальных жидкостях. Наблюдаемые впервые процессы дифференциации двухжидкостного расплава протекают на молекулярном уровне.

Ключевые слова: двухжидкостная структура, сверхтекучая жидкость, квантовая жидкость, нулевые значения энтропии, платиновая ячейка

APPLICATION OF A METHOD OF VISUALIZING THE TWO-LIQUID STRUCTURE OF QUANTUM LIQUIDS IN OXID MELTS TO RO, R_3O_4-B_2O_3 SYSTEMS

Borisov A.F., Zabelin V.A.

The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, e-mail: zabelin88@bk.ru

In this paper, we present a method of visualization that confirms the formation of a two-fluid structure in boron superfluid melts. The oxide melt is obtained by melting fine powder B_2O3 with BaO or Co_3O_4 in the ratio: melt 1 BaO-1.0%; B_2O_3-99.0% mole; melt 2 Co_3O_4-1.0%; B_2O_3-99.0 mol%. The melt 1 or melt 2 is placed in a platinum cell. After aging at a certain temperature, the original melt is spontaneously divided into a superfluid part (melt B_2O_3) contained in one vessel and a normal liquid in another container. Melts differ sharply in their physicochemical properties. The superfluid part is a transparent melt of boron oxide, while the initial melt 1 with the addition of barium oxide acquires a milky white color due to micro-wicking (stubby glass). It should be noted that in the small crucible a translucent ring is visible to the naked eye, 3mm thick. This phenomenon is associated with the introduction of ions into the superfluid liquid (injected), and quantum vortices having the shape of a ring form a semitransparent ring observed in the boron-barium superfluid part. On the whole, the optical effect is associated with the manifestation of the quantum properties of superfluid boron oxide melts. In the melt 2, with a color indicator, similar processes occur during the flow of the superfluid part. The normal part of the melt retains an intense blue-violet color, while the superfluid part completely discolores. It can be assumed that the processes taking place in superfluid liquids, in particular, the formation of a two-fluid structure in them, distinguishes them from thermomechanical processes occurring in normal liquids. The processes of differentiation of the two-fluid melt observed for the first time occur at the molecular level.

Keywords: two-fluid structure, superfluid liquid, quantum liquid, zero values of entropy, the platinum cell

Сверхтекучесть жидкого гелия была открыта в 1938 г. П.Л. Капицей [1].

За объяснение явления сверхтекучести в 1962 г. Лев Давидович Ландау был удостоен Нобелевской премии по физике [2].

Двухжидкостная структура (далее ДС) была открыта Л.Д. Ландау [3] и рассматривается как один из дополнительных признаков сверхтекучести жидкости.

Визуализация ДС была разработана применительно к борным оксидным расплавам, содержащим небольшие примеси до 1% мол. различных металлсодержащих добавок, и является новым физико-химче-

ским методом идентификации признаков, характерных для сверхтекучих жидкостей.

Ранее полученные результаты по исследованию квантовых свойств в борных оксидных расплавах

В результате комплексного изучения физико-химических свойств борных оксидных расплавов в настоящее время установлены такие признаки сверхтекучести:

1. Нулевые значения изменения энтропии [4]. Согласно принципу Больцмана энтропия зависит от количества микросостояний в системе. Чем больше микросостояний, тем выше энтропия расплава. Системы с малым числом микросостояний – это системы, имеющие очень малую возможность конфигурирования, тогда как обладающие большим числом микросостояний – это системы, имеющие множество различных состояний. Энтропию в данном случае следует понимать как меру беспорядка. Можно говорить о том, что снижение количества микросостояний в системе ведёт к снижению энтропии. Отсюда следует вывод о том, что чем более упорядочена система, тем ниже у неё энтропия, то есть при $\Omega \rightarrow 0$, $\Delta S \rightarrow 0$.

Проявление квантовых свойств возможно только в упорядоченных системах с минимальным числом микросостояний.

2. Перетекание сверхтекучего расплава в виде тончайшего поверхностного слоя.

3. Высокая склонность борных расплавов к формированию центральных квантовых воронок [4].

Рассматривая полученный к настоящему времени экспериментальный материал, можно отметить следующие особенности в части идентификации сверхтекучей компоненты квантовой жидкости.

Прежде всего, необходимо отметить, что в борных оксидных расплавах чистый компонент оксид бора в жидком состоянии при определенных параметрах состояния является носителем квантовых свойств и сверхтекучей жидкостью [4].

Анализ систем $B_2O_3 – R_2O$ (где R_2O – оксид металла) – B_2O_3 [4] позволяет установить следующие положения, которые, очевидно, являются общими:

1. При изучении количественного соотношения B_3:B_4 (где B_3 и B_4 – атомы бора с тройной и четверной координацией соответственно) при комнатной температуре приближается к 1, а количество четырехкоординированного бора составляет менее одного процента.

2. С увеличением температуры доля B_3 еще более возрастает, а доля B_4 уменьшается, и при температуре 950–1000 °С по данным термоэлектрических исследований доля B_4 составляет десятые доли процента и менее.

3. При добавлении к чистому B_2O_3 щелочных компонентов концентрация трехкоординированного бора уменьшается (рис. 1, 2), а концентрация четырехкоординированного бора возрастает.

4. В зависимости от концентрации в расплаве B_3 сверхтекучие свойства расплава проявляются или исчезают.

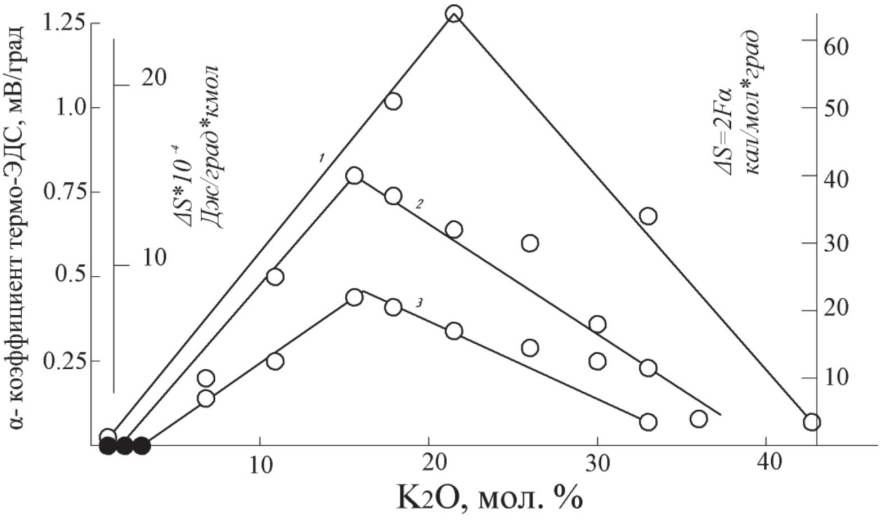


Рис. 1. Диаграмма «ΔS, $\alpha^T_{общ}$ – состав» системы K_2O-B_2O_3 при температуре: 1 – 680 °С, 2 – 730 °С, 3 – 900 °С, ● – по данным перетекания

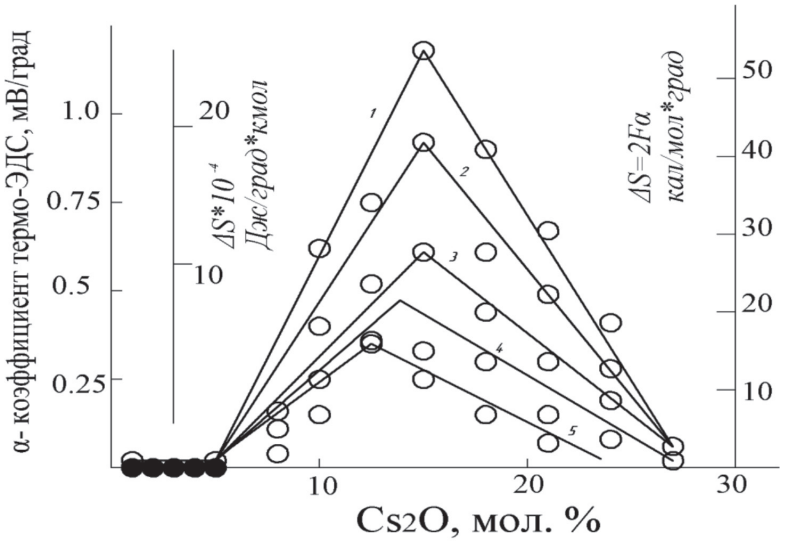


Рис. 2. Диаграмма «ΔS, $\alpha^{T}_{общ}$ – состав» системы Cs_2O-B_2O_3 при температуре: 1 – 690 °C, 2 – 725 °C, 3 – 780 °C, 4 – 840 °C, 5 – 950 °C, ● – по данным перетекания

5. Сверхтекучестью, а следовательно и квантовыми свойствами обладают только расплавы с преобладающим содержанием B_3. Сверхтекучие расплавы по результатам перетекания приведены в таблице.

Сверхтекучие расплавы

Система	Наличие сверхтекучести
1 % K_2O – 99 % B_2O_3	+
2 % K_2O – 98 % B_2O_3	+
3 % K_2O – 97 % B_2O_3	+
1 % Cs_2O – B_2O_3	+
2 % Cs_2O – 98 % B_2O_3	+
3 % Cs_2O – 97 % B_2O_3	+
4 % Cs_2O – 96 % B_2O_3	+
5 % Cs_2O – 95 % B_2O_3	+
100 % B_2O_3	+
1 % BaO – 99 % B_2O_3	+
1 % Co_3O_4 – 99 % B_2O_3	+

6. Полученные результаты дают основание предполагать, что в бинарных системах типа R_2O – B_2O_3 состав компоненты перетекающей жидкости представляет собой сверхтекучий B_2O_3.

Методика и результаты исследований двухжидкостной структуры борных оксидных расплавов

Оксидный расплав получают путем плавления тонкодисперсного порошка B_2O_3 и допирующих добавок BaO или Co_3O_4 в соотношении

B_2O_3 – 99,0 мол. %

Оксид металла (далее МО) – 1,0 мол. %.

В исследованиях использовались два различных по составу расплава.

1. B_2O_3 – 99,0 % : BaO – 1,0 % мол.

2. B_2O_3 – 99,0 % : Co_3O_4 – 1,0 % мол.

На диаграмме состояния [5] (рис. 3) состав 1 находится в крайней точке области ликвации. При варке стекла было установлено, что борно-бариевый расплав 1, оставаясь прозрачным при температуре выше 800 °C, при охлаждении подвергается микроликвации и приобретает равномерный заглушенный молочно-белый цвет. Это свойство и использовалось для визуализации двухжидкостной структуры расплава.

Методика эксперимента следующая: исследуемый расплав наплавляется в платиновой емкости и устанавливается в шахтную печь, нагретую до температуры 950 °C. Расплав выдерживается в печи до полного удаления пузырьков воздуха, после чего выливается на чистую и ровную поверхность и подвергается быстрому охлаждению. Полученный затвердевший расплав разбивается на мелкие части и загружается в ячейку (рис. 4). Ячейка состоит из двух тиглей, вставленных один в другой (диаметр дна малого тигля 13 мм, верхнего обода – 18 мм; диаметр дна большого тигля 20 мм, диаметр верхнего обода – 32 мм). Положение малого тигля фиксируется платиновой

проволокой, во избежание его всплытия во время проведения опыта. Далее происходит постепенное наплавление исследуемого состава в ячейку до тех пор, пока объем расплава в большом тигле не достигает верхнего уровня малого тигля. Платиновая ячейка сверху накрывается крышкой. Подготовленная ячейка с помощью корзины опускается в трубчатую печь. При проведении эксперимента не допускается касания платиновой ячейкой стенок печи во избежание влияния блуждающих токов на результаты опыта. Исследуемый расплав выдерживается в печи от 30 минут. После охлаждения в ячейке наблюдаются следующие изменения. Исследуемый расплав в большом тигле приобретает молочно-белый оттенок, при этом перетекший расплав в малом платиновом тигле остается полностью прозрачным (рис. 4). Можно сделать вывод о том, что в малом тигле расплав представляет собой оксид бора.

Следует отметить одну интересную деталь. В малом тигле в сверхтекучей части стекла образуется хорошо видимое невооруженным глазом полупрозрачное колечко, толщиной 3 мм. Сопоставление наблюдаемого явления с аналогичным, которое было выявлено в работе [4] при исследовании жидкого He II, позволяет установить природу этого эффекта. В данном случае оно связано с внедрением в сверхтекучую жидкость (инжектируемых) ионов, а квантовые вихри, имеющие форму кольца, формируют наблюдаемое в борно-бариевой сверхтекучей части полупрозрачное колечко толщиной 3 мм. В целом оптический эффект связан с проявлением квантовых свойств сверхтекучих борных оксидных расплавов.

Опыты проводились неоднократно и были получены абсолютно идентичные результаты:

– зафиксировано перетекание расплава из большого тигля в малый,

– в объеме перетекшего расплава наблюдается образование дымчатого правильного колечка толщиной 3 мм в каждом опыте. Колечко образуется самопроизвольно, без каких-либо дополнительных воздействий при охлаждении расплава. Совершенно очевидно, что его образование является результатом микроликвации небольшого участка (колечка) сверхтекучего расплава [6].

Для подтверждения процесса визуализации вторая серия опытов проводилась с расплавом оксида бора, окрашенного оксидом кобальта. С этой целью в расплав B_2O_3 вводился Co_3O_4 в количестве 1,0 % мол. Исходное борное стекло приобретало при этом интенсивную сине-фиолетовую окраску.

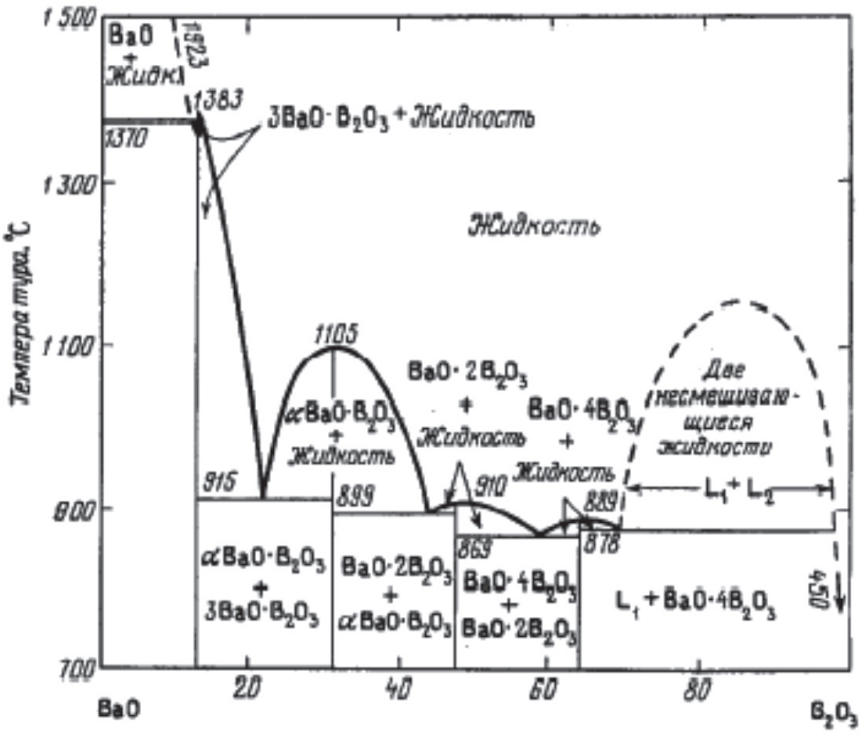


Рис. 3. Диаграмма состояния системы BaO-B_2O_3

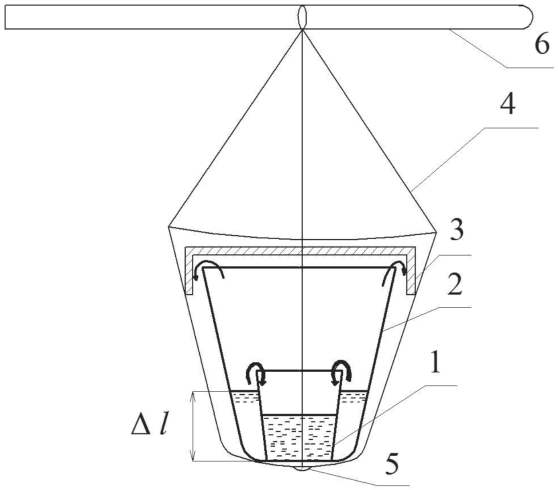


Рис. 4. Платиновая ячейка для исследования сверхтекучести оксидных расплавов, где: Δ l – начальная разность уровней расплава в большом и малом тигле; 1 – малый платиновый тигель; 2 – большой платиновый тигель; 3 – керамическая крышка; 4 – проволочная корзина; 5 – оксидный расплав; 6 – керамическая трубка

После проведения опыта по перетеканию окрашенного расплава по приведенной выше методике (температура эксперимента 1000 °С, выдержка 60 минут) в ячейке наблюдались следующие изменения. Из ячейки 2 (рис. 4), наполненной окрашенным стеклом, произошло перетекание сверхтекучей части расплава в малый тигель. Расплав в малом тигле потерял сине-фиолетовую окраску и оказался полностью прозрачным и бесцветным. Именно такой результат ожидался нами перед проведением опыта.

Все это говорит о воспроизводимости процесса перетекания и подтверждает теоретическую модель двухжидкостной структуры Л.Д. Ландау в борных расплавах.

Выводы

1. Разработана методика выявления двухжидкостной структуры методом визуализации.

2. Установлена двухжидкостная структура в борных расплавах с присутствием в ней части легко перетекающей жидкости.

3. Представленные нами результаты могут объясняться наличием признаков физико-химических свойств сверхтекучей жидкости.

Можно предполагать, что процессы, протекающие в сверхтекучих жидкостях, в частности образование в них двухжидкостной структуры, отличают их от термомеханических процессов, протекающих в нормальных жидкостях.

Наблюдаемые впервые процессы дифференциации двухжидкостного расплава протекают на молекулярном уровне.

Список литературы

1. Адибаев Б.М. Сверхтекучесть / Б.М. Адибаев, М. Талгаткызы, А. Султанова // Альманах мировой науки. – 2016. – № 7(10). – С. 11-12. DOI: 10.18534/amn.2016.07.

2. Васильев В.Б. Сверхпроводимость, сверхтекучесть и нулевые колебания / Б.В. Васильев. – М.: Книга по требованию, 2012. – 100 с.

3. Халатников И.М. Теория сверхтекучести / И.М. Халатников. – М.: Наука, 1971. – 320 с.

4. Борисов А.Ф. Новый класс макроскопических квантовых жидкостей на основе оксидных расплавов / А.Ф. Борисов, В.А. Забелин. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 88 с.

5. Диаграммы состояния силикатных систем: справочник, вып. 1. Двойные системы / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева. – М.; Л.: Наука, 1965. – 546 с.

6. Патент № 2570885. Способ визуализации двухжидкостной структуры квантовых жидкостей в оксидных расплавах / А.Ф. Борисов, В.А. Забелин. 2014116453/05; заявл. 23.04.2014; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

References

1. Adibaev B.M., Talgatkyzy M., Sultanova A. Sverkhtekuchest [Superfluidity]. Almanakh mirovoi nauki – Almanac of world science, 2016, no. 7(10), pp. 11-12. DOI: 10.18534/amn.2016.07.

2. Vasilev V.B. Sverkhprovodimost, sverkhtekuchest i nulevye kolebaniia [Superconductivity, superfluidity and zeropoint vibrations]. Moscow, Kniga po Trebovaniiu, 2012. 100 p.

3. Khalatnikov I.M. Teoriia sverkhtekuchesti [The Theory of Superfluidity]. Moscow, Nauka, 1971. 320 p.

4. Borisov A.F., Zabelin V.A. Novyi klass makroskopicheskikh kvantovykh zhidkostei na osnove oksidnykh rasplavov [A new class of macroscopic quantum liquids based on oxide melts]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2016. 88 p.

5. Toropov N.A., Barzakovskii V.P., Lapin V.V., Kurtseva N.N. Diagrammy sostoianiia silikatnykh sistem: spravochnik, vyp. 1. Dvoinye sistemy [Diagrams of the state of silicate systems: a handbook, vol. 1. Dual systems]. Moscow, Leningrad, Nauka, 1965. 546 p.

6. Patent № 2570885. Sposob vizualizacii dvuhzhidkostnoj struktury kvantovyh zhidkostej v oksidnyh rasplavah [The way of visualization of the two-fluid structure of quantum liquids in oxide melts] / A.F. Borisov, V.A. Zabelin. 2014116453/05; zajavl. 23.04.2014; opubl.10.12.2015, Bjul. № 34.

УДК 54.056:636

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОЙ МОДИФИКАЦИИ КЕРАТИНА ИЗ БЕЛОКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Бортников С.В., Горенкова Г.А.

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», Абакан, e-mail: svb@khsu.ru

На различных стадиях переработки продуктов животноводства около половины исходного сырья превращается в отходы. Это касается, в частности, белоксодержащих отходов животноводства (перо, шерсть), основу которых составляет уникальный по своему составу, структуре и свойствам фибриллярный белок кератин. Проблема перевода кератина в водорастворимое состояние ограничивает использование этих отходов в качестве вторичного сырья в различных отраслях хозяйства для получения ряда ценных продуктов и материалов. Известные методы переработки кератинсодержащего сырья основаны на разрыве связей, образующих структуру белка, в условиях кислотного, щелочного или ферментативного гидролиза с протеканием большого числа конкурирующих реакций и образованием смеси продуктов частичной и полной деструкции полипептида. Наиболее прочная связь, формирующая третичную структуру кератина (дисульфидная), может быть разорвана и в ходе окислительно-восстановительного процесса в относительно мягких условиях. Предлагаемый метод получения растворимой модификации кератина основан на взаимодействии белоксодержащих материалов (перо, шерсть) с агентами, обладающими окислительно-восстановительными свойствами: сульфидом натрия, сульфитом натрия и перекисью водорода. Переход кератина в раствор в разной степени происходит во всех модельных системах, при этом концентрация белка в растворе при использовании сульфида натрия возрастает быстрее и достигает большего значения, чем в случае с сульфитом натрия и перекисью водорода. Можно предположить, что в случае с сульфидом процесс ограничивается реакцией восстановления с образованием производных тиолов, а в случае с сульфитом и перекисью водорода процесс осложняется конкурирующей реакцией окисления с образованием конечных продуктов более сложного состава. Предлагаемая технология позволяет в мягких условиях, без деструкции белка и побочных процессов получить его водорастворимую форму.

Ключевые слова: кератин, белоксодержащие отходы животноводства, перо, шерсть, нативная структура белка, дисульфидные связи, окислительно-восстановительные реагенты, модификация

PRODUCTION OF SOLUBLE MODIFICATION OF KERATIN FROM PROTEIN-CONTAINING ANIMAL WASTES

Bortnikov S.V., Gorenkova G.A.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Katanov Khakass State University», Abakan, e-mail: svb@khsu.ru

At the various stages of processing livestock animal wastes products about half of the feedstock is converted to waste. This applies, in particular, to protein-containing animal wastes (feathers, wool), the basis of which is unique in its composition, structure and properties the fibrillar protein keratin. The problem of transferring keratin to a water-soluble state limits the use of these wastes as secondary raw materials in various branches of the economy in order to obtain a number of valuable products and materials. Known methods for processing keratin-containing raw materials are based on the breakdown of the bonds, forming the protein structure, under acidic, alkaline or enzymatic hydrolysis with a large number of competing reactions and the formation of a mixture of products of partial and complete destruction of the polypeptide. The strongest bond, forming the tertiary structure of keratin (disulphide), can also be broken during the oxidation-reduction process under relatively mild conditions. The proposed method of obtaining a soluble keratin modification is based on the interaction of protein-containing materials (feather, wool) with agents, having redox properties: sodium sulfide, sodium sulfite and hydrogen peroxide. The transition of keratin to a solution occurs to a varying degree in all model systems, while the protein concentration in the solution increases more rapidly with the use of sodium sulfide and reaches a higher value than in the case of sodium sulfite and hydrogen peroxide. It can be assumed that in the case of a sulfide, the process is limited to a reduction reaction to form thiol derivatives, and in the case of a sulfite and hydrogen peroxide the process is complicated by a competing oxidation reaction to form final products of a more complex composition. The proposed technology allows in mild conditions, without protein degradation and side processes to obtain its water-soluble form.

Keywords: keratin, protein-containing animal wastes, feather, wool, native protein structure, disulfide bonds, redox reagents, modification

Специфика переработки продуктов животноводства заключается в том, что в процессе получения основной товарной продукции до половины исходного сырья на различных стадиях технологического процесса превращается в отходы. Это касается, в частности, белоксодержащих отходов птицеводства и шерстеперерабатывающих производств.

В крупных животноводческих хозяйствах белоксодержащие отходы могут, в определенной степени, представлять угрозу экологическому состоянию – медленно разлагаясь и выделяя загрязняющие, в том числе токсичные вещества в окружающую среду [1]. Так, накапливающиеся в анаэробных условиях в почве продукты разложения белков (диамины) проявляют

ярко выраженные фитотоксичные свойства и нередко способствуют угнетению роста растений [2, 3].

Кератин, являясь животным белком, состоит из α-аминокислот, из которых порядка 30% относятся к группе незаменимых для животного организма. Природные кератины очень богаты кислыми и основными аминокислотами. Эти белки отличаются также необычно высоким содержанием остатков цистеина – аминокислоты, содержащей тиольную группу (SH). Во многом по этой причине кератин характеризуется особыми физико-химическими свойствами. В частности, кератин отличается высокой устойчивостью к воздействию различных реагентов: в воде, растворах нейтральных солей и в разбавленных растворах кислот и щелочей кератин нерастворим. Он не подвергается гидролизу под действием ферментов, кроме фермента кератиназы. Наличие в составе этого белка большого числа тиольных групп обуславливает значительную роль дисульфидных ковалентных связей, формирующих и поддерживающих нативную структуру полипептида.

Устойчивость кератина к химическим реагентам, внешним воздействиям, ферментам пищеварительных соков животных обусловлена главным образом именно наличием в структуре его дисульфидной (цистиновой) связи. По этой причине большинство животных организмов усваивать этот белок в нативном состоянии не может [4].

Очевидно, чтобы перевести кератин в усваиваемое (водорастворимое) состояние, необходимо разрушить третичную структуру белка.

Процесс денатурации способствует разворачиванию укладки цепей полипептида. В ходе этого процесса утрачиваются свойства, характерные для нативного кератина. При денатурации становятся доступны функциональные группы, ранее находящиеся в положении скрытых в нативном состоянии молекул. Следовательно, для того, чтобы получить водорастворимый кератин, следует оказывать воздействия, вызывающие процесс денатурации. Это может быть изменение суммарного заряда полипептида за счет варьирования pH и частичный разрыв ковалентных дисульфидных связей. В результате изменения pH молекула белка кератина как полиамфолит меняет свою структуру и свойства, увеличивается способность к гидратации, набуханию и растворению в воде. Разрушение дисульфидных связей, формирующих третичную структуру белка, приводит к её нарушению, что выражается в разрыхлении структуры пера, снижению его прочности, что облегчает проникновение молекул воды внутрь структуры и сопровождается его более эффективным набуханием.

Одной из главных характеристик химической активности тиолов и их производных (сульфидов) является их способность к окислительно-восстановительным превращениям. Так, при действии на дисульфиды восстановителей (сульфидов, бисульфитов, гидросульфитов и др.) дисульфидные связи разрываются с последующим присоединением по месту освободившихся валентностей различных групп в зависимости от применяемого реагента. В биохимических реакциях роль восстанавливающего реагента играет фермент кератиназа, наличие которого дает возможность некоторым организмам усваивать кератин (*Tineola bisselliella*). При окислении тиолы превращаются в сульфоновые кислоты, образующие в щелочной среде соответствующие соли, тем самым нейтрализуя конечный раствор.

В литературных источниках описаны различные методы получения гидролизатов из кератинсодержащего сырья: гидротермический, щелочной, кислотный, ферментативный [5]. Известные методы по переработке кератинсодержащего сырья основаны на разрыве связей, образующих четвертичную, третичную, вторичную и первичную структуры. В последнем случае деструкция кератина идет до свободных аминокислот. Как показывает анализ доступной научно-технической информации, в основном используют комбинацию физических и химических воздействий на кератинсодержащее сырьё для извлечения белка. Чтобы получить растворимый белок из нерастворимого полипептида, необходимо подобрать условия и реагенты, которые позволили бы разрушить четвертичную, третичную, вторичную структуры. В числе факторов, которые изменяют четвертичную структуру перьевого кератина, – изменение pH, повышение температуры, действие детергентов и т.д. К разрушению третичной и вторичной структуры без разрыва пептидных связей (денатурации) могут привести: нагревание растворов белка выше 60 °C, изменение pH (<3–4 или >10), ультразвук, органические растворители, соли тяжелых металлов, детергенты и т.д. И как результат – изменяются кристаллическая структура, растворимость и др. [5, 6].

При гидролизе в качестве реагентов используют 0,25–10% растворы гидроксида натрия, 13% раствор гидроксида калия или 25% раствор аммиака, растворы минеральных и органических кислот. Гидролиз, как правило, осуществляют при нагревании до 95 °С в течение длительного времени (до 5 и более часов) [7].

Основными недостатками гидролиза при высоких температурах являются значительная деструкция как самого белка, так и отдельных аминокислот, входящих в его состав. Длительность процесса и жесткие условия приводят к разрушению аминокислот и их частичной рацемизации [7].

Так, некоторые авторы [8] указывают, что при использовании жестких температурных режимов сильно возрастает потеря серосодержащих аминокислот (цистеина).

Материалы и методы исследования

Щелочной гидролиз. 10 г пера промывали тёплым мыльным раствором, несколько раз ополаскивали дистиллированой водой, помещали в колбу и добавляли 100 мл 10% раствора NaOH. Отбирали пробы через 24, 48, 72, 144, 168 часов. Определяли концентрацию белка.

Гидролиз в присутствии восстановителя. 10 г пера промывали тёплым мыльным раствором, несколько раз ополаскивали дистиллированной водой, помещали в колбу и добавляли 200 мл 0,1 н раствора NaOH, и 200 мл 10% раствора H_2O_2, Na_2S, Na_2SO_3. Отбирали пробы через 24, 48, 72, 144, 168 часов. Определяли концентрацию белка.

Количественную оценку содержания белка проводили фотоколориметрическим методом по биуретовой реакции.

Результаты исследования и их обсуждение

Моделирование процесса гидролиза пера птицы, основанное на литературных аналогиях, заключающееся в длительном кипячении исходного сырья в растворах щёлочи и кислоты, обнаружило полное растворение пера и глубокую деструкцию кератина. По истечении 5 часов кипячения нерастворимой фракции в системе не осталось. В случае обработки кислотой наблюдалось также и значительное обугливание органического вещества.

Тонкослойная хроматография с нингидрином показала наличие серосодержащих аминокислот (цистеина и метионина) в гидролизатах исследуемых образцов. Это подтверждает, что при использованном методе обработки пухо-перового сырья происходит разрушение не только третичной и вторичной, но также и первичной структуры белка с образованием олигопептидов с низкой молекулярной массой и свободных аминокислот.

Во избежание указанных негативных процессов в системе нами осуществлен щелочной гидролиз в мягких условиях, когда перо выдерживалось в 10% растворе NaOH при комнатной температуре. Эксперимент показал, что в течение суток произошло полное растворение пера.

Таким образом, при действии щелочи в мягких условиях кератин также переходит в раствор за счет селективного гидролиза дисульфидных -S-S- связей в молекуле. Образующиеся продукты реакции (тиолы, сульфоновые кислоты), как правило, неустойчивы в щелочных растворах, и в них могут протекать дальнейшие изменения, осложняющие процесс и загрязняющие конечный целевой продукт.

Подобных нежелательных последствий при осуществлении процесса гидролиза можно попытаться избежать используя особенности химического поведения рассматриваемых веществ.

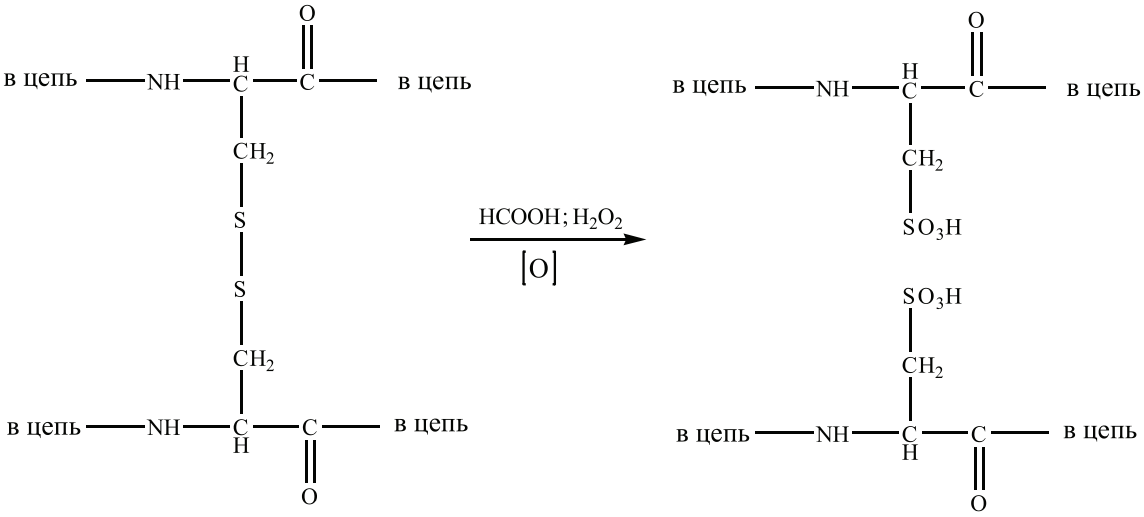
Предлагаемый в настоящей работе метод получения растворимой модификации кератина основан на взаимодействии кератина с агентами, обладающими окислительно-восстановительными свойствами: сульфидом натрия, сульфитом натрия и перекисью водорода. Эффективность метода оценивалась по содержанию белка в растворе.

Известно, что в случае реакции окисления дисульфидной связи перекисью водорода в присутствии муравьиной кислоты образуются сульфоновые кислоты (схема).

Дисульфидная связь при этом разрушается, белок переходит в водорастворимое состояние. При этом большая часть тиольных групп остатков цистеиновой кислоты в белке будет окислена, что означает фактическую потерю цистеина в конечном продукте.

В случае восстановления дисульфидной связи можно предположить образование тиолов, производной которых белковая аминокислота цистеин и является.

$$R—S—S—R \xrightarrow{[H]} R—SH + HS—R$$



Как показал эксперимент, предлагаемые методы оказались достаточно эффективными. Переход кератина в раствор в разной степени происходит во всех модельных системах. После 96-часовой экспозиции обработки пера наблюдалось полное его растворение, несмотря на значительно меньшую концентрацию (0,5% раствор по сравнению с 10% раствором в предыдущем опыте) щелочи в рабочем растворе. Можно предположить, что в этом случае растворение белка связано не с щелочным гидролизом, а с окислительно-восстановительным процессом преобразования дисульфидной связи. Полученная система представляла собой прозрачный практически бесцветный раствор. Следует отметить, что проведение реакции в жестких условиях (при температуре 80–90 °С) приводило к образованию сильно окрашенных растворов, что является следствием побочных деструктивных и окислительных реакций [9].

Концентрация белка во всех случаях возрастала на протяжении 48 часов. Затем наблюдалась определенная стабилизация системы. В течение 2–3 суток концентрация белка оставалась практически постоянной. После этого в эксперименте отмечалось резкое снижение содержания белка в растворе, что может быть связано с самопроизвольным разрушением белковой молекулы (рис. 1).

Обращает на себя внимание, что концентрация белка в растворе при использовании сульфида натрия возрастает быстрее и достигает большего значения (до 57 г/л), чем в случае с сульфитом натрия и перекисью водорода. С химической точки зрения это выглядит вполне обоснованно, учитывая, что сульфид – типичный восстановитель в окислительно-восстановительных реакциях, а сульфит и перекись водорода – реагенты с двоякими свойствами (окислителя и восстановителя).

Можно предположить, что в случае с сульфидом процесс ограничивается реакцией восстановления с образованием производных тиолов, а в случае с сульфитом и перекисью водорода процесс осложняется конкурирующей реакцией окисления с образованием конечных продуктов более сложного состава.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что для получения водорастворимой формы кератина из пера наиболее целесообразным является способ обработки кератинсодержащего сырья раствором, содержащим типичный восстановитель в щелочной среде.

Аналогичный результат был получен в случае эксперимента по переводу в растворимое состояние кератина шерсти. В опыте с раствором сульфида натрия в щелочной среде наблюдалось увеличение концентрации белка до 43 г/л в течение 48 часов (рис. 2).

Выводы

В присутствии в растворе химических реагентов с окислительно-восстановительными свойствами осуществлен процесс перехода кератина пера и шерсти в водорастворимое состояние. В результате такой обработки дисульфидные связи в молекуле белка разрываются с образованием продуктов окисления и восстановления серы, что влечет за собой изменение структуры белка и увеличение его растворимости. Наиболее эффективным вариантом в плане скорости процесса и выхода конечного продукта оказался способ воздействия раствором, содержащим типичный восстановитель (сульфид натрия) в щелочной среде.

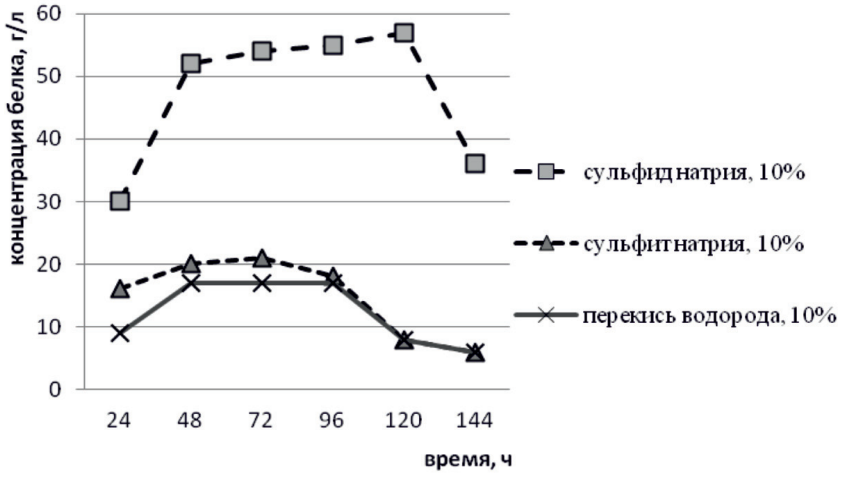


Рис. 1. Изменение концентрации белка в гидролизатах пера в модельных системах

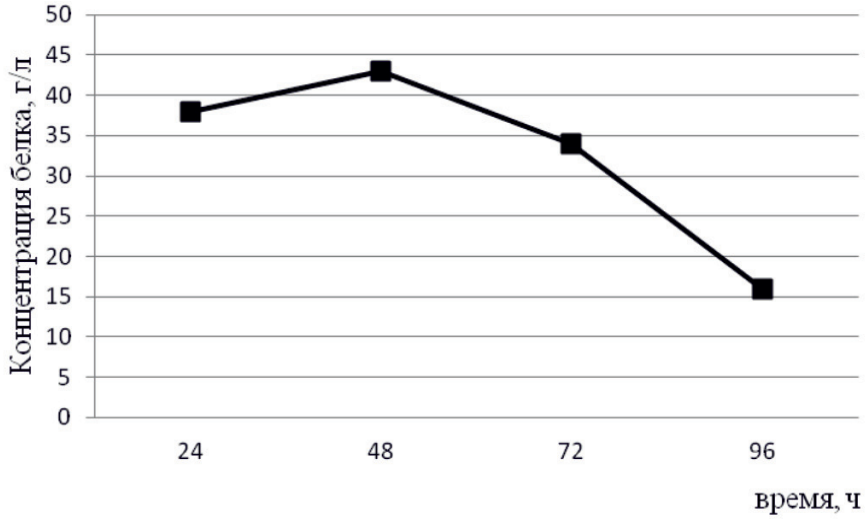


Рис. 2. Изменение концентрации белка в гидролизате шерсти в модельной системе NaOH (0,5%) : Na_2S (10%)

Проведенные исследования показали, что получение растворимой модификации кератина из соответствующего белоксодержащего сырья (перо, шерсть) можно эффективно проводить в мягких условиях, не прибегая к высоким температурным режимам и агрессивным реагентам.

Данная технология позволяет в мягких условиях, без деструкции белка и побочных процессов получить его водорастворимую форму, которая может быть использована в различных отраслях практической деятельности. Кроме того, утилизация подобных отходов имеет большое экологическое значение, предотвращая попадание токсичных веществ в окружающую среду, и способствует переходу к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству.

Список литературы

1. Ларионов М.В. Биогеоценотический уровень экотоксикологических эффектов в сообществах живых организмов Саратовской области / М.В. Ларионов, Н.В. Ларионов // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. – 2009. – № 1. – С. 238–243.

2. Ларионов М.В. Общая экология: практикум / М.В. Ларионов, Н.В. Ларионов. – Саратов: Саратовский источник, 2014. – 164 с.

3. Актуальные задачи биологии и экологии в региональном контексте: монография / под ред. М.В. Ларионова. – Новосибирск: АНС СибАК, 2016. – 124 с.

4. Эффективное использование вторичного сырья, получаемого при переработке птицы / В.Г. Волик [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2011. – № 3. – С. 16–19.

5. Сапожникова А.И. Разработка и оценка качества продукции на основе фибриллярных белков из отходов сырья животного происхождения: дис…. докт. техн. наук. – Москва, 1999. – 312 с.

6. Переработка вторичного кератинсодержащего сырья и получение белковых гидролизатов на пищевые и кормовые цели / О.О. Бабич [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 2. – С. 7–11.

7. Полетаев А.Ю. Особенности переработки белкового сырья в полноценные корма для сельскохозяйственных животных / А.Ю. Полетаев, М.Г. Курбанова // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 3. – С. 29–34.

8. Белова А.В. Разработка технологии двухстадийного гидролиза отходов птицеперерабатывающих производств: дис…. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 160 с.

9. Бортников С.В. Получение кератинсодержащих белковых дисперсий из перо-пуховых отходов / С.В. Бортников, Г.А. Горенкова, О.В. Комарова // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. – 2015. – № 14. – С. 11–14.

References

1. Larionov M.V., Larionov N.V. Biogeotsenoticheskii uroven ekotoksikologicheskikh effektov v soobshchestvakh zhivykh organizmov Saratovskoi oblasti [Biogeocenotic level of ecotoxicological effects in communities of living organisms in the Saratov region]. Vestnik VolGU. Seriia 3: Ekonomika. Ekologiia – Bulletin of Volgograd State University. Series 3: The Economy. Ecology, 2009, no. 1, pp. 238–243.

2. Larionov M.V., Larionov N.V. Obshchaia ekologiia: praktikum [General ecology: workshop]. Saratov, Saratovskii istochnik, 2014. 164 p.

3. Larionov M.V., Domashenko Iu.E., Kulik M.I., Mazina S.E., Sukisian A.R. Aktualnye zadachi biologii i ekologii v regionalnom kontekste: monografiia [Actual problems of biology and ecology in the regional context: monograph]. Novosibirsk, ANS SibAK, 2016. 124 p.

4. Volik V.G, Ismailova D.Iu., Erokhina O.N., Zinovev S.V., Kozak S.S., Mukhin Iu.E., Koroleva O.V. Effektivnoe ispolzovanie vtorichnogo syria, poluchaemogo pri pererabotke ptitsy [Effective use of secondary raw materials obtained from poultry processing]. Ptitsa i ptitseprodukty – Poultry and poultry products, 2011, no. 3, pp. 16–19.

5. Sapozhnikova A.I. Razrabotka i otsenka kachestva produktsii na osnove fibrilliarnykh belkov iz otkhodov syria zhivotnogo proiskhozhdeniia: dis…. dokt. tekhn. nauk [Development and evaluation of product quality on the basis of fibrillary proteins from waste materials of animal origin]. Moscow, Moskovskaia gosudarstvennaia akademiia veterinarnoi meditsiny i biotekhnologii im. K.I. Skriabina, 1999. 312 p.

6. Babich O.O., Razumnikova I.S., Poletaev A.Iu., Morozova A.I. Pererabotka vtorichnogo keratinsoderzhashchego syria i poluchenie belkovykh gidrolizatov na pishchevye i kormovye tseli [Processing of secondary keratin-containing raw materials and production of protein hydrolysates for food and feed purposes]. Tekhnika i tekhnologiia pishchevykh proizvodstv – Technique and technology of food production, 2011, no. 2, pp. 7–11.

7. Poletaev A.Iu., Kurbanova M.G. Osobennosti pererabotki belkovogo syria v polnotsennye korma dlia selskokhoziaistvennykh zhivotnykh [Features of processing of protein raw materials in high-grade fodder for farm animals]. Tekhnika i tekhnologiia pishchevykh proizvodstv – Tekhnika i tekhnologiia pishchevykh proizvodstv, 2010, no. 3, pp. 29–34.

8. Belova A.V. Razrabotka tekhnologii dvukhstadiinogo gidroliza otkhodov ptitsepererabatyvaiushchikh proizvodstv: dis…. kand. tekhn. nauk [Development of technology for two-stage hydrolysis of poultry processing waste]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii, 2004. 160 p.

9. Bortnikov S.V., Gorenkova G.A., Komarova O.V. Poluchenie keratinsoderzhashchikh belkovykh dispersii iz peropukhovykh otkhodov [Keratin Protein Dispersion Obtaining from Waste Feather and Down]. Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova – Herald of Katanov Khakass State University, 2015, no. 14, pp. 11–14.

УДК 544.77.023.55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В ВОССТАНОВЛЕННЫХ МОЛОЧНЫХ СМЕСЯХ

Ермишина Е.Ю., Белоконова Н.А., Наронова Н.А., Бородулина Т.В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург, e-mail: ermishina.e.yu@mail.ru

В процессе приготовления молочных смесей для детского питания существенно изменяют минеральный состав животного молока. На первом этапе происходит деминерализация обезжиренного молока. На втором этапе к готовой сухой молочной смеси (МС) добавляют минеральный премикс, адаптирующий продукт к грудному молоку. Грудное молоко (ГМ) – это полидисперсная многофазная система, содержащая наряду с ионизированными растворами и эмульсией молочного жира, коллоидную систему казеиновых частиц с фосфатами кальция и магния (казеинкальцийфосфатный комплекс – ККФК), играющую важную роль в усвоении минеральных веществ новорожденным. Формирование аналогичного комплекса конденсационным методом в МС возможно в процессе восстановления. В работе была предпринята попытка теоретически оценить размеры формирующихся частиц. Были измерены скорости диффузии частиц, содержащих кальций и магний, находящихся в ионизированном и связанном состоянии в составе восстановленных МС от разных производителей, грудного молока и модельного раствора, по своему минеральному составу идентичного одной из рассматриваемых МС по макрокомпонентам. По рассчитанным коэффициентам проницаемости частиц в мембранах, изготовленных из ацетата целлюлозы, были получены значения коэффициентов диффузии в этих мембранах и оценены размеры диффундирующих частиц. Коэффициенты диффузии частиц, находящихся в ионизированном состоянии, имеют значения на порядок выше таковых для частиц МС и ГМ. Коэффициенты диффузии и размеры неионизированных частиц ГМ и МС, содержащих кальций и магний, диффузата соответствуют частицам коллоидной степени дисперсности.

Ключевые слова: коэффициент диффузии, коэффициент проницаемости мембраны, диффузат восстановленных молочных смесей и грудного молока, коллоидная степень дисперсности, казеинкальцийфосфатный комплекс (ККФК)

DEFINITION OF DIFFUSION COEFFICIENTS AND DIMENSIONS OF PARTICLES IN RESTORED DAIRY MIXTURES

Ermishina E.Yu., Belokonova N.A., Naronova N.A., Borodulina T.V.

Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: ermishina.e.yu@mail.ru

In the process of preparing milk formulas for infant nutrition, the mineral composition of animal milk is significantly altered. At the first stage, demineralization of skim milk occurs. In the second stage, a mineral premix is added to the finished dry milk mixture, which adapts the product to breast milk. Breast milk is a polydisperse multiphase system containing along with ionized solutions and milk fat emulsions, a colloidal system of casein particles with calcium and magnesium phosphates (the casein-calcium phosphate complex), which plays an important role in the assimilation of minerals to newborns. The formation of a similar complex by the condensation method in milk mixtures is possible during the reduction process. In this work, an attempt was made to theoretically estimate the dimensions of the emerging particles. The rates of diffusion of particles containing calcium and magnesium in the ionized and bound state in the composition of reconstituted milk mixtures from different manufacturers, breast milk and a model solution were measured, in terms of their mineral composition identical to one of the milk mixtures under consideration for macrocomponents. Based on the calculated permeability coefficients of particles in membranes made of cellulose acetate, the diffusion coefficients in these membranes were obtained and the sizes of the diffusing particles were estimated. The coefficients of diffusion of particles in the ionized state have values an order of magnitude higher than those for particles of milk mixtures and breast milk. The diffusion coefficients and sizes of non-ionized particles of breast milk and milk mixtures containing calcium and magnesium, diffusate correspond to particles of a colloidal degree of dispersion.

Keywords: diffusion coefficient, membrane permeability coefficient, diffusate of reconstituted milk mixtures and breast milk, colloidal degree of dispersion, casein-calcium phosphate complex

Грудное молоко (ГМ) – это полидисперсная многофазная система, включающая в себя молекулярные ионизированные растворы сывороточных белков, тонкую коллоидную систему казеиновых частиц, дисперсную систему молочного жира, минеральные соли и т.д. [1]. Основной принцип создания адаптированных смесей – максимальное приближение коровьего молока к составу и свойствам женского молока и их соответствие особенностям пищеварения и метаболизма ребенка первого года жизни [2]. Предварительная переработка коровьего молока для приготовления адаптированных молочных смесей (МС) приводит к изменению нативного состава молока, в котором основные минеральные компоненты связаны с исходными белками молока и представлены в форме различных коллоидно-дисперсных систем [3]. Получаемая МС представляет собой полидисперсную систему, которая при восстановлении

должна образовывать коллоидные дисперсные системы (КДС), которые аналогичны системам ГМ. А именно: фазу истинного раствора (вещества находятся в ионно-молекулярном состоянии), коллоидную фазу (вещества представлены в виде коллоидных частиц – фосфат кальция, белки, а также казеинкальцийфосфатный комплекс – ККФК) и фазу эмульсии (вещества представлены грубодисперсными частицами различной величины в присутствии стабилизаторов, обычно лецитинов). Наибольшую роль в усвоении минеральных веществ играет коллоидная фаза, включение в которую минеральных веществ способствует их лучшему усвоению [3]. Корректировку минерального состава МС проводят в два этапа. На первом этапе снижают общее содержание минеральных веществ путем диафильтрации концентратов сывороточных белков. При этом в равной степени удаляются ионизированные и неионизированные компоненты, в том числе и коллоидный фосфат кальция. На втором этапе минеральный состав восполняют в соответствии с потребностями новорожденных, добавляя недостающие количества ионов калия, натрия, кальция, магния, меди, железа и т.п. в виде цитратов, фосфатов, сульфатов, карбонатов, хлоридов этих металлов [1, 2]. Включение минерального премикса осуществляется на последнем этапе путем смешивания сухих минеральных веществ с готовой сухой молочной смесью. Образование КДС тем или иным способом произойдет только в процессе восстановления молочной смеси. Фосфат кальция малорастворим в воде и в молоке образует типичную неустойчивую коллоидную систему с гидрофобной дисперсной фазой [3]. Его растворимость повышается под влиянием казеина. Мицеллы казеина представляют собой коллоидную фазу смешанного состава, обладающую свойствами гидрофильного и гидрофобного золя. Нахождение казеина и фосфатов кальция и магния в восстановленной МС в виде сложных мицелл имеет большое значение для новорожденного [3]. Так, под действием химозина в его желудке мицеллярный белок легко образует сгусток, который подвергается дальнейшему воздействию пепсина [4]. Кроме того, в составе растворимых мицелл казеина транспортируются очень важные для молодого организма соли кальция и магния. Важен размер частиц вновь образованного, при восстановлении молочной смеси, коллоидного фосфата кальция и магния в комплексе с белками.

Цель исследования – с помощью измеренных коэффициентов проницаемости частиц, содержащих ионы магния и кальция в мембранах из ацетата целлюлозы, оценить коэффициенты диффузии и размеры кальций- и магнийсодержащих частиц диффузанта, восстановленных МС различного состава, ГМ и модельного раствора.

Материалы и методы исследования

Для диффузии использовалась специальная установка с мембранным фильтром из ацетата целлюлозы с диаметром пор 0,45 мкм и фильтром с диаметром пор 4 ± 1 мкм. Для оценки скорости диффузии были взяты четыре типа адаптированных МС: МС1 – нейтральная, МС2 – кисломолочная, МС3 – с пребиотиками, МС4-антирефлюксная от известных производителей. 4,3 г (порционная ложка) молочной смеси разводили в 100 мл теплой дистиллированной воды, охлаждали и помещали во внешний сосуд установки для диффузии. Во внутренний сосуд заливали дистиллированную воду (рис. 1). После 20 ч с мембранным фильтром из ацетата целлюлозы или 1,5 ч в случае с фильтром с диаметром пор 4 ± 1 мкм определялось содержание ионов во внутреннем сосуде. Концентрация ионов кальция и магния определялась титриметрическим методом, содержание фосфатов – спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «LEKI SS2109UV»). Динамическую вязкость рассчитывали по скорости ламинарного течения жидкости в тонком капилляре. Для измерения буферной емкости МС по кислоте использовали потенциометрический метод измерения pH восстановленной смеси до и после добавления 1 мл 0,1 н HCl. Статистическая обработка результатов исследования выполнена при достоверности ($p \leq 0,05$).

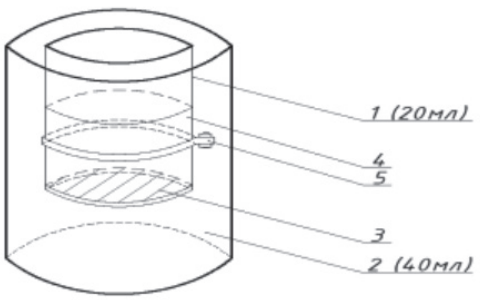


Рис. 1. Установка для оценки скорости диффузии ионов: 1 – камера выявления с дистиллированной водой; 2 – камера для образца МС; 3 – мембрана; 4 – лавсановый материал; 5 – хомутик

Результаты исследования и их обсуждение

Большинство добавляемых минеральных компонентов премикса нерастворимо в воде (карбонат кальция, фосфаты кальция и магния, марганца и др.), поэтому возникает проблема с биодоступностью указанных минеральных компонентов. Формирование КДС возможно как путем измельчения дисперсной фазы в дисперсионной среде (дисперсионный метод), так и укрупнения микрокристаллов за счет веществ, находящихся в фазе истинного раствора (конденсационный метод). С учетом того, что при изготовлении МС необходима высокая гомогенизация компонентов для их лучшего усвоения, формирование дисперсной фазы (мицелл коллоидов) осуществляют конденсационным методом. При этом должны достраиваться имеющиеся микрокристаллы нерастворимых карбонатов, фосфатов, цитратов кальция и магния молекулами белков с образованием аморфных коллоидных частиц.

Для восстановленных МС были измерены физико-химические показатели, косвенно влияющие на способность МС к пассивной диффузии. Это вязкость, pH, буферная емкость по кислоте и осмоляльность. Буферная емкость зависит от концентрации белков, цитратов, фосфатов и минералов. Более высокая в 2–4 раза буферная емкость МС обусловлена более высоким содержанием этих компонентов по отношению к грудному молоку [5]. Осмоляльность характеризует общую минерализацию смеси и не должна превышать осмоляльность грудного молока 280–300 мОсм/кг [6]. При такой осмоляльности заменителей достигается нормальная водно-солевая нагрузка на выделительную систему ребенка. Выбранные для исследования МС являются гипотоничными по отношению к грудному молоку. Осмотическое давление – это свойство коллигативное, зависящее при постоянной температуре только от числа частиц в объеме, меньшее его значение указывает на больший размер частиц и, следовательно, их меньшее количество.

Для МС была измерена скорость пассивной диффузии через мембраны с различным диаметром пор (табл. 2). Увеличение диаметра пор в 10 раз приводит к увеличению скорости диффузии ионов кальция в 8–10 раз, магния в 25–40 раз, а фосфора в 1,5–5 раз.

Таблица 1

Физико-химические свойства МС и ГМ

МС/ГМ	pH	Вк, ммоль/л	Вязкость, мПа·с	Осмоляльность, мОсм/кг
МС1	7,19 ± 0,05	6,06 ± 0,05	1,33 ± 0,01	207
МС2	6,05 ± 0,05	9,01 ± 0,05	1,16 ± 0,01	213
МС3	7,12 ± 0,05	7,09 ± 0,05	2,77 ± 0,01	279
МС4	6,70 ± 0,05	18,52 ± 0,05	27,67 ± 0,01	231
ГМ1	6,63 ± 0,05	3,88 ± 0,05	1,82	277
ГМ2	6,92 ± 0,05	4,27 ± 0,05	1,77	282
ГМ3	7,05 ± 0,05	4,63 ± 0,05	1,86	291

Таблица 2

Скорость пассивной диффузии элементов через мембраны с диаметром (d) пор 0,45 мкм (*) и 4 ± 1 мкм (**)

		Скорость диффузии, пкг/с		
МС	d, пор	Ca	Mg	P
МС1	*	4,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1
	**	42,6 ± 0,1	41,1 ± 0,1	5,0 ± 0,1
МС2	*	3,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1
	**	40,7 ± 0,1	31,1 ± 0,1	1,6 ± 0,1
МС3	*	3,5 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1
	**	33,3 ± 0,1	41,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1
МС4	*	3,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,0 ± 0,0
	**	24,1 ± 0,1	18,9 ± 0,12	1,2 ± 0,1
ГМ (среднее)	*	3,4 ± 0,1	0,9 ± 0,1	-

При этом диффузия компонентов МС обусловлена не только пассивным транспортом веществ, находящихся в ионно-молекулярной фазе с минимальными размерами частиц дисперсной фазы, но и за счет диффузии коллоидных частиц. В коллоидно-дисперсном состоянии в молоке находятся сывороточные белки, казеин и большая часть фосфатов кальция. Размеры коллоидных частиц коровьего молока согласно литературным данным составляют (в нм): β-лактоглобулина – 25–50, α-лактоальбумина – 15–20, мицелл казеина 40–300, фосфата кальция – 10–20 [3]. Коллоидная фаза МС изучена мало, но можно проэкстраполировать, что КДС МС представлена аналогичными дисперсными системами. Значительное изменение светопропускания раствора диффузата МС в мембрану с большим диаметром пор, измеренное при различных длинах волн, свидетельствует о пассивном транспорте гидрофильных КДС с небольшой молекулярной массой. Светопропускание МС3 (с пребиотиками) и МС4 (антирефлюксной) характеризуется большими значениями (рис. 2).

По вычисленной скорости диффузии были определены коэффициенты проницаемости частиц в мембранах, содержащие ионы кальция и магния. Для описания явлений переноса через биологические мембраны используется уравнение Коллендера – Бернульда $dm/dt = -PS(C_1 - C_2)$, где P – коэффициент проницаемости, аналогичный коэффициенту диффузии D. Коэффициент проницаемости в отличие от коэффициента диффузии зависит не только от температуры и природы вещества, но еще и от свойств мембраны и ее функционального состояния. Коэффициенты проницаемости ионов из восстановленных МС и исследуемых проб ГМ представлены в табл. 3.

Средний коэффициент проницаемости для МС $P_{Ca} = 30{,}1 \pm 0{,}1$ нм/с, $P_{Mg} = 44{,}8 \pm 0{,}1$ нм/с, для ГМ $P_{Ca} = 62{,}2 \pm \pm 0{,}1$ нм/с, $P_{Mg} = 162{,}1 \pm 0{,}1$ нм/с. Коэффициенты проницаемости для мембраны с диаметром пор 4 ± 1 мкм были в среднем в 10–20 раз больше. Для оценки размеров диффундирующих частиц были взяты результаты диффузии ионов кальция через мембрану с диаметром пор 0,45 мкм. Для биологических мембран связь коэффициента проницаемости с коэффициентов диффузии выражается по уравнению

$$D = \frac{P \cdot l}{k},$$

где D – коэффициент диффузии в м^2/с, P – коэффициент проницаемости в м/с, l – толщина мембраны в м, $k = C_1/C_2$ – распределение, характеризующее соотношение равновесных концентраций диффундирующего вещества в мембране и в окружающей растворе. Так как измерить концентрацию вещества в мембране не представляется возможным, условно при расчетах за нее была взята концентрация вещества во внутреннем сосуде после диффузии. Рассчитанные коэффициенты диффузии были использованы для оценки размеров продиффундировавших частиц по уравнению Стокса – Эйнштейна:

$$r = \frac{kT}{6\pi\eta D},$$

где k – постоянная Планка, η – вязкость в Па·с, D – коэффициент диффузии в м^2/с, r – размер частиц в м.

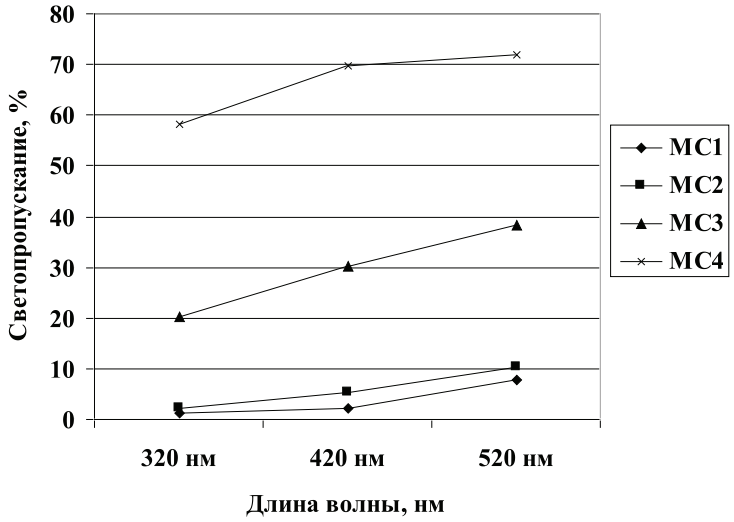


Рис. 2. Светопропускание раствора диффузата восстановленных МС

Таблица 3

Коэффициенты проницаемости ионов из МС и ГМ мембрана 0,45 мкм

МС, ГМ	МС1	МС2	МС3	МС4	ГМ1	ГМ2	ГМ3
P_{Ca}, нм/с	29,6 ± 0,1	34,8 ± 0,1	33,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	55,7 ± 0,1	78,5 ± 0,1	55,4 ± 0,1
P_{Mg},нм/с	46,1 ± 0,1	42,3 ± 0,1	40,8 ± 0,1	50,0 ± 0,1	164,0 ± 0,1	171,6 ± 0,1	150,8 ± 0,1

Таблице 4

Размеры частиц диффузатов, содержащих кальций и магний

ион	МС, ГМ	МС1	МС2	МС3	МС4	ГМ, среднее	модел. р-р
Ca	$D \cdot 10^{-11}$, м^2/с	6,83 ± 0,01	6,84 ± 0,01	11,56 ± 0,01	6,72 ± 0,01	6,81 ± 0,01	10,61 ± 0,01
	$r \cdot 10^{-9}$, м	2,40 ± 0,01	2,75 ± 0,01	0,68 ± 0,01	0,12 ± 0,01	1,77 ± 0,01	0,002 ± 0,0001
Mg	$D \cdot 10^{-11}$, м^2/с	7,06 ± 0,01	6,97 ± 0,01	13,45 ± 0,01	7,06 ± 0,01	8,88 ± 0,01	14,35 ± 0,01
	$r \cdot 10^{-9}$,м	2,32 ± 0,01	2,70 ± 0,01	0,59 ± 0,01	0,117 ± 0,01	1,35 ± 0,01	0,001 ± 0,0001

При восстановлении МС важно учитывать сформированность коллоидного комплекса фосфата кальция (магния) с белками, так как от этого будет зависеть степень усвоения кальция и фосфора. Рассчитанные значения размеров частиц, содержащих кальций и магний, диффундирующих через мембрану из ацетата целлюлозы, представлены в табл. 4.

Для оценки точности расчетов коэффициентов диффузии была изучена диффузия ионов модельного раствора в мембране из ацетата целлюлозы. Был приготовлен модельный раствор, содержащий ионы калия, натрия, магния и кальция в том же соотношении, что и в МС2. Раствор был помещен во внешний сосуд установки для диффузии. Рассчитанный коэффициент диффузии для иона кальция из модельного раствора составил $1,06 \pm 0,01 \cdot 10^{-10}$ м^2/с, для иона магния $1,43 \pm 0,01 \cdot 10^{-10}$ м^2/с, что сопоставимо с литературными данными $7,9 \cdot 10^{-10}$м^2/с и $7,1 \cdot 10^{-10}$м^2/с [7, с. 144]. Рассчитанные размеры продиффундировавших частиц $2,04 \pm 0,01 \cdot 10^{-12}$ м $1,52 \pm 0,01 \cdot 10^{-12}$ м свидетельствуют о том, что кальций находится в ионной фазе. Размеры частиц, содержащих кальций и магний, продиффундировавших из ГМ и МС, имеют порядок 10^{-9} м, частицы находятся в коллоидной фазе, об этом свидетельствуют меньшие по сравнению с истинным раствором коэффициенты диффузии порядка 10^{-11} м^2/с. Что также хорошо согласуется с литературными данными, для коллоидов коэффициенты диффузии имеют порядок 10^{-14}–10^{-11}м^2/с. МС3 и МС4 согласно данным табл. 4 характеризуются меньшими размерами частиц, диффундировавших в мембрану. Это подтверждается данными спектрофотометрического анализа (рис. 2). Данные МС дают более высокие значения светопропускания растворов из камеры выявления установки для диффузии.

Выводы

1. Рассчитаны скорости диффузии в мембранах с различным диаметром пор, коэффициенты проницаемости и определены коэффициенты диффузии в мембране из ацетата целлюлозы. Оценены размеры кальций- и магнийсодержащих частиц диффузанта, восстановленных МС для детского питания от различных производителей, ГМ и модельного раствора по минеральному составу идентичному по макрокомпонентам одной из исследуемых МС.

2. Коэффициенты диффузии и размеры кальций- и магнийсодержащих частиц диффузанта грудного молока и молочных смесей соответствуют коллоидной степени дисперсности.

Список литературы

1. Тутельян В.А. Детское питание: руководство для врачей / В.А. Тутельян, И.Я. Конь. – 3-е издание перераб. и допол. – М.: Медицинское информационное агентство, 2013. – 744 с.

2. Функциональные пищевые нутриенты в составе детских адаптированных смесей на основе цельного козьего молока/ И.Н. Скидан [и др.] // Вопросы практической педиатрии. – 2015. – № 4. – С. 38–48.

3. Роль ионов кальция в коллоидной стабильности мицелл казеина / А.М. Осинцев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 1. – С. 63–67.

4. Покровский В.М. Физиология человека / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2007. – 656 с.

5. Буферная емкость молочных смесей, восстановленных различными типами вод / О.И. Каргина [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – № 3. – С. 91–96.

6. Характеристика состава и свойств смесей для искусственного вскармливания при разведении питьевой водой разного типа / Н.А. Белоконова [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2015. – Т. 13, № 2. – С. 17–21.

7. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия: учеб. для хим. технолог. спец. Вузов / Л.И. Антропов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1984. – 519 с.

References

1. Tutelian V.A., Kon I.Ia. Detskoe pitanie: Rukovodstvo dlia vrachei [Baby food: A guide for doctors]. 3-e pererabotannoe i dopolnenoe. Moscow, Medical Information Agency – Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2013. 744 p.

2. Skidan I.N., Kaznacheev K.S., Kirilova A.V., Guliaev A.E. Funktsionalnye pishchevye nutrienty v sostave detskikh adaptirovannykh smesei na osnove tselnogo kozego moloka [Functional food nutrients in the composition of children's adapted mixtures based on whole goat milk]. Voprosy prakticheskoi pediatrii – Questions of practical pediatrics, 2015, no. 4, pp. 38–48.

3. Osintsev A.M., Braginskii V.I., Lapshakova O.Iu. , Chebotarev A.L. Rol ionov kaltsiia v kolloidnoi stabilnosti mitsell kazeina [The role of calcium ions in the colloidal stability of casein micelles]. Tekhnika i tekhnologiia pishchevykh proizvodstv – Tekhnika and technology of food production, 2009, no. 1, pp. 63–67.

4. Pokrovskii V.M., Korotko G.F. Fiziologiia cheloveka [Human physiology]. Moscow, Medicine, Meditsina, 2007. 656 p.

5. Kargina O.I., Belokonova N.A., Tiunova E.Iu., Astriukhina I.I. Bufernaia emkost molochnykh smesei, vosstanovlennykh razlichnymi tipami vod [Buffer capacity of milk mixtures reconstituted with various types of water]. Voprosy pitaniia – Nutrition issues, 2016, no. 3, pp. 91–96.

6. Belokonova N.A., Sannikova N.E., Borodulina T.V., Lelekova R.P., Astriukhina I.I. Kharakteristika sostava i svoistv smesei dlia iskusstvennogo vskarmlivaniia pri razvedenii pit'evoi vodoi raznogo tipa [Characteristics of the composition and properties of mixtures for artificial feeding when diluted with drinking water of various types.]. Voprosy detskoi dietologii – Questions of children's dietology, 2015, vol. 2, no. 13, pp. 17–21.

7. Antropov L.I. Teoreticheskaia elektrokhimiia [Theoretical electrochemistry]. 4-e izdanie pererabotannoe i dopolnennoe. Moscow, Vysshaia shkola, 1984, 519 p.

УДК [546.92+546.98]:54.062

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА БИЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ (II) И ПАЛЛАДИЯ (II)

Салищева О.В., Молдагулова Н.Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, e-mail: olimpkemtipp@mail.ru

Основываясь на результатах исследования реакций замещения лигандов в биядерных комплексах платины (II) и палладия (II), разработана методика количественного определения ацидолигандов (ионов SCN^-, Cl^-, Br^- и I^-) при их совместном присутствии. Необходимым этапом в методике анализа биядерных комплексных соединений является разрушение химических связей центрального атома с лигандами. В ходе изучения реакционной способности синтезированных биядерных соединений платины и палладия было показано, что вследствие высокой прочности комплексов и их низкой растворимости полное вытеснение ионов Cl^-, Br^- и I^- из внутренней сферы биядерных комплексов может быть достигнуто действием избытка аммиака или этилендиамина. Полное вытеснение тиоцианат-ионов из внутренней сферы биядерных комплексов происходит лишь в случае обработки комплексов избытком этилендиамина. Количественное определение ацидолигандов осуществляли методом потенциометрического титрования нитратом серебра раствора, полученного обработкой избытком этилендиамина или аммиака навески комплекса с последующей нейтрализацией избытка основания разбавленным раствором азотной кислоты. Потенциометрическое титрование проводили с использованием сереброселективного электрода марки «ХС-Ag-001», откалиброванного по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряного электрода сравнения на иономере-кондуктометре марки АНИОН-4145. Статистическая обработка результатов анализа синтезированных биядерных комплексов показала, что погрешности в определении ионов SCN^-, Cl^-, Br^- и I^- с применением данной методики не превышают погрешностей в определении этих ионов в других комплексах традиционными методами. По величине потенциала, при котором наблюдается скачок, можно судить и о качественном составе ацидолигандов биядерного комплексного соединения.

Ключевые слова: биядерные комплексы, ацидолиганды, потенциометрическое титрование, анализ

METHOD OF QUANTITATIVE ANALYSIS OF BINUCLEAR COMPLEXES OF PLATINUM (II) AND PALLADIUM (II)

Salishcheva O.V., Moldagulova N.E.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: olimpkemtipp@mail.ru

Based on the results of a research of replacement reactions of ligands in the binuclear complexes of platinum (II) and palladium (II), the method of the quantitative definition of acidoligands (ions of SCN^-, Cl^-, Br^- and I^-) was developed at their collateral presence. Necessary stage in an analysis technique of the binuclear complexes is destruction of chemical bond of the central atom with ligands. During studying of reactivity of synthesized binuclear compounds of platinum and palladium it was shown that due to the high stability of complexes and their low solubility, the complete replacement of ions of Cl^-, Br^- and I^- from the internal sphere the binuclear complexes can be reached by action of excess of ammonia or ethylenediamine. The complete replacement of thiocyanate- ions from the internal sphere of binuclear complexes comes only in case of processing of complexes with an excess of ethylenediamine. The quantitative definition of acidoligands was carried out by method of potentiometric titration by silver nitrate of the solution received by processing by excess of ethylenediamine or ammonia of a complex with the subsequent neutralization of excess of the basis a dilute solution of hydrogen nitrate. Potentiometric titration was carried out with use of the silverselective electrode of the «XC-Ag-001» brand, calibrated on reference solutions of silver nitrate, and a chlorsilver electrode of comparison on an ionomer-conductometer of the ANION-4145 brand. Statistical processing of results of the analysis of the synthesized binuclear complexes showed that errors in definition of ions of SCN^-, Cl^-, $Br^-$and I^- with application of this method do not exceed errors in determination of these ions in other complexes by traditional methods. By the magnitude of potential at which the jump is observed it is possible to judge also qualitative composition of acidoligands of binuclear complex compound.

Keywords: binuclear complexes, acidoligands, potentiometric titration, analysis

Ранее [1–3] был получен ряд биядерных комплексов платины и палладия с тиоцианатными, бромидными и иодидными мостиками. Учитывая достаточно высокую прочность синтезированных комплексов и их низкую растворимость, встал вопрос о поиске метода, позволяющего определять содержание ацидолигандов.

Авторами работы [4] предложен метод ионной хроматографии для одновременного определения содержания хлора, фтора, йода и брома. Однако он применим только для анализа органических соединений. В работе [5] представлена цветометрическая методика определения ионов хлора в водных растворах, основанная на окислении хлорид-ионов с последующей экстракцией хлора. Известно о применении метода ионометрии для определения бромидов, хлоридов и нитратов в лекарственном растительном сырье [6]. Для определения тиоцианат-ионов предложен метод капиллярного электрофореза [7]. Однако описанные методы предполагают присутствие в рас-

творе либо растворимого соединения, либо свободных галогенид- и тиоцианат-ионов.

Основываясь на результатах исследования реакций замещения лигандов, нами были разработаны методы анализа биядерных комплексов платины (II) и палладия (II), позволяющие определять содержание ацидолигандов с достаточной точностью и при их совместном присутствии. Разработанная методика не требует использования дорогостоящего оборудования и реактивов, доступна и проста в исполнении, что особенно актуально при проведении большой серии исследований с целью мониторинга процесса комплексообразования.

Определение содержания галогенид- и тиоцианат-ионов

Необходимым этапом в методике анализа комплексных соединений является разрушение связей центрального атома с лигандами. В ходе изучения реакционной способности синтезированных биядерных соединений платины и палладия было показано, что полное вытеснение ацидолигандов (Cl^-, Br^- и I^-) из внутренней сферы может быть достигнуто действием избытка аммиака или этилендиамина (en), например:

$$[Br_2Pt(\mu\text{-}Br)_2Pt(NH_3)_2] + NH_{3\ изб} =$$

$$= 2[Pt(NH_3)_4]^{2+} + 4Br^-,$$

$$[(NH_3)_2Pd(\mu\text{-}I)_2Pd(NH_3)_2]Cl_2 + en_{\ изб} =$$

$$= 2[Pden(NH_3)_2]^{2+} + 2I^- + 2Cl^-.$$

Полное вытеснение тиоцианат-ионов из внутренней сферы комплексов происходит лишь в случае обработки комплексов избытком этилендиамина:

$$[Cl_2Pt(\mu\text{-}SCN)_2Pt(NH_3)_2] + en_{\ изб} =$$

$$= [Pten_2]^{2+} + [Pten(NH_3)_2]^{2+} + 2SCN^- + 2Cl^-,$$

$$[Cl_2Pt(\mu\text{-}SCN)_2Pt(NH_3)_2] + NH_{3\ изб} =$$

$$= [(NH_3)_2Pt(\mu\text{-}SCN)_2Pt(NH_3)_2]^{2+} + 2Cl^-.$$

Это позволило разработать методику количественного определения содержания ионов SCN^-, Cl^-, Br^- и I^- в комплексных соединениях.

С этой целью навеску комплекса обрабатывали избытком концентрированного раствора этилендиамина (или аммиака) при нагревании на водяной бане. После полного растворения комплекса раствор охлаждали, нейтрализовали избыток основания разбавленной азотной кислотой.

Исследуемый раствор титровали потенциометрически раствором нитрата серебра с использованием ионселективного электрода, обратимого относительно ионов серебра (I), и хлорсеребряного электрода сравнения [8–10].

Экспериментальная часть

Определение содержания галогенид- и тиоцианат-ионов

Для потенциометрического титрования исследуемых соединений навеску комплекса (0,03–0,06 г) обрабатывали 5 $см^3$ 25%-ного раствора аммиака (или 3 $см^3$ 70%-ного раствора этилендиамина) при нагревании на водяной бане в течение 30–60 мин до полного растворения комплекса. Раствор охлаждали, нейтрализовали избыток основания разбавленной азотной кислотой (1 : 3) до pH = 3 по индикаторной бумаге, доводили объем раствора до 50 $см^3$ 0,3 моль/$дм^3$ раствором $NaNO_3$. Аминные комплексы палладия разлагаются в кислой среде, поэтому нейтрализацию растворов комплексов палладия азотной кислотой после обработки избытком этилендиамина проводили только до pH = 7.

В исследуемый раствор погружали ионселективный электрод, обратимый относительно ионов серебра (I), марки «Эком-Ag» (или марки «ХС-Ag-001»), откалиброванный по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряный электрод сравнения. Хлорсеребряный электрод соединяли с исследуемым раствором через солевой мостик, заполненный 0,3 моль/$дм^3$ раствором $NaNO_3$.

Исследуемый раствор титровали потенциометрически раствором нитрата серебра с = 0,025 моль/$дм^3$. Измерения концентрации ионов Ag^+ производили на иономере-кондуктометре марки АНИОН-410.

Предварительно проводили *титрование смеси* 0,0120 г *KCl* и 0,0156 г *KCNS* (взятых в эквимольных количествах), растворенных в 50 $см^3$ 0,3 М раствора $NaNO_3$, раствором 0,025 М $AgNO_3$. На кривой титрования наблюдаются два четких скачка при потенциалах 160 и 330 мВ (Ag-селективный электрод марки «Эком-Ag»). Расход титранта до первого скачка (на осаждение SCN^--группы) V_1 = 6,4 $см^3$, расход титранта до второго скачка (на осаждение хлорид-ионов) V_2 = 6,4 $см^3$. На рис. 1 приводится кривая титрования комплекса (0,0454 г) $[(NH_3)_2Pt(SCN)_2Pt(NH_3)_2]Cl_2$. По кривой титрования может быть найдено содержание тиоцианатных групп и хлора при их совместном присутствии.

Таблица 1

Результаты титрования биядерных комплексов с тиоцианатными мостиками

Исследуемое соединение	Навеска, г	Расход титранта*, см^3		Содержание SCN,%		Содержание Cl,%	
		до I скачка	до II скачка	найдено	абсолютная погрешность	найдено	абсолютная погрешность
$[(NH_3)_2Pt(SCN)_2Pt(NH_3)_2]Cl_2$	0,0530	6,7	6,8	18,36	0,36	11,39	0,39
	0,0485	6,1	6,1	18,26	0,26	11,16	0,16
	0,0454	5,5	5,5	17,59	0,41	10,75	0,25
	0,0500	6,3	6,2	18,30	0,30	11,01	0,01
	0,0650	8,2	8,3	18,32	0,32	11,33	0,33
	0,0430	5,3	5,2	17,90	0,10	10,73	0,27
	0,0350	4,3	4,4	17,84	0,16	11,16	0,16
				ДИ** = 18,08 ± 0,42 теоретическое содержание 18,00		ДИ = 11,08 ± 0,37 теоретическое содержание 11,00	
$[Cl_2Pt(SCN)_2Pt(NH_3)_2]$	0,0379	5,2	5,1	19,41	0,41	11,64	0,03
	0,0518	6,7	6,7	18,78	0,22	11,48	0,13
	0,0449	6,0	6,1	19,40	0,40	12,06	0,45
	0,0550	7,1	7,0	18,74	0,26	11,30	0,31
	0,0435	5,8	5,9	19,36	0,36	12,04	0,43
	0,0505	6,6	6,6	18,95	0,05	11,60	0,01
	0,0410	5,5	5,5	19,48	0,48	11,91	0,30
				ДИ = 19,16 ± 0,45 теоретическое содержание 19,00		ДИ = 11,72 ± 0,41 теоретическое содержание 11,61	
$[Pt(NH_3)_4][Cl_2Pt(SCN)_2Pt(SCN)_2]$	0,0501	8,4	4,2	24,34	0,05	7,44	0,02
	0,0480	8,1	4,0	24,50	0,21	7,40	0,02
	0,0500	8,2	4,1	23,81	0,48	7,28	0,14
	0,0435	7,4	3,8	24,70	0,41	7,75	0,33
	0,0473	7,8	3,8	23,94	0,35	7,13	0,29
	0,0538	9,1	4,5	24,56	0,27	7,42	0,00
	0,0399	9,6	3,4	24,02	0,27	7,56	0,14
				ДИ = 24,27 ± 0,48 теоретическое содержание 24,29		ДИ = 7,43 ± 0,28 теоретическое содержание 7,42	

Примечание. *Раствор $AgNO_3$ с = 0,025 моль/дм^3. **Доверительный интервал определяемой величины ДИ = $\overline{x} \pm c$.

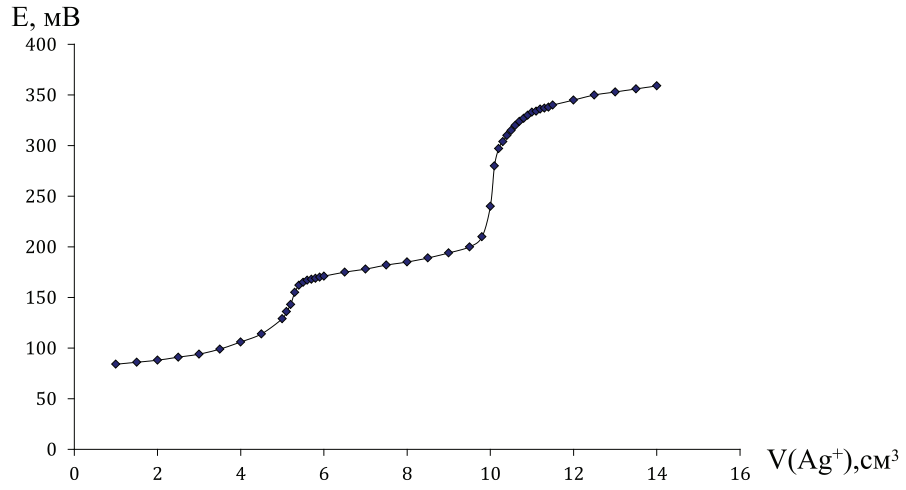


Рис. 1. Кривая потенциометрического титрования биядерного комплекса $[(NH_3)_2Pt(SCN)_2Pt(NH_3)_2]Cl_2$

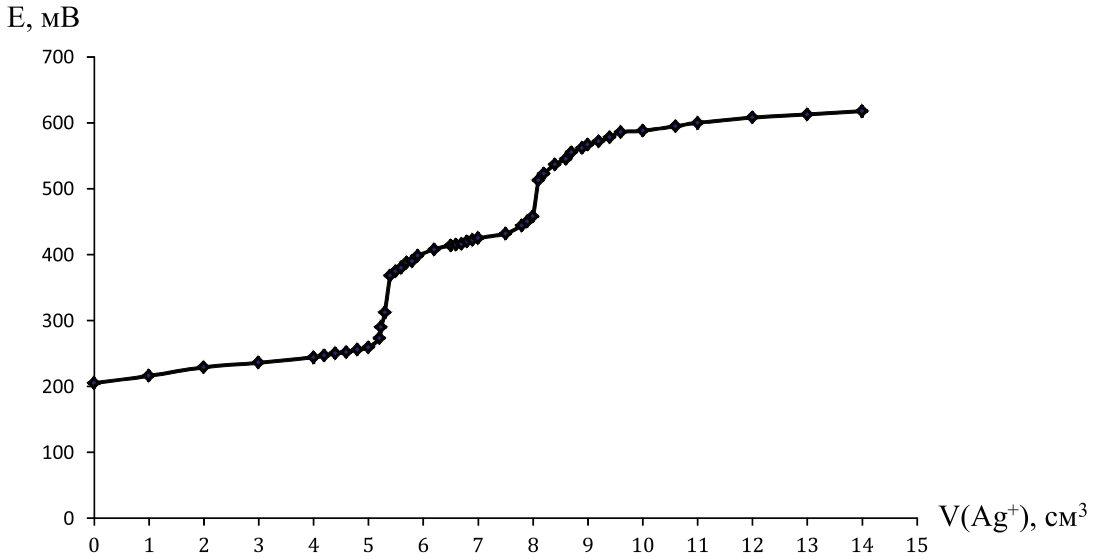


Рис. 2. Кривая потенциометрического титрования биядерного комплекса $[Cl(NH_3)_2PtBrPtm_2Br](NO_3)$

В табл. 1 приведены результаты титрования некоторых биядерных комплексов с тиоцианатными мостиками.

Определение содержания хлорид-, бромид- и иодид-ионов потенциометрическим титрованием проводили с использованием сереброселективного электрода марки «ХС-Ag-001», откалиброванного по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряного электрода сравнения на иономере-кондуктометре марки АНИОН-4145.

Предварительно проводили *титрование смеси KI*, *KBr*, *KCl*, взятых в эквимольных количествах, раствором нитрата серебра c = 0,025 моль/дм^3. Навески 0,010 г KCl, 0,016 г KBr и 0,022 г KI растворяли в 50 см^3 0,3 моль/дм^3 раствора $NaNO_3$. На кривой титрования наблюдаются три четких скачка при потенциалах 60, 350 и 450 мВ. Расход титранта до первого скачка (осаждение I^-) V_1 = 5,4 см^3, расход титранта до второго скачка (осаждение Br^-) V_2 = 5,4 см^3 и до третьего скачка (осаждение Cl^-) V_3 = 5,4 см^3.

На рис. 2 приводится кривая титрования биядерного комплекса (m = 0,0500 г) $[Cl(NH_3)_2PtBrPtm_2Br](NO_3)$ (где m – метиламин). Расход титранта до первого скачка (осаждение Br^-) V_1 = 5,4 см^3, расход титранта до второго скачка (осаждение Cl^-) V_2 = 2,7 см^3.

Таблица 2

Результаты титрования биядерных комплексов с галогенидными мостиками

Соединение	Навеска, г	Расход титранта*, см³		Содержание I, %		Содержание Br, %		Содержание Cl, %	
		до I скачка	до II скачка	найдено	абсолютная погрешность	найдено	абсолютная погрешность	найдено	абсолютная погрешность
$[Br_2Pt(\mu–I_2)Pten]$	0,0350	3,2	3,2	29,03	0,37	18,29	0,22	–	
	0,0460	4,3	4,3	29,68	0,28	18,70	0,19		
	0,0484	4,5	4,5	29,55	0,15	18,61	0,10		
	0,0454	4,2	4,3	29,41	0,01	18,96	0,45		
	0,0515	4,8	4,8	29,59	0,19	18,64	0,13		
	0,0443	4,1	4,2	29,39	0,02	18,96	0,45		
	0,0512	4,8	4,7	29,77	0,37	18,36	0,15		
				ДИ** = 29,49 ± 0,23 теоретическое содержание 29,40		ДИ = 18,65 ± 0,24 теоретическое содержание 18,51		–	
$[(NH_3)_2Pt(\mu–I_2)Pt(NH_3)_2]Cl_2$	0,0503	5,1	5,2	32,19	0,01	–		9,18	0,01
	0,0435	4,4	4,5	32,12	0,08			9,18	0,01
	0,0520	5,2	5,3	31,75	0,44			9,05	0,12
	0,0445	4,5	4,6	32,11	0,08			9,17	0,01
	0,0505	5,1	5,3	32,10	0,09			9,32	0,15
	0,0489	4,9	5,0	31,82	0,38			9,08	0,10
	0,0438	4,5	4,6	32,66	0,47			9,33	0,16
				ДИ = 32,11 ± 0,27 теоретическое содержание 32,19		–		ДИ = 9,19 ± 0,10 теоретическое содержание 9,17	
$[Cl(NH_3)_2Pt(\mu–Br)Pt(m)_2Br]NO_3$	0,0500	5,4	2,7	–		21,60	0,08	4,79	0,02
	0,0480	5,2	2,6			21,67	0,15	4,81	0,04
	0,0514	5,6	2,7			21,79	0,27	4,66	0,12
	0,0530	5,6	2,8			21,13	0,39	4,69	0,08
	0,0466	5,1	2,6			21,89	0,37	4,95	0,18
	0,0600	6,6	3,3			22,00	0,48	4,88	0,11
	0,0550	6,0	3,1			21,82	0,30	5,01	0,23
				–		ДИ = 21,70 ± 0,26 теоретическое содержание 21,52		ДИ = 4,83 ± 0,12 теоретическое содержание 4,77	

Примечание. *Раствор $AgNO_3$ c = 0,025 моль/дм³. **Доверительный интервал определяемой величины ДИ = $\overline{x} \pm c$.

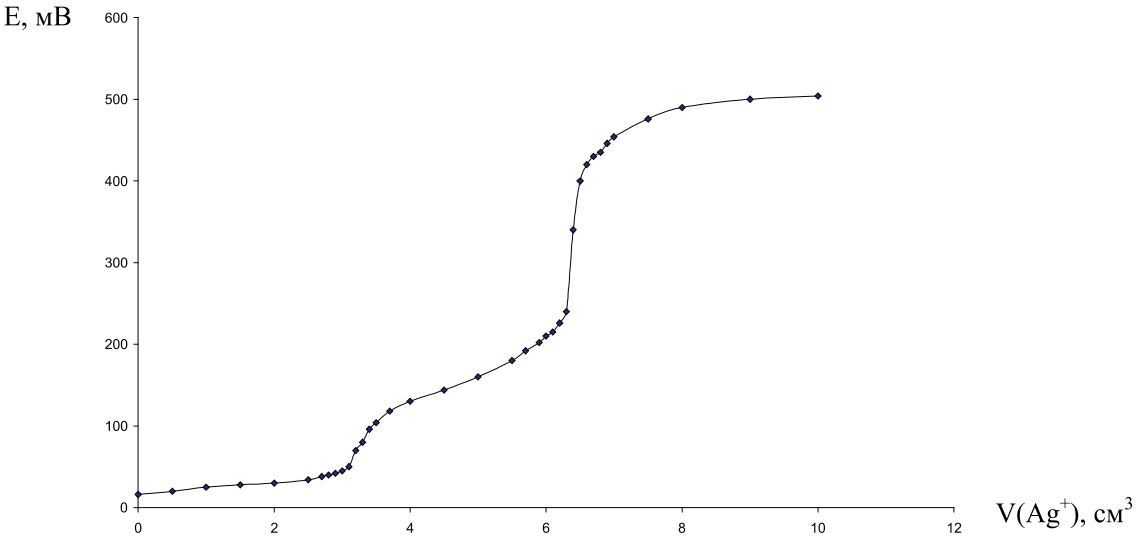


Рис. 3. Кривая потенциометрического титрования биядерного комплекса [Br_2PtI_2Pten]

На рис. 3 приводится кривая титрования биядерного комплекса [Br_2PtI_2Pten] (m = 0,0350 г). Расход титранта до первого скачка (осаждение I^-) V_1 = 3,2 см^3, расход титранта до второго скачка (осаждение Br^-) V_2 = 3,2 см^3.

В табл. 2 приведены результаты титрования некоторых биядерных комплексов с галогенидными мостиками. Статистическая обработка результатов анализа показала, что погрешности в определении галогенид- и тиоцианат-ионов с применением данной методики не превышают погрешностей в определении этих ионов в других комплексах традиционными методами. Исследование мономерных комплексов родия и иридия показало возможность применения данной методики для количественного определения галогенид- и тиоцианат-ионов в комплексных соединениях других металлов.

Заключение

Таким образом, метод количественного определения ацидолигандов, основанный на потенциометрическом титровании нитратом серебра раствора, полученного обработкой избытком этилендиамина или аммиака навески комплекса, позволяет найти содержание тиоцианатных групп, хлорид-, бромид- и иодид-ионов при их совместном присутствии. Кроме того, по величине потенциала можно судить о качественном составе ацидолигандов комплексного соединения. Количественное определение ацидолигандов комплексных соединений иридия и родия показало возможность применения данной методики для изучения других комплексных соединений, как мономерных, так и димерных.

Список литературы

1. Гельфман М.И. Биядерные тиоцианатные комплексы платины (II). Неэлектролиты. Анионные комплексы / М.И. Гельфман, О.В. Салищева // Журнал неорганической химии. – 2000. – Т. 45, № 6. – С. 950.

2. Салищева О.В. Катионные биядерные комплексы платины (II) с бромидными мостиками / О.В. Салищева, Н.Е. Молдагулова, М.И. Гельфман // Журнал неорганической химии. – 2004. – Т. 49, № 1.– С. 54.

3. Гельфман М.И. Биядерные иодидные комплексы платины / М.И. Гельфман, О.В. Салищева // Журнал неорганической химии. – 2002. – Т. 47, № 11. – С. 1848.

4. Ревельский И.А., Ревельский А.И., Капинус Е.Н. Способ одновременного определения содержания фтора, хлора, брома, йода, серы и фосфора в органических соединениях // Патент на изобретение RUS 2395806 17.10.2008.

5. Горбунова М.О. Цветометрическое определение хлоридов в воде с использованием газовой экстракции и метилового оранжевого / М.О. Горбунова, Е.М. Баян, А.В. Шевченко, М.С. Кулягинова // Аналитика и контроль. – 2017. – Т. 21, № 3. – С. 274–280.

6. Никулин А.В. Определение хлоридов, бромидов, нитратов методом ионометрии в лекарственном растительном сырье / А.В. Никулин, Г.С. Терещенко, О.Г. Потанина // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. – 2016. – № 1(11). – С. 37–41.

7. Аглюкова Э.Р. Способ определения тиоцианат-ионов в пробах природных и сточных вод методом капиллярного электрофореза / Э.Р. Аглюкова, Е.Н. Аликина // Вода: химия и экология. – 2015. – № 4. – С. 72–75.

8. Кусакина Н.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа / Н.А. Кусакина, Т.И. Бокова, Г.П. Юсупова. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 118 с.

9. Золотов Ю.А. Введение в аналитическую химию. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 266 с.

10. Нечипоренко А.П. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. Электрохимические методы. Потенциометрия и кондуктометрия. – Спб.: НИУ ИТМО, 2013. – 34 с.

References

1. Gel'fman M.I., Salishcheva O.V. Binuclear Platinum (II) Thiocyanate Complexes: Nonelectrolytes and Anionic Complexes [Biiadernye tiotsianatnye kompleksy platiny(II). Neelektrolity. Anionnye kompleksy]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2000, no. 6, pp. 950.

2. Salishcheva O.V., Moldagulova N.E., Gel'fman M.I. Cationic Binuclear Platinum (II) Complexes with Bromide Bridges [Kationnye biiadernye kompleksy platiny(II) s bromidnymi mostikami]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2004, no. 1, pp. 54.

3. Gel'fman M.I., Salishcheva O.V. Binuclear Platinum Iodo Complexes [Biiadernye iodidnye kompleksy platiny]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2002, no. 11, pp. 1848.

4. Revel'skij I.A., Revel'skij A.I., Kapinus E.N. Sposob odnovremennogo opredeleniya soderzhaniya ftora, hlora, broma, joda, sery i fosfora v organicheskih soedineniyah // Patent na izobretenie RUS 2395806 17.10.2008.

5. Gorbunova M.O., Baian E.M., Shevchenko A.V. Digital colorimetric determination of chlorides in water using gas extraction and methyl orange [Tsvetometricheskoe opredelenie khloridov v vode s ispol'zovaniem gazovoi ekstraktsii i metilovogo oranzhevogo]. Analitika i kontrol' – Analytics and control, 2017, no. 3, pp. 274–280.

6. Nikulin A.V., Tereshchenko G.S., Potanina O.G. Determination of chloride, bromide and nitrate by ionometry in the medicinal plant raw materials [Opredelenie khloridov, bromidov, nitratov metodom ionometrii v lekarstvennom rastitel'nom syr'e]. Voprosy obespecheniia kachestva lekarstvennykh sredstv – Questions of quality assurance of medicines, 2016, no. 1, pp. 37–41.

7. Agliukova E.R., Alikina E.N. The method of determining of thiocyanate-ions in the samples of natural and waste waters using capillary electrophoresis [Sposob opredeleniia tiotsianat-ionov v probakh prirodnykh i stochnykh vod metodom kapilliarnogo elektroforeza]. Voda: khimiia i ekologiia – Water: chemistry and ecology, 2015, no. 4, pp. 72–75.

8. Kusakina N.A., Bokova T.I., Iusupova G.P. Analiticheskaia khimiia i fiziko-khimicheskie metody analiza [Analytical Chemistry and Physical-Chemical Methods of Analysis]. Novosibirsk, NGAU, 2010, 118.

9. Zolotov Iu.A. Vvedenie v analiticheskuiu khimiiu [Introduction to Analytical Chemistry]. Moscow, Laboratoriia znanii, 2016, 266.

10. Nechiporenko A.P. Fiziko-khimicheskie (instrumental'nye) metody analiza. Elektrokhimicheskie metody. Potentsiometriia i konduktometriia [Physico-chemical (instrumental) methods of analysis. Electrochemical methods. Potentiometry and conductometry]. St. Petersburg, NIU ITMO, 2013, 34.

УДК 661.847:[54.057+544.4]

СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНОГО ФЕРРИТА ЦИНКА

Семченко В.В., Шабельская Н.П., Кузьмина Я.А.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: nina_shabelskaya@mail.ru

В работе проанализирован процесс образования наноразмерного феррита цинка со структурой шпинели. Обсужден возможный механизм формирования структуры материала, включающий промежуточную стадию образования комплексных соединений катионов переходных металлов, входящих в состав шпинели, с лимонной кислотой и их последующего разрушения при нагревании. Синтез проходит через стадию образования малорастворимых гидроксидов цинка (II) и железа (III) при взаимодействии с гидроксидом аммония с последующим растворением гидроксидов. Возможно также протекание процессов формирования нанодисперсных порошков оксидов железа и феррита цинка, которые в дальнейшем могут выступать в качестве зародыша образования целевого продукта, и аммиачных комплексов цинка. Изучение морфологии поверхности полученных материалов позволяет сделать вывод, что в формировании образцов с пористой каркасной структурой принимают участие прекурсоры аналогичной формы. Полученные образцы охарактеризованы при помощи рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, метода БЕТ. Согласно результатам рентгенофазового анализа, образец представляет собой феррит цинка (II) со структурой кубической шпинели. Показано, что материал имеет развитую поверхность, средний размер кристаллитов, определенный по уравнению Дебая – Шеррера, составляет 3 нм, площадь поверхности по методу BET – 207 м^2/г. Предложенный метод формирования структуры феррита цинка отличается простотой аппаратурного оформления и небольшим набором технологических операций. Кроме того, он исключает использование вредных для здоровья органических веществ. Установлена высокая каталитическая активность синтезированных материалов в процессе окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода. Полученные результаты могут быть полезны для разработки материалов для очистки сточных вод промышленных предприятий, использующих в производственных циклах органические красители.

Ключевые слова: феррит цинка, шпинели, синтез, катализатор Фентона, окислительная деструкция органического красителя

THE SYNTHESIS AND CATALYTIC PROPERTIES OF THE NANOSIZED ZINC FERRITE

Semchenko V.V., Shabelskaya N.P., Kuzmina Ya.A.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: nina_shabelskaya@mail.ru

In the present work, the process of formation of nano-sized zinc ferrite with a spinel structure is analyzed. A possible mechanism for the formation of material structure, including intermediate formation of complexes of transition metal cations (being a part of composition of spinel) with citric acid and their subsequent heat destruction, was discussed. The synthesis passes through the formation of low-soluble zinc (II) and iron (III) hydroxides by reaction with ammonium hydroxide, followed by dissolution of hydroxides. Formation of nanodispersed powders of iron oxides and zinc ferrite, which can further act as a nucleus for obtaining a target product, and ammonium zinc complexes is also possible. The study of surface morphology of obtained materials allows us to conclude that precursors of a similar shape participate in formation of samples with a porous framework structure. The samples obtained were characterized using X-ray diffraction, scanning electron microscopy, BET method. Based on the results of X-ray phase analysis, the sample is ferrite of zinc (II) with cubic spinel structure. It is shown that the material has a developed surface, the average crystallite size determined by the equation of Debye-Scherrer is 3 nm, the BET surface area is 207 m^2/g. Method of formation of zinc ferrite structure has a simple hardware design and small set of operations. In addition, it eliminates the use of harmful organic substances. High catalytic activity of synthesized materials was detected during oxidative degradation of methyl orange in the presence of hydrogen peroxide. The results obtained can be useful for development of materials for wastewater treatment of industrial facilities using organic dyes in production cycles.

Keywords: ferrit of zink, spinel, synthesis, Fenton catalyst, oxidative degradation of organic dye

Шпинели на основе феррита цинка $ZnFe_2O_4$ находят применение в качестве магнитомягких материалов [1], известно их использование в качестве анодов литий-ионных аккумуляторов [3], сенсоров [4], адсорбентов катионов тяжелых металлов [5]. Немаловажным при использовании феррита цинка является его нетоксичность. С этим связано возможное применение $ZnFe_2O_4$ в медицине [2]. Одной из активно развивающихся областей применения феррита цинка является использование его в качестве катализатора ряда важных процессов. Так, в работах [6–8] обсуждено применение феррита цинка в качестве фотокатализатора. Имеются сведения [8] о высокой каталитической активности феррита цинка в процессах разложения органических веществ.

Важным свойством гетерогенных катализаторов является развитая поверхность, что обеспечивает большое количество активных центров на единицу массы образца. В связи с этим в последние годы внимание исследователей обращено к изучению возможностей синтеза наноразмерных материалов со структурой шпинели.

Для синтеза мелкокристаллических образцов ферритов используют различные методы, в частности – разложение органического компонента реакционной смеси, в качестве которого могут выступать поливиниловый спирт [5], полиэтиленгликоль [9], мочевина [6] и другие.

Для получения нанокристаллических образцов феррита цинка может быть использован метод, предложенный в работе [6]. Данный метод заключается в растворении нитратов цинка (II) и железа (III) в водно-этанольной смеси, с добавлением мочевины. Смесь подвергают ультразвуковому диспергированию при температуре 60 °C, выдерживают в течение 48 часов, добавляют гидроксид натрия до значений pH 9–10, центрифугируют, промывают, высушивают при температуре 60 °C, вакуумируют, спекают при температуре 550 °C в течение 3 часов. В работе [10] предложена методика синтеза из свежеприготовленного оксида цинка с добавлением хлорида железа (III), аскорбиновой кислоты и гидротермальной обработке полученной смеси в течение 12 часов при температуре 180 °C. Аналогично в работе [4] нитраты железа (III) и цинка (II) растворяют в смеси этанол-этиленгликоль в соотношении (1:9), помещают в автоклав, выдерживают при температуре 180 °C в течение 24 часов, центрифугируют, промывают, высушивают при температуре 80 °C в течение 12 часов, отжигают при температуре 400 °C в течение 2 часов.

Сочетанием описанных выше методик может быть способ, предложенный авторами [7], согласно которому синтез проводят с применением ультразвуковой обработки. При этом нитраты железа (III) и цинка (II) растворяют в этиленгликоле, добавляют ацетат натрия и подвергают гидротермальной обработке при температуре 160 °C в течение 12 часов.

В работе [9] предложен метод, согласно которому нитраты цинка (II) и железа (III) смешивают с раствором полиэтиленгликоля, добавляют ацетат натрия и помещают в СВЧ-печь при мощности 120 Ватт в течение 5 минут и 700 Ватт в течение 10 минут, затем высушивают при температуре 60 °C в течение 24 часов.

Как видно из приведенного обзора методов синтеза мелкокристаллических порошков, для получения шпинелей $ZnFe_2O_4$ используют многостадийные методики с применением сложного аппаратурного обеспечения. Для обеспечения диспергирования образующегося продукта часто используют вредные для здоровья органические прекурсоры.

В этой связи целью настоящего исследования являлась разработка простого метода синтеза наноразмерного феррита цинка без применения в качестве исходных вредных органических веществ и изучение его свойств в процессе каталитической деструкции пероксидом водорода органического красителя.

Материалы и методы исследования

Для получения образцов феррита цинка $ZnFe_2O_4$ были использованы растворы с концентрацией 1,0 моль/л. Приготовление растворов проводили из реактивов $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ квалификации «хч». Смесь растворов нитрата железа (III) (50 мл) и нитрата цинка (II) (25 мл) помещали в реакционный сосуд из нержавеющей стали, добавляли 15 мл 25 %-ного водного раствора аммиака, затем смешивали с 25 мл раствора лимонной кислоты с концентрацией 6,25 моль/л, выпаривали до образования сухого остатка и подвергали термообработке до полного разложения органической составляющей.

Фазовый состав изучали на дифрактометре ARL X'TRA, использовали Cu-*Kα* излучение. Уточнение структуры фаз, входящих в образцы, проводили по рефлексам 220, 311, 222, 422, 333, 440. Микрофотографии образцов были получены на сканирующем электронном микроскопе. Определение площади поверхности проводили методом BET на аппарате ChemiSorb 2750 в Центре коллективного пользования «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.

Расчет среднего размера кристаллов D, нм, проводили по уравнению Дебая – Шеррера [11] по линии 311:

$$D = 0{,}9 \cdot \lambda / (B \cdot \cos \theta),$$

где $\lambda = 1{,}5406$ нм – длина волны, B – полная ширина пика на уровне половины интенсивности, θ – угол дифракции.

Изучение каталитической активности синтезированных материалов проводили на модельном растворе метилового оранжевого с концентрацией 40 мг/л. Подробно методика рассмотрена в работе [12]. В типичной процедуре 10 мл исходного раствора метилового оранжевого помещали в плоскодонную колбу, добавляли 0,0010 г катализатора и 2 мл раствора пероксида водорода с концентрацией 3 % (мас.). Определение концентрации метилового оранжевого в растворе проводили фотоколориметрическим методом с помощью прибора КФК-2-УХЛ 4,2 через определенные интервалы времени. Расчет количества метилового оранжевого, подвергшегося каталитической деструкции (P), проводили по формуле

$$P = \frac{C_0 - C}{C_0} 100,$$

где C_0 – начальная концентрация раствора, мг/л; C – текущее значение концентрации раствора, мг/л.

Результаты исследования и их обсуждение

При смешивании растворов исходных солей с раствором аммиака в ходе приготовления образцов наблюдали образование аморфного осадка бурого цвета, затем его растворение. Процессы, происходящие в системе, могут быть представлены следующими уравнениями.

1. Образование малорастворимых гидроксидов цинка (II) и железа (III) при взаимодействии с основанием:

$$Zn(NO_3)_2 + 2NH_3 \cdot H_2O = Zn(OH)_2 + 2NH_4NO_3,$$

$$Fe(NO_3)_3 + 3NH_3 \cdot H_2O = Fe(OH)_3 + 3NH_4NO_3.$$

2. Растворение гидроксидов в избытке гидроксида аммония:

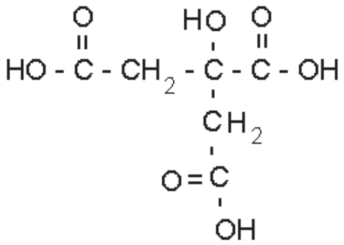
$$Zn(OH)_2 + 2NH_3 \cdot H_2O = (NH_4)_2[Zn(OH)_4],$$

$$Fe(OH)_3 + NH_3 \cdot H_2O = (NH_4)[Fe(OH)_4].$$

В рассматриваемых условиях возможно также протекание процессов формирования нанодисперсных порошков оксидов железа и феррита цинка [13], которые в дальнейшем могут выступать в качестве зародыша образования целевого продукта, и аммиачных комплексов цинка по реакции

$$Zn(NO_3)_2 + 4NH_3 = [Zn(NH_3)_4](NO_3)_2.$$

При введении в систему раствора лимонной кислоты, имеющей формулу



возможно образование комплексных соединений (подобно отмеченным в [14] для хромсодержащих систем) по реакциям

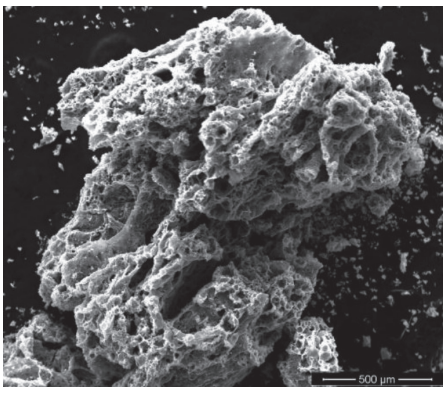
$$(NH_4)_2[Zn(OH)_4] + 2C_6H_8O_7 =$$

$$= (NH_4)_2[Zn(C_6H_6O_7)_2] + 4H_2O,$$

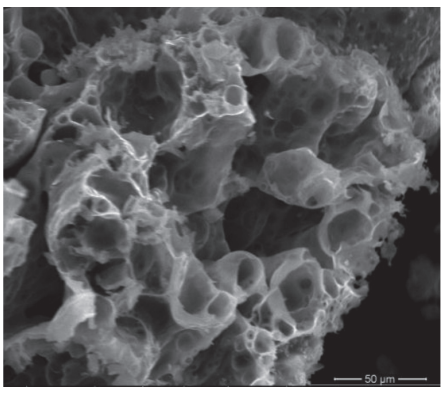
$$(NH_4)[Fe(OH)_4] + 2C_6H_8O_7 =$$

$$= (NH_4)[Fe(C_6H_6O_7)_2] + 4H_2O.$$

Изучение морфологии поверхности полученных материалов (рис. 1) позволяет сделать вывод, что в формировании образцов с пористой каркасной структурой принимают участие прекурсоры аналогичной формы.



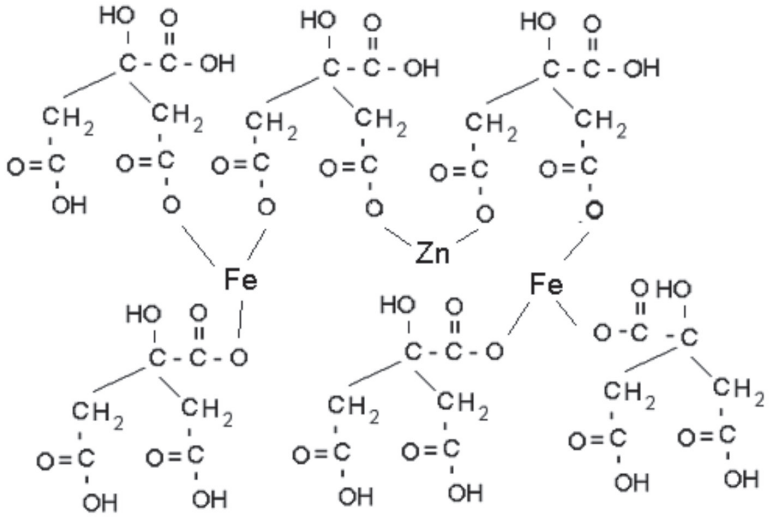
а)



б)

Рис. 1. Микрофотография образца феррита цинка (II). Увеличение: а) х 150; б) х 1274

В этой связи можно предположить, что формирование феррита цинка протекает через стадию образования хелатных комплексов цитратов с катионами переходных элементов



в соответствии с возможным уравнением реакции

$$(NH_4)_2[Zn(C_6H_6O_7)_2] + 2(NH_4)[Fe(C_6H_6O_7)_2] =$$
$$= [ZnFe_2(C_6H_6O_7)_2(C_6H_7O_7)_4] + 4NH_3.$$

Подобные комплексы имеют объемную структуру, которую будут сохранять образующиеся продукты процесса.

При дальнейшей термообработке прекурсоры разлагаются с интенсивным выделением газообразных веществ и формированием конечного продукта реакции

$$[ZnFe_2(C_6H_6O_7)_2(C_6H_7O_7)_4] + 27\ O_2 =$$
$$= ZnFe_2O_4 + 36CO_2 + 20H_2O.$$

Подтверждением предложенного механизма реакции может являться указанная в [14] возможность использования прекурсоров – комплексных солей переходных элементов – в синтезе оксидных соединений.

Протеканию процесса синтеза может способствовать экзотермическая реакция разложения нитрата аммония, образующегося при взаимодействии растворов солей с водным раствором аммиака.

Процесс завершается образованием пористой массы желтого цвета. При дальнейшем нагревании наблюдали разложение прекурсора с формированием кристаллического порошка кирпично-коричневого цвета с ячеистой структурой и порами большого диаметра (рис. 1). Площадь удельной поверхности, измеренная методом BET, составляет 207 м^2/г.

Согласно результатам рентгенофазового анализа (рис. 2) образец представляет собой феррит цинка (II) со структурой кубической шпинели (Franklinite, PDF Number 010-70-6490). Параметр элементарной ячейки a = 0,84440 нм.

Расчет среднего размера кристаллитов по уравнению Дебая – Шеррера по наиболее интенсивной линии дает результат D = 3,0 нм.

Предложенный метод формирования структуры феррита цинка отличается простотой аппаратурного оформления и небольшим набором технологических операций. Кроме того, он исключает использование вредных для здоровья органических веществ.

Изучение каталитической активности синтезированных материалов проводили на примере реакции окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода. В ходе проведенного исследования установлено, что синтезированный нанокристаллический феррит цинка проявляет высокую каталитическую активность в реакции Фентона. Временная зависимость количества метилового оранжевого, подвергшегося каталитической деструкции, приведена на рис. 3.

Согласно результатам проведенного исследования, в случае применения синтезированного катализатора $ZnFe_2O_4$ в процессе окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода при температуре реакции 86 °С удается достичь полного удаления органического вещества из водного раствора в течение 5 минут. Полученные результаты могут служить ориентиром для выбора материалов, перспективных для применения в системах очистки сточных вод промышленных предприятий, использующих в производственных циклах органические красители.

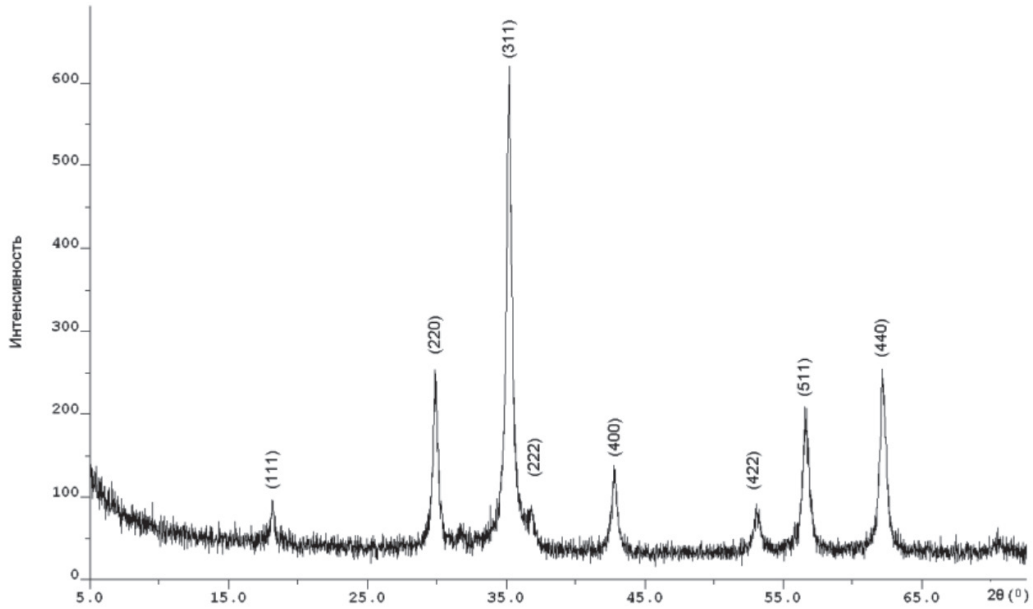


Рис. 2. Рентгенограмма образца феррита цинка (II)

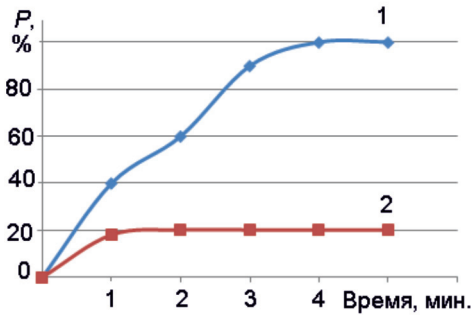


Рис. 3. Зависимость степени разложения органического красителя от времени протекания реакции: 1 – в присутствии катализатора $ZnFe_2O_4$, 2 – без катализатора

Выводы

1. Предложен простой метод получения наноразмерного феррита цинка из растворов солей соответствующих переходных элементов в среде водных растворов аммиака и лимонной кислоты. Обсужден механизм формирования структуры образцов через образование комплексных цитратов переходных элементов и их последующего разрушения при нагревании. Показана возможность получения гомогенной смеси, приводящей к формированию каркасной структуры феррита цинка. Определен по формуле Дебая – Шеррера средний размер кристаллитов образующегося феррита цинка, который составил 3 нм. Полученные образцы имеют сильно развитую поверхность и могут представлять интерес в качестве нетоксичных катализаторов, адсорбентов.

2. Изучены свойства синтезированного материала в процессе окислительной деструкции органического красителя в присутствии пероксида водорода. Проведение реакции при температуре 86 °C сопровождается полным удалением органического вещества из водного раствора в течение 5 минут. Полученные результаты могут служить ориентиром для выбора материалов, перспективных для применения в системах водоподготовки и обеспечения экологической безопасности промышленных предприятий, использующих в производственном процессе органические красители.

Список литературы

1. Yao Yu., Qin Ji., Chen H., Wei F., Liu X., Wang Ji., Wang S. One-pot approach for synthesis of N-doped TiO2/ZnFe2O4 hybrid as an efficient photocatalyst for degradation of aqueous organic pollutants // Journal of Hazardous Materials. – 2015. – vol. 291. – P. 28–37.

2. Meidanchi A., Akhavan O., Khoei S., Shokri A.A., Hajikarimi Z., Khansari N. ZnFe2O4 nanoparticles as radiosensitizers in radiotherapy of human prostate cancer cells // Materials Science and Engineering C. – 2015. – vol. 46. – P. 394–399.

3. Jin R., Liu H., Guan Ya., Zhou Ju., Chen G. ZnFe2O4/C nano discs as high performance anode material for lithium-ion batteries // Materials Letters. – 2015. – vol. 158. – P. 218–221.

4. Zhou X., Liu Ji., Wang C., Sun P., Hu X., Li X., Shimanoe K., Yamazoe N., Lu G. Highly sensitive acetone gas sensor based on porous ZnFe2O4 nanospheres // Sensors and Actuators B. – 2015. – vol. 206. – P. 577–583.

5. Jia Z., Qin Q., Liu Ji., Shi H., Zhang X., Hu R., Li S., Zhu R. The synthesis of hierarchical ZnFe2O4 architecture and their application for Cr(VI) adsorption removal from aqueous solution // Superlattices and Microstructures. – 2015. – vol. 82. – P. 174–187.

6. Xu Q., Feng Ji., Li L., Xiao Q., Wang Ju. Hollow ZnFe2O4/TiO2 composites: High-performance and recyclable visiblelight photocatalyst // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – vol. 641. – P. 110–118.

7. Song G., Xin F., Yin X. Photocatalytic reduction of carbon dioxide over ZnFe2O4/TiO2 nanobelts heterostructure in cyclohexanol // Journal of Colloid and Interface Science. – 2015. – vol. 442. – P. 60–66.

8. Lu D., Zhang Ya., Lin S., Wang L., Wang C. Synthesis of magnetic ZnFe2O4/graphene composite and its application in photocatalytic degradation of dyes // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – vol. 579. – P. 336–342.

9. Feng Ji., Wang Yu., Zou L., Li B., He X., Ren Yu., Lv Ya., Fan Z. Synthesis of magnetic ZnO/ZnFe2O4 by a microwave combustion method, and its high rate of adsorption of methylene blue // Journal of Colloid and Interface Science. – 2015. – vol. 438. – P. 318–322.

10. Zhang Ji., Song Ji-M., Niu H.-L., Mao C.-Ji., Zhang S.-Yi, Shen Yu-H. ZnFe2O4 nanoparticles: Synthesis, characterization, and enhanced gassensing property for acetone // Sensors and Actuators B. – 2015. – vol. 221. – pp. 55–62.

11. Jang. J.S., Hong S.J., Lee J.S. Synthesis of Zinc Ferrite and Its Photocatalytic Application under Visible Light // Journal of the Korean Physik Society. – 2009. – vol. 54, no. 1. – P. 204–208.

12. Синтез композиционного материала TiO2/Fe1,92Ti0,61O4/Fe2O3 и его каталитические свойства / Н.П. Шабельская [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9 (3). – С. 532–535.

13. Gopalan E.V., Al-Omari I.A., Malini K.A., Joy P.A., Kumar D.S., Yoshida Y., Anantharaman M.R. Impact of zinc substitution on the structural and magnetic properties of chemically derived nanosized manganese zinc mixed ferrites // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2009. – vol. 321. – P. 1092–1099.

14. Gabriel C., Raptopoulou C.P., Drouza C., Lalioti N., Salifoglou A. Synthesis, spectroscopic, structural and magnetic studies of new binary Cr(III)–citrate pH-specific structural variants from aqueous media // Polyhedron. – 2009. – vol. 28. – P. 3209–3220.

References

1. Yao Yu., Qin Ji., Chen H., Wei F., Liu X., Wang Ji., Wang S. One-pot approach for synthesis of N-doped TiO2/ZnFe2O4 hybrid as an efficient photocatalyst for degradation of aqueous organic pollutants. Journal of Hazardous Materials, 2015, vol. 291, pp. 28–37.

2. Meidanchi A., Akhavan O., Khoei S., Shokri A.A., Hajikarimi Z., Khansari N. ZnFe2O4 nanoparticles as radiosensitizers in radiotherapy of human prostate cancer cells. Materials Science and Engineering C, 2015, vol. 46, pp. 394–399.

3. Jin R., Liu H., Guan Ya., Zhou Ju., Chen G. ZnFe2O4/C nano discs as high performance anode material for lithium-ion batteries. Materials Letters, 2015, vol. 158, pp. 218–221.

4. Zhou X., Liu Ji., Wang C., Sun P., Hu X., Li X., Shimanoe K., Yamazoe N., Lu G. Highly sensitive acetone gas sensor based on porous ZnFe2O4 nanospheres. Sensors and Actuators B, 2015, vol. 206, pp. 577–583.

5. Jia Z., Qin Q., Liu Ji., Shi H., Zhang X., Hu R., Li S., Zhu R. The synthesis of hierarchical ZnFe2O4 architecture and their application for Cr(VI) adsorption removal from aqueous solution. Superlattices and Microstructures, 2015, vol. 82, pp. 174–187.

6. Xu Q., Feng Ji., Li L., Xiao Q., Wang Ju. Hollow ZnFe2O4/TiO2 composites: High-performance and recyclable visible-light photocatalyst. Journal of Alloys and Compounds, 2015, vol. 641, pp. 110–118.

7. Song G., Xin F., Yin X. Photocatalytic reduction of carbon dioxide over ZnFe2O4/TiO2 nanobelts heterostructure in cyclohexanol. Journal of Colloid and Interface Science, 2015, vol. 442, pp. 60–66.

8. Lu D., Zhang Ya., Lin S., Wang L., Wang C. Synthesis of magnetic ZnFe2O4/graphene composite and its application in photocatalytic degradation of dyes. Journal of Alloys and Compounds, 2013, vol. 579, pp. 336–342.

9. Feng Ji., Wang Yu., Zou L., Li B., He X., Ren Yu., Lv Ya., Fan Z. Synthesis of magnetic ZnO/ZnFe2O4 by a microwave combustion method, and its high rate of adsorption of methylene blue. Journal of Colloid and Interface Science, 2015, vol. 438, pp. 318–322.

10. Zhang Ji., Song Ji-M., Niu H.-L., Mao C.-Ji., Zhang S.-Yi, Shen Yu-H. ZnFe2O4 nanoparticles: Synthesis, characterization, and enhanced gassensing property for acetone // Sensors and Actuators B, 2015, vol. 221, pp. 55–62.

11. Jang. J.S., Hong S.J., Lee J.S. Synthesis of Zinc Ferrite and Its Photocatalytic Application under Visible Light. Journal of the Korean Physik Society, 2009, vol. 54, no. 1, pp. 204–208.

12. Shabelskaya N.P., et.al. Sintez kompozicionnogo materiala TiO2/Fe1.92Ti0.61O4/Fe2O3 i ego kataliticheskie svojstva [Synthesis of composite TiO2/Fe1,92Ti0,61O4/Fe2O3 and its catalytic properties] // Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research, 2015, no. 9 (3)., pp. 532–535.

13. Gopalan E.V., Al-Omari I.A., Malini K.A., Joy P.A., Kumar D.S., Yoshida Y., Anantharaman M.R. Impact of zinc substitution on the structural and magnetic properties of chemically derived nanosized manganese zinc mixed ferrites. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2009, vol. 321, pp. 1092–1099.

14. Gabriel C., Raptopoulou C.P., Drouza C., Lalioti N., Salifoglou A. Synthesis, spectroscopic, structural and magnetic studies of new binary Cr(III)–citrate pH-specific structural variants from aqueous media. Polyhedron, 2009, vol. 28, pp. 3209–3220.

УДК 633.111.1"324": 630*116.64:631.51.021:631.8

УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВООБОРОТЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДАЛЁННОСТИ ЛЕСОПОЛОСЫ ПО ПРИЁМАМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ

Азизов З.М.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов, e-mail: azizowzakiulla@yandex.ru

В засушливой черноземной степи Поволжья в полевом стационарном длительном опыте проанализированы изменения урожайности озимой пшеницы, высеваемой по черному пару, по мере удаления от лесополосы по приёмам основной обработки почвы в сочетании с применением удобрений. При нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 10 м по всем вариантам обработки, как на фоне удобрений, так и без фона, урожайность озимой пшеницы превышала на существенную величину урожайность делянок, которые находились от лесной полосы на расстоянии 130 и 70 м. Удобрения по варианту обработки с глубокой вспашкой независимо от расстояния нахождения делянок от лесной полосы повышали урожайность культуры на существенную величину. При нахождении делянок от лесной полосы на разном расстоянии 130, 70 и 10 м после лемешного лущения урожайность озимой пшеницы была такая же, что и после глубокой вспашки. По мере удаления от лесополосы отмечено снижение урожайности озимой пшеницы по всем приёмам основной обработки почвы в сочетании с применением удобрений. Применение дискования и плоскорезной обработки, как на фоне удобрений, так и без фона, снижают урожайность озимой пшеницы по сравнению с глубокой вспашкой независимо от удалённости лесополосы. Нахождение делянок на южной стороне лесной полосы высотой 9,0–10,0 м по всем приёмам основной обработки на фоне удобрений позволило в 2017 г. на расстоянии до 60 м получить урожай озимой пшеницы 10,15–10,52 т/га. По коэффициенту энергетической эффективности при возделывании озимой пшеницы ежегодная вспашка имеет явное преимущество перед ежегодным дискованием и ежегодной плоскорезной обработкой, но уступает ежегодному лемешному лущению.

Ключевые слова: чернозем южный, вспашка, плоскорезная обработка, лемешное лущение, дискование, удобрения, полезащитная лесная полоса, урожайность, озимая пшеница

WINTER WHEAT YIELD IN CROP ROTATION IN CONNECTION WITH DISTANCE OF FOREST SHELTERBELT AND BASIC TILLAGE SOIL TECHNIQUE AND FERTILIZERS

Azizov Z.M.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of agriculture of South – East», Saratov, e-mail: azizowzakiulla@yandex.ru

In the droughty chernozem steppe of the Volga region within the field stationary long experiment changes of productivity of winter wheat sowed on black steam are analysed taking into account the distance from a forest belt, techniques of soil processing in combination with the use of fertilizers. When finding plots of forest shelterbelt at distance 10 m for all treatment variants, both on background fertilizers and no background winter wheat yields exceeded for a substantial amount yields plots, which were from forest shelterbelt at distance of 130 and 70 m. Fertilizers according to an embodiment of the treatment with deep plowing regardless of the distance finding plots of forest shelterbelt increased crop yield in a substantial amount. When finding plots of forest shelterbelt at different distances 130, 70 and 10 m after shallow plowing yield of winter wheat it was the same as after deep plowing. As the distance from forest shelterbelt decreased yield of winter wheat receptions for all of the basic soil treatment in combination with fertilizers. Application disking and subsurface plowing as fertilizer on the background and without background reduce yield of winter wheat compared with deep moldboard plowing, regardless of the distance from forest shelterbelt. Finding the plots on the southern side of the forest shelterbelt with a height of 9.0-10.0 m for all methods of basic tillage against fertilizers allowed in 2017 at a distance of up to 60 m to obtain a harvest of winter wheat 10.15-10.52 t / ha. The energy efficiency ratio in the cultivation of winter wheat annual plowing has a clear advantage over annual disking and annual subsurface plowing, but inferior to the annual shallow plowing.

Keywords: southern chernozem, moldboard plowing, subsurface plowing, shallow plowing, disking, fertilizer, forest shelterbelt, yield, winter wheat

Цель исследования

Выявить изменения урожайности озимой пшеницы, высеваемой по черному пару, по мере удаления от лесополосы по приёмам обработки на фоне удобрений и без фона.

Задачи исследований

Изучить влияние приёмов основной обработки, как на фоне удобрений, так и без фона, на урожайность озимой пшеницы по мере удаления от лесной полосы посевов зерновой культуры в разные по погодным условиям годы. Выявить воздействие приёмов основной обработки на запасы продуктивной влаги в почве. Провести наблюдения за содержанием нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве, её нитрификационную способность по приёмам обработки на фоне удобрений и без фона. Определить энергетическую эффективность возделывания озимой пшени-

цы в зависимости от приёмов основной обработки на фоне удобрений и без фона при нахождении посевов на разном расстоянии от лесной полосы.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в стационарном полевом опыте, заложенном в 1970 г. и расположенном на водоразделе с полого-равнинным типом агроландшафта с почвоводоохранной организацией территории в системе полезащитных не продуваемых лесных полос высотой 9–11 м на опытном поле ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Делянки имеют длину 50 м. Они располагаются в 3 яруса с южной стороны лесополосы. С учётом длины делянок и защитных полос в 10 м между ярусами удалённость их от лесополосы составляет 10, 70 и 130 м. Местоположение делянок с вариантами основной обработки почвы в сочетании с применением удобрений в севооборотах не изменялось в течение 47 лет. Чередование культур с 2015 по 2017 г. в зернопаровом 4-польном севообороте: пар черный, озимая пшеница, просо, яровая пшеница. В схему опыта входили следующие приёмы основной обработки почвы:

1) ежегодная вспашка на глубину 27…30 см (контроль) плугом ПН-4-35,

2) ежегодное 2-кратное дискование на глубину 8…10 см дискатором БДН-2,4*2,

3) ежегодная плоскорезная обработка на глубину 14…16 см плоскорезом-глубокорыхлителем КПГ-250,

4) ежегодное лемешное лущение на глубину 14…16 см лемешным лущильником ППЛ-10-25.

Приёмы основной обработки в севообороте проводились осенью и изучались на фоне удобрений (весной корневая подкормка озимых N_{40} кг д. в./га, под предпосевную культивацию перед посевом просо N_{60}) и без фона. В фазу кущения посевы проса и яровой пшеницы в вариантах основной обработки почвы опрыскивались гербицидами группы 2,4-Д. Высевался сорт озимой пшеницы «Калач 60».

Климат региона характеризуется как резко континентальный и суровый. ГТК за вегетационный период озимой пшеницы (начало возобновления весенней вегетации до восковой спелости) в 2015 г. составил 0,84, в 2016 г. – 0,91, в 2017 г. – 1,97 при среднемноголетней – 0,84.

Почва опытного участка – чернозем южный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистого гранулометрического состава с содержанием гумуса в пахотном слое 4,5%. Питательный режим почвы: нитратный азот (нитрификационная способность по Кравкову в модификации Болотиной и Абрамовой) определялся потенциометрическим методом на иономере, подвижный фосфор и калий – в 1%-ной углеаммонийной вытяжке по Б.П. Мачигину (ГОСТ 26205-91). Учёт урожая проводили способом прямого комбайнирования комбайном Сампо 130. Дисперсионный анализ урожайных данных осуществляли по методике Б.А. Доспехова [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В степных районах Поволжья фактором, определяющим уровень урожайности сельскохозяйственных культур, является влагообеспеченность – содержание доступной влаги в почве и осадки, выпадающие в период вегетации. Запасы продуктивной влаги в 1,5-метровом слое почвы за годы исследований к посеву и к весеннему возобновлению вегетации озимой пшеницы имели тенденцию снижения в вариантах плоскорезной обработки и лемешного лущения по сравнению с вспашкой. Так, в среднем за годы исследований запасы продуктивной влаги к посеву озимой пшеницы по вспашке составили 188,4 мм, по плоскорезной обработке – 184,0 мм, по лемешному лущению – 178,8 мм. К периоду весеннего возобновления вегетации озимой пшеницы по вспашке запасы продуктивной влаги составили 207,9 мм, по плоскорезной обработке – 202,7 мм, по лемешному лущению – 197,0 мм.

В условиях периодических засух континентального климата степного Поволжья в почвах преобладают аэробные процессы, которые способствуют образованию нитратного азота, являющегося основной формой питания растений. Накопление аммонийного азота в этих условиях происходит лишь в осенний период при низких температурах. К посеву озимых наибольшее количество нитратного азота накапливается в паровом поле. Однако на фоне без удобрений содержание нитратного азота ниже уровня оптимальной величины, на фоне с внесением удобрений близки к оптимальному показателю (19,0–21,0 мг/кг). Так, в среднем за 6 лет на фоне без удобрений по лемешному лущению содержание нитратного азота в слое почвы 0–40 см составило 16,1 мг/кг, по плоскорезной обработке – 15,0, по глубокой вспашке (контроль) – 15,8, на фоне с внесением удобрений – соответственно 18,9; 17,2 и 19,5 мг/кг. Более 50% азота от запасов в полутора-

метровом слое находилось в слое 0–50 см. Талые воды способствовали вымыванию нитратного азота в более глубокие слои. Промытый в нижние слои нитратный азот в пахотный слой не поднимается, а используется растениями по мере роста корней вместе с влагой. Поэтому весенняя подкормка азотным удобрением повышает урожайность озимой пшеницы. В отличие от нитратного азота, 80–90% подвижного фосфора от его запасов в полутораметровом слое находилось в слое 0–50 см и в период вегетации не смещалось. Содержание подвижного фосфора по всем вариантам обработки почвы на обоих фонах, особенно по удобренному фону, превышает уровень оптимальных значений (23–25 мг/кг). Так, на фоне без удобрений к посеву озимой пшеницы содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–40 см по лемешному лущению составило 45,8 мг/кг, по плоскорезной обработке – 31,2, по глубокой вспашке (контроль) – 32,5 мг/кг, на фоне с удобрением – соответственно 47,6; 47,4 и 54,2 мг/кг.

Содержание обменного калия по всем вариантам обработки почвы на обоих фонах колеблется на уровне оптимальной величины (320–350 мг/кг). Так, на фоне без удобрений к посеву озимой пшеницы содержание обменного калия в слое почвы 0–40 см по лемешному лущению составило 336 мг/кг, по плоскорезной обработке – 303, по глубокой вспашке (контроль) – 305 мг/кг, на фоне с удобрением – соответственно 350; 328 и 342 мг/кг.

В засушливые годы нитратный азот использовался озимой пшеницей, идущей по чистому пару, гораздо слабее и его остаточные запасы к уборке составили в среднем 5,1 мг/кг. Это в три раза меньше, чем во влажные годы. Содержание аммонийного азота в засушливые годы под растениями также снижались от фазы выхода в трубку до уборки.

Во влажные годы на удобренных фонах по чистому пару азотная подкормка повышала содержание нитратного азота в почве под растениями, но не оказывала существенного влияния на запасы аммонийного азота. В засушливые годы, наоборот, азотная подкормка озимой пшеницы по чистому пару положительно влияла на содержание обменного аммония, что также свидетельствует о низкой нитрификационной способности южного чернозёма при дефиците почвенной влаги. Максимальное количество минерального азота накапливалось в годы с обильными осадками в летние месяцы. На содержание доступного фосфора в фазу весеннего кущения озимой пшеницы условия увлажнения не повлияли.

По данным, полученным в результате проведенных исследований в полевом стационарном длительном опыте во все годы наблюдений, как на естественном по плодородию фоне, так и с применением азотных удобрений по всем вариантам обработки урожайность озимой пшеницы была выше при нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 10 м по сравнению с расстояниями 130 и 70 м (табл. 1). Особенно высокая контрастность наблюдалась в 2017 г. По-видимому, лесополоса, регулируя ветровые потоки, а вместе с ними температуру приземного воздуха, самой почвы, оказала существенное влияние на улучшение увлажнения почвы и её температурного режима [1], что сказалось существенно на микробиологической активности, в частности в нашем случае на ассоциативных азотфиксаторах [4] и фосфатмобилизующих микроорганизмах [5], которые не только улучшили азотное и фосфорное питание, но и продуцировали ростовые вещества (ауксины, гиббереллины и др.), антибиотики и сидерофоры, ограничивающие рост микроорганизмов-фитопатогенов, что способствовало увеличению всхожести семян, массы корней, повышению их поглотительной активности [5], а в итоге урожайности [5] озимой пшеницы. Только имеющиеся запасы нитратного и аммиачного азота в почве, накопленные в период ухода за паровым полем, не могли создать такой величины урожай. В ризосфере растений в сотни раз больше микроорганизмов, чем в почве без корней, так как корневые выделения и корневой опад являются основным энергетическим субстратом для ассоциативных азотфиксаторов [4] и фосфатмобилизующих микроорганизмов [5]. Из статьи, представленной Л.Б. Сайфуллиной [6], видно, что уровень нитрификационной способности почвы в период отрастания и цветения озимой пшеницы имеет высокую корреляцию с урожаем зерна и содержанием в нем азота (0,98**). И в ней же [6] отмечено, что в фазу выхода пшеницы в трубку нитрификационная способность и содержание нитратов имеют высокую корреляционную связь с осадками и температурой в поверхностном слое почвы (0,65–0,80). По-видимому, нитрификационная способность почвы вблизи лесополосы оказалась наиболее выраженной в годы с обильным выпадением осадков и пониженной температурой воздуха. Так в 2017 г. с 1-й декады апреля по 1-ю декаду июля (от выхода в трубку и до восковой спелости зерновой культуры) выпало 250 мм осадков,

в 2016 – 133, 2015 – 126 мм, что составляет соответственно 217,4; 115,6 и 109,6% от среднемноголетней. Температура воздуха за этот период была соответственно годам 15,7; 18,0 и 19,7°С при среднемноголетней 16,8°С. Особенно резкое падение температуры воздуха наблюдалось во 2-й декаде мая 2017 г. (10,6°С против 15,8°С среднемноголетней). Такие условия, по-видимому, сказались на нитрификационной способности и на содержании элементов питания чернозёма южного тяжелосуглинистого по гранулометрическому составу. Как показали наши наблюдения, при нахождении делянок на расстоянии от лесной полосы в 130 м в период возобновления весенней вегетации озимой пшеницы в слое почвы 0–40 см на варианте вспашки содержание нитратного азота составило 4,52 мг/кг, аммиачного азота – 0,68, подвижного фосфора – 40,8, обменного калия 362 мг/кг, нитрификационная способность 7,04 мг/кг почвы, в паровом поле в это же время соответственно 3,09; 0,54; 40,6; 362 и 8,41 мг/кг, в фазу выхода в трубку под культурой – 1,46; 0,60; 39,0; 318 и 20,21 мг/кг, в пару – 2,42; 1,03; 34,5; 352 и 22,35 мг/кг, в фазу цветения под культурой – 1,38; 2,60; 39,8; 330 и 13,59 мг/кг, в пару – 2,66; 5,20; 32,8; 378 и 16,90 мг/кг.

Таблица 1

Урожайность озимой пшеницы в зависимости от приёмов основной обработки почвы, удобрений и удалённости от лесополосы, т/га

Обработка почвы (фактор А)	Фон (фактор В)	Удалённость делянок от лесополосы, м (фактор С)	Годы			В среднем
			2015	2016	2017	
Вспашка, 27–30 см (контроль)	Без удобрений	130–180[1)]	2,16	3,25	5,51	3,64
		70–120	2,24	4,26	6,52	4,34
		10–60	2,43	4,47	9,81	5,57
	С удобрением	130–180	2,60	4,59	6,76	4,65
		70–120	2,72	5,81	7,21	5,25
		10–60	2,88	5,88	10,52	6,43
Дискование, 8–10 см	Без удобрений	130–180	1,31	2,23	5,47	3,01
		70–120	1,53	2,27	5,70	3,17
		10–60	1,66	2,64	9,30	4,53
	С удобрением	130–180	1,91	2,55	6,18	3,55
		70–120	2,31	2,69	7,43	4,14
		10–60	2,44	3,32	10,45	5,40
Плоскорезная, 14–16 см	Без удобрений	130–180	1,87	2,36	5,06	3,10
		70–120	1,92	2,53	5,92	3,46
		10–60	1,98	2,84	9,26	4,69
	С удобрением	130–180	2,08	3,47	6,21	3,92
		70–120	2,45	3,65	6,86	4,32
		10–60	2,55	3,99	10,15	5,56
Лемешное лущение, 14–16 см	Без удобрений	130–180	2,17	2,67	5,85	3,56
		70–120	2,24	2,96	6,27	3,82
		10–60	2,40	3,33	9,48	5,07
	С удобрением	130–180	2,48	3,24	7,07	4,26
		70–120	2,61	4,19	7,11	4,64
		10–60	2,78	4,44	10,51	5,91
Ошибка опыта (р), %			2,31	6,17	2,66	6,88
Вариантов $НСР_{05}$			0,147*	0,611*	0,570*	0,847*
Фактор А $НСР_{05}$			0,060*	0,249*	0,233*	0,346*
Фактор В $НСР_{05}$			0,042*	0,176*	0,164*	0,244*
Фактор С $НСР_{05}$			0,052*	0,216*	0,201*	0,299*
Фактор АВ $НСР_{05}$			0,085*	0,352*	$F_ф < F_т$	$F_ф < F_т$
Фактор ВС $НСР_{05}$			0,073*	$F_ф < F_т$	$F_ф < F_т$	$F_ф < F_т$
Фактор АС $НСР_{05}$			$F_ф < F_т$	0,432*	$F_ф < F_т$	$F_ф < F_т$

Примечание. [1)] Начало и конец 50 м делянки, 10 м защитная полоса между лесной полосой и делянками, а также между ними самими. *) Различия существенны на 5%-ном уровне значимости.

При нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 130 и 70 м в среднем за 3 года, как на фоне удобрений, так и без фона по всем вариантам обработки урожайность озимой пшеницы колебалась в пределах ошибки опыта. Данная закономерность сохранялась во все годы исследований по варианту лемешного лущения без применения удобрений, а в 2017 г., как на естественном по плодородию фоне, так и с применением азотных удобрений на варианте лемешного лущения, на фоне без внесения удобрений на варианте дискования и с удобрением на варианте вспашки, в 2015 г. на фоне удобрений и естественном фоне на вариантах вспашки и лемешного лущения. В 2015, 2017 гг. по другим вариантам обработки, а также в 2016 г. по всем вариантам обработки, как на естественном по плодородию фоне, так и с применением азотных удобрений при нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 70 м по сравнению с расстояниями 130 м урожайность озимой пшеницы была существенно выше или колебалась в пределах ошибки опыта.

В среднем за годы наблюдений, а также в 2015 г., как на естественном по плодородию фоне, так и с применением азотных удобрений при нахождении делянок от лесной полосы, на разном расстоянии 130 м, 70 и 10 м после лемешного лущения урожайность озимой пшеницы была такая же, что и после вспашки (см. табл. 1). Урожайность озимой культуры на фоне удобрений и без них снижалась на существенную величину от проведения дискования и плоскорезной обработки. Снижение урожайности озимой пшеницы по данным вариантам обработки возможно объяснить уменьшением азотфиксирующих бактерий [4, 7].

Следует отметить, что на расстоянии делянки от лесной полосы в 130 м на варианте с плоскорезной обработкой на фоне с удобрением снижение урожайности по отношению к контролю (вспашке) отмечено в виде тенденции.

Таблица 2

Энергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы по приемам обработки почвы на фоне удобрений и без фона и удалённости от лесной полосы

Обработка почвы	Фон	Удалённость делянок от лесополосы, м	Урожайность, т/га	Затраты труда на 1 т зерна, чел.-час	Затраты топлива на 1 т зерна, кг	Затраты энергии на 1 т зерна, МДж	КЭЭ
Вспашка, 27–30 см (контроль)	Без удобрений	130–180[1)]	3,64	1,48	19,87	4067	4,75
		70–120	4,34	1,24	16,66	3411	5,66
		10–60	5,57	0,97	12,98	2658	7,27
	С удобрением	130–180	4,65	1,19	15,82	4132	4,66
		70–120	5,25	1,05	14,01	3660	5,28
		10–60	6,43	0,86	11,44	2988	6,46
Дискование, 8–10 см	Без удобрений	130–180	3,01	1,62	17,87	4241	4,55
		70–120	3,17	1,54	16,97	4027	4,80
		10–60	4,53	1,08	11,87	2818	6,86
	С удобрением	130–180	3,55	1,42	15,50	4838	3,99
		70–120	4,14	1,22	13,29	4148	4,66
		10–60	5,40	0,93	10,19	3180	6,07
Плоскорезная, 14–16 см	Без удобрений	130–180	3,10	1,62	18,28	4136	4,67
		70–120	3,46	1,45	16,38	3706	5,21
		10–60	4,69	1,07	12,08	2734	7,06
	С удобрением	130–180	3,92	1,32	14,77	4396	4,39
		70–120	4,32	1,20	13,40	3989	4,84
		10–60	5,56	0,93	10,42	3099	6,23
Лемешное лущение, 14–16 см	Без удобрений	130–180	3,56	1,38	14,11	3276	5,90
		70–120	3,82	1,28	13,15	3053	6,32
		10–60	5,07	0,96	9,90	2301	8,40
	С удобрением	130–180	4,26	1,18	12,08	3773	5,12
		70–120	4,64	1,09	11,09	3464	5,58
		10–60	5,91	0,85	8,70	2720	7,10

При нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 130 м в 2016 г. на естественном фоне после лемешного лущения урожайность озимой пшеницы получена такая же (2,67 т/га), что и после вспашки (3,25 т/га), на фоне удобрений – существенно ниже по сравнению с контролем (см. табл. 1). Урожайность озимой культуры на естественном по плодородию фоне и с применением азотных удобрений снижалась на существенную величину от проведения дискования и плоскорезной обработки. В 2017 г. на естественном по плодородию фоне по всем приёмам обработки урожайность озимой пшеницы колебалась в пределах ошибки опыта. Аналогичная закономерность отмечена на фоне удобрений после лемешного лущения, плоскорезной обработки и вспашки. Урожайность озимой культуры снижалась на существенную величину от проведения дискования.

Удобрения в среднем за годы исследований по варианту вспашки независимо от расстояния нахождения делянок от лесной полосы повышали урожайность культуры на существенную величину. По вариантам обработки с лемешным лущением, плоскорезной обработкой и дискованием от удобрений получена прибавка в урожайности на существенную величину при нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 70 м и в пределах ошибки опыта на расстоянии 130 м. При нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 10 м по вариантам с плоскорезной обработкой и дискованием от удобрений получена прибавка в урожайности на существенную величину, а по варианту с лемешным лущением – в пределах ошибки опыта. Что касается действия удобрений по годам, то здесь следует отметить следующее. Независимо от расстояния нахождения делянок от лесной полосы удобрения в 2015 и 2017 гг. повысили на существенную величину урожайность озимой пшеницы по всем приёмам обработки, а в 2016 г. – по вариантам вспашки и плоскорезной обработки. На вариантах с лемешным лущением и дискованием в 2016 г. от удобрений получена прибавка в урожайности на существенную величину при нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 10 м и первого вышеназванного варианта обработки на расстоянии 70 м.

Как видно из вышеизложенного, урожайность озимой пшеницы зависит в значительной мере от гидротермических условий вегетационного периода, приёмов обработки, удобрений и удалённости от лесополосы.

По расходу топлива, затрат труда и энергии на 1 т зерна ежегодное лемешное лущение при возделывании озимой пшеницы имеет явное преимущество перед ежегодной глубокой вспашкой (табл. 2). Так, при применении лемешного лущения в севообороте по сравнению с глубокой вспашкой на фоне без удобрений при нахождении посевов от лесной полосы на расстоянии 130 м расход топлива на 1 т зерна озимой пшеницы сократился на 6,8%, затраты труда – на 29,0%, энергии – на 19,4%; на расстоянии 70 м – соответственно на 3,2% (перерасход); 21,1; 10,5%; на 10 м – на 1,0; 23,3; 13,4%; на фоне с удобрением на расстоянии 130 м расход топлива на 1 т зерна сократился на 0,8%, затраты труда – на 23,6%, энергии – на 8,7%; на расстоянии 70 м – соответственно на 3,8% (перерасход); 20,8; 5,4%; на 10 м – на 1,2; 24,0; 9,0%. При возделывании озимой пшеницы коэффициент энергетической эффективности по ежегодному лемешному лущению имеет явное преимущество перед ежегодной глубокой вспашкой. Так, при применении лемешного лущения в севообороте на естественном по плодородию фоне при нахождении посевов от лесной полосы на расстоянии 130 м коэффициент энергетической эффективности составил 5,90; на расстоянии 70 м – 6,32; на расстоянии 10 м – 8,40, на фоне с внесением азотных удобрений соответственно расстояниям – 5,12; 5,58; 7,10; по глубокой вспашке без удобрений – 4,75; 5,66; 7,27, с удобрением – 4,66; 5,28; 6,46. Дискование и плоскорезная обработка уступали по коэффициенту энергетической эффективности контрольному варианту вспашке.

Выводы

В засушливой черноземной степи Поволжья при нахождении делянок от лесной полосы на расстоянии 10 м по всем вариантам обработки, как на естественном по плодородию фоне, так и на фоне с внесением азотных удобрений, урожайность озимой пшеницы превышала на существенную величину урожайность делянок, которые находились от лесной полосы на расстоянии 130 и 70 м. Удобрения по варианту с глубокой вспашкой независимо от расстояния нахождения делянок от лесной полосы повышали урожайность культуры на существенную величину. При нахождении делянок от лесной полосы на разном расстоянии 130 м, 70 и 10 м после лемешного лущения урожайность озимой пшеницы была такая же, что и после глубокой вспашки. По коэф-

фициенту энергетической эффективности при возделывании озимой пшеницы ежегодная вспашка имеет явное преимущество перед ежегодным дискованием и ежегодной плоскорезной обработкой, но уступает ежегодному лемешному лущению.

Список литературы

1. Панфилов А.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агролесомелиорации в степной и сухостепной зонах Поволжья: автореф. дис. … докт. с.-х. наук. – Пенза, 2017. – 40 с.

2. Хасанова Р.Ф. Фитомелиоративная эффективность многолетних трав на черноземе обыкновенном / Р.Ф. Хасанова, М.Б. Суюндукова, Ф.Р. Ахметов, Э.Ф. Сальманова // Аграрная наука. – 2008. – № 2. – С. 33–36.

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

4. Умаров М.М. Значение не симбиотической азотфиксации в балансе азота в почве / М.М. Умаров // Известия АН СССР, серия биологическая. – 1982. – № 1. – С. 92–95.

5. Дегтярёва И.А. Перспективы использования диазотрофных и фосфат-мобилизующих микроорганизмов для инокуляции семян сельскохозяйственных культур / И.А Дегтярёва, Д.С. Дмитричева, А.Я. Хидиятуллина // Перспективные направления исследований в земледелии и растениеводстве: материалы Всероссийской научно-практической конференции (п. Тимирязевский, 26–28 октября 2011 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 103–106.

6. Сайфуллина Л.Б. Влияние севооборотов на природно-ресурсный потенциал минерального азота почвы и формирование урожая озимой пшеницы / Л.Б. Сайфуллина, Ю.Ф. Курдюков, Г.В. Шубитидзе, В.А. Куликова // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 9. – С. 41–46.

7. Гилаев И.Г. Влияние различных систем удобрений и способов основной обработки почвы на биологическую активность почвы и продуктивность яровой пшеницы / И.Г. Гилаев, Р.С. Шакиров // Перспективные направления исследований в земледелии и растениеводстве: материалы Всероссийской научно-практической конференции (п. Тимирязевский, 26–28 октября 2011 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 87–92.

References

1. Panfilov A.V. Teoreticheskoe i eksperimentalnoe obosnovanie adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliia i agrolesomelioratsii v stepnoi i sukhostepnoi zonakh Povolzhia. – Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora selskokhoziaistvennykh nauk [Theoretical and experimental justification of adaptive and landscape systems of agriculture and agrolesomelioration in steppe and sukhostepny zones of the Volga region. – The abstract of the thesis for a degree of the doctor of agricultural sciences]. Penza, 2017. 40 p.

2. Khasanova R.F., Suiundukova M.B., Akhmetov F.R., Salmanova E.F. Fitomeliorativnaia effektivnost mnogoletnikh trav na chernozeme obyknovennom [Phytoland improvement efficiency of perennial herbs on chernozem ordinary]. Agrarnaia nauka – Agrarian science, 2008, no. 2, pp. 33–36.

3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta: uchebnik dlia vuzov [Technique of field experiment: the textbook for higher education institutions]. 6-e izdanie. Moscow, Kniga po trebovaniiu, 2012. 352 p.

4. Umarov M.M. Znachenie ne simbioticheskoi azotfiksatsii v balanse azota v pochve [Value not of a symbiotic azotfiksation in balance of nitrogen in the soil]. Izvestiia AN SSSR, seriia biologicheskaia – News of Academy of Sciences of the USSR, series biological, 1982, no. 1, pp. 92–95.

5. Degtiareva I.A., Dmitricheva D.S., Khidiiatullina A.Ia. Perspektivy ispolzovaniia diazotrofnykh i fosfat-mobilizuiushchikh mikroorganizmov dlia inokuliatsii semian selskokhoziaistvennykh kultur [The prospects of use the diazotrofnykh and phosphate – the mobilizing microorganisms for an inokulyation of seeds of crops]. Perspektivnye napravleniia issledovanii v zemledelii i rastenievodstve: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (g. Ulianovsk, Timiriazevskii, 26-28 oktiabria 2011 g.) [Proceedings of The perspective directions of researches in agriculture and crop production: materials of the All-Russian scientific and practical conference (Ulyanovsk, Timiryazevsky, October 26-28, 2011)], Ulyanovsk, UlGTU, 2011, pp. 103–106.

6. Saifullina L.B., Kurdiukov Iu.F., Shubitidze G.V., Kulikova V.A. Vliianie sevooborotov na prirodno-resursnyi potentsial mineralnogo azota pochvy i formirovanie urozhaia ozimoi pshenitsy [Influence of crop rotations on natural and resourcepotential of soil mineral nitrogen and harvest development of winter wheat]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Advances in current natural sciences, 2017, no. 9, pp. 41–46.

7. Gilaev I.G., Shakirov R.S. Vliianie razlichnykh system udobrenii i sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na biologicheskuiu aktivnost pochvy i produktivnost iarovoi pshenitsy [Influence of various systems of fertilizers and ways of the main processing of the soil on biological activity of the soil and efficiency of spring-sown field]. Perspektivnye napravleniia issledovanii v zemledelii i rastenievodstve: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (p. Timiriazevskii, 26-28 oktiabria 2011 g.). [Proceedings of Perspective directions of researches in agriculture and crop production: materials of the All-Russian scientific and practical conference (Ulyanovsk, Timiryazevsky, October 26-28, 2011)], Ulyanovsk, UlGTU, 2011, pp. 87–92.

УДК 631.58:633.11:633.16:633.854.78(470.40/43)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ

Горянин О.И., Горянина Т.А.

ФГБНУ «Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова», Безенчук, e-mail: samniish@mail.ru

Представлены результаты исследований по экономической эффективности возделывания полевых культур в многолетних стационарах на чернозёме обыкновенном в засушливых условиях Заволжья. В среднем за 2011–2016 гг. в зернопаропропашном севообороте самой рентабельной культурой стал подсолнечник, при окупаемости затрат 2,45–2,89 руб/руб. Из исследуемых зерновых культур наибольшая окупаемость установлена на озимой мягкой и яровой твёрдой пшенице, возделываемых по интенсивным фонам ресурсосберегающих технологий – 1,82–2,02 руб/руб. При выращивании ячменя эффективное производство – 1,55–1,73 руб/руб достигнуто за счёт высокой урожайности, сои – 1,36–1,46 руб/руб. – цены за единицу продукции. В исследованиях 2012–2016 гг. в зернопаровом севообороте возделывание новых перспективных сортов озимого тритикале Капелла и Спика обеспечило, по сравнению с сортом озимой пшеницы Малахит, увеличение условного чистого дохода и уровня рентабельности на 728,8–2015,8 руб/га и 10,8–25,1 % соответственно. По итогам исследований для повышения экономической эффективности растениеводства предлагается корректировка структуры посевных площадей, направленная на диверсификацию озимых зерновых, и расширение биоразнообразия растений в зональных севооборотах с увеличением до 50–60 % площади – яровой твёрдой пшеницы, сои, подсолнечника, ярового ячменя. При этом площадь подсолнечника с учётом появившихся гибридов, устойчивых ко многим заболеваниям, не должна превышать 16 % от пашни. При возделывании высокодоходных культур наиболее эффективны агротехнологии с применением дифференцированной безотвальной системы основной обработки почвы в севообороте адаптивной системы защиты растений и удобрений, современных приспособленных к местным условиям полуинтенсивных и интенсивных сортов и гибридов.

Ключевые слова: экономическая эффективность, полевые культуры, технологии, интенсификация

ASPECTS OF AGRICULTURAL CROPS CULTIVATING IN THE MIDDLE VOLGA REGION

Goryanin O.I., Goryanina T.A.

Federal State Budget Scientific Institution «Samara Scientific Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov», Bezenchuk, e-mail: samniish@mail.ru

The results of research on the economic efficiency of cultivating field crops in perennial chernozem plots in the arid conditions of the Volga region are presented. On average, for 2011-2016 in the grain-steaming crop rotation the most profitable crop was sunflower, having average payback of 2.45-2.89 rub. / rub. Of the grain crops studied, the greatest payback was established on winter soft and spring hard wheat cultivated according to the intensive background of resource-saving technologies – 1.82-2.02 rubles / rub. When growing barley, effective production – 1.55-1.73 rubles / rub was achieved due to high yield, soybean – 1.36-1.46 rubles / rub – the price per unit of production. In researches of 2012-2016 in the cereal crop rotation the cultivation of new promising varieties of winter triticale Capella and Spika provided, in comparison with the Malakhit winter wheat variety, an increase in the conditional net income and the level of profitability by 728.8-2015.8 rubles / ha and 10.8 -25,1 % respectively. Based on the results of research to improve the economic efficiency of crop production, it is proposed to correct the structure of crop areas aimed at the diversification of winter cereals, and to increase plant biodiversity in zonal crop rotations, increasing to 50-60 % of the area – spring hard wheat, soybean, sunflower, spring barley. In this case, the area of sunflower, taking into account the emergence of hybrids resistant to many diseases, should not exceed 16 % of arable land. When cultivating highly profitable crops, agrotechnologies are most effective with the use of a differentiated bottomless system of basic tillage in the crop rotation of the adaptive plant protection system and fertilizers, modern semi-intensive and intensive varieties and hybrids adapted to local conditions.

Keywords: economic efficiency, field crops, technologies, intensification

В сложившихся природно-экономических условиях сельскохозяйственное производство, в том числе и растениеводство России должно быть востребовано, устойчиво и эффективно. Возделывание полевых культур в степном Заволжье осложняется частой повторяемостью интенсивных засух, продолжающимися процессами деградации почвенного покрова, сохраняющимся низким уровнем материально-технического обеспечения хозяйств [1, 2].

В этих условиях особое значение для региона приобретают научно обоснованное изменение структуры посевных площадей и диверсификация сельскохозяйственных культур, разработка, совершенствование и внедрение современных агротехнологических комплексов их возделывания, применение комбинированных почвообрабатывающих и посевных агрегатов, использование новых сортов и гибридов, адаптивных к местным условиям,

эффективных средств защиты посевов от сорняков, вредителей и болезней, эффективной системы удобрений. Это позволит стабилизировать производство сельскохозяйственной продукции, устранить нарастание процессов деградации почв, сократить материальные и трудовые затраты [1, 2].

Установлено, что ведущим звеном обеспечения устойчивого производства зерна в Среднем Поволжье и европейской части России являются озимые культуры. Их продуктивность в 1,8–4,0 раза выше яровых зерновых. Для них складываются более благоприятные погодные условия, по сравнению с яровыми, для роста в критические по влагообеспеченности фазы развития. В регионах имеется целый спектр сортов озимой пшеницы, ржи и озимого тритикале с разными сроками созревания, обеспечивающих необходимый уровень качества зерна [1–4]. При этом в последние годы при доминировании в производственных посевах подсолнечника не выявлена целесообразность возделывания яровых полевых культур.

Целью исследований являлось определение эффективности возделывания полевых культур при различных технологиях и перспективы их выращивания на чернозёмах Заволжья.

Материалы и методы исследования

Анализ экономической эффективности сельскохозяйственных культур проводили по результатам, полученным в многолетних стационарах Самарского НИИСХ.

В зернопаропропашном севообороте (2011–2016 гг.) отдела земледелия с чередованием культур: чистый пар – озимая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень – подсолнечник изучали шесть агротехнологий с различными уровнями интенсивности использования пашни:

1. Традиционная с ежегодной вспашкой + протравливание семян + гербициды по вегетации зерновых – Секатор турбо, сои – Пульсар, подсолнечника – Экспресс (контроль).

2. Ресурсосберегающая с дифференцированной обработкой почвы (в том числе рыхление на 25–27 см ПЧ-4,5 под подсолнечник и сою; под чистый пар – без осенней обработки; под ячмень – минимальная обработка на 12–14 см ОПО-4,25, пшеницу прямой посев АУП-18.05) + протравливание семян + гербициды по вегетации зерновых – Секатор турбо, сои – Пульсар, подсолнечника – Экспресс (Фон).

3. Фон + биопрепараты (Бионекс Кеми, Фитоспорин – зерновые, Борогум – подсолнечник).

4. Фон + минеральные удобрения (в том числе под подсолнечник и сою – азофоска $(NPK)_{15}$; под ячмень и яровую пшеницу – предпосевное внесение аммиачной селитры (N_{30}); на озимой пшенице весенняя подкормка аммиачной селитрой (N_{30})) – Фон 1.

5. Фон 1 + инсектициды на яровой пшенице (Децис Профи) – Фон 2.

6. Фон 2 + биопрепараты (Бионекс Кеми, Фитоспорин – зерновые, Борогум – подсолнечник).

Почва опытных участков – чернозем обыкновенный, малогумусный, среднемощный, среднесуглинистый.

Повторность всех опытов трехкратная, размер делянок от 50 м^2 до 1100 м^2.

В качестве приёмов воспроизводства почвенного плодородия использовали: измельчённую солому и пожнивно-корневые остатки (ПКО) убираемых культур.

В зернопаровом севообороте объектом исследований были три сорта озимого тритикале, Спика, Кроха, Капелла, и сорт озимой мягкой пшеницы Малахит. Опыты проводили на полях селекционного севооборота Самарского НИИСХ в 2012–2016 гг. Предшественник изучаемых культур – чистый пар, агротехника их возделывания общепринятая для зоны.

Повторность опытов трех- и четырехкратная, размер делянок от 50 м^2 до 1100 м^2.

Погодные условия в годы проведения исследований были различными, при этом ГТК за май – август не превышал среднемноголетние значения и составил 0,45–0,74. В 2012, 2014 гг. при весенней и в 2016 при весенне-летней засухе (ГТК за май – август = 0,45–0,68) и раннем возобновлении весенней вегетации в начале апреля были установлены благоприятные условия для роста и развития растений озимых культур. В 2011, 2013 гг. складывались хорошие условия для роста и развития яровых зерновых (ГТК за май – август = 0,70–0,74). В 2015 г. при ГТК за июнь = 0,21 и за май – август на уровне 0,57 получена продуктивность полевых культур в пределах среднемноголетних значений и ниже.

Расчет экономической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур проводили по методике, предложенной Поволжской МИС [5].

Полученные результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа на ЭВМ (Программа AGROS ver. 2.09) и по Д.А. Доспехову [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В исследованиях, проведённых ранее, было установлено, что в современных природно-экономических условиях Среднего Заволжья для повышения эффективности возделывания полевых культур в сельскохозяйственном производстве необходима диверсификация культур. При этом на дифференцированных системах обработки почвы необходимо высевать наиболее адаптированные к местным условиям новые высокоурожайные сорта зерновых культур, которые превышают сорта-стандарты на естественном фоне питания на 10–34 %, на удобренных фонах на 7,5–35,5 % [1, 4, 7, 8].

Исследования 2011–2016 гг. в зернопаропропашном севообороте подтвердили правильность взятого курса по корректировке структуры посевных площадей, направленной на расширение и диверсификацию не только озимых, но и других полевых культур. Так, в регионе одной из самых рентабельных культур в последние годы является подсолнечник.

При средней урожайности 2,09–2,57 т/га ($НСР_{05}$ = 0,18 т/га) условный чистый доход возделывания этой культуры превышал 17000 руб/га, что в 1,9–6,2 раза больше значений, полученных на других изучаемых культурах. Наибольший условный чистый доход установлен на интенсивном фоне технологий нового поколения – 20622,1 руб/га. Однако дополнительные затраты на применение минеральных сложных удобрений на вариантах 4–6 не окупились прибавкой урожая, в результате наибольшая окупаемость затрат получена на ресурсосберегающей технологии с применением биопрепаратов – 2,89 руб/руб. (табл. 1).

Из исследуемых зерновых культур наибольшие экономические показатели установлены на озимой мягкой и яровой твёрдой пшенице. При возделывании озимой пшеницы в среднем за годы исследований получен наибольший уровень урожайности из всех исследуемых культур – 2,76–3,16 т/га ($НСР_{05}$ = 0,21 т/га). Наибольший условный чистый доход и окупаемость затрат выявлены на вариантах, размещённых по раннему пару с различными уровнями интенсивности пашни (2–6 вар.) – 8701,0–9226,7 руб/га и 1,82–1,98 руб/руб. При возделывании культуры по чёрному пару (вар. 1) при урожайности – 2,78 т/га получены наименьшие экономические показатели – 7473,7 руб/га и 1,75 руб/руб, что доказывает возможность успешного возделывания озимой пшеницы при высокой культуре земледелия в условиях региона по раннему пару.

Таблица 1

Показатели эффективности сельскохозяйственных культур при разных уровнях интенсивности пашни в зернопаропропашном севообороте (2011–2016 гг.)

Показатели	Культуры	Технологии					
		1	2	3	4	5	6
Стоимость продукции, руб/га	озимая пшеница	17481,7	17547,5	18580,8	19205,0	19666,2	20169,2
	соя	14380,0	12363,3	13103,3	14066,7	15143,3	15048,3
	яровая пшеница	12900,0	12581,7	14158,3	14254,0	17475,0	18195,0
	ячмень	11750,8	10617,5	11000,0	12782,5	13206,7	13130,0
	подсолнечник	25763,3	24185,0	26031,7	27365,0	28218,3	27268,2
	среднее	13712,6	12882,5	13812,4	14612,2	15618,3	15635,1
Условный чистый доход, руб/га	озимая пшеница	7473,7	8701,7	9226,7	9018,4	8922,0	9085,3
	соя	4531,3	3346,6	3942,4	3713,7	4400,9	3999,4
	яровая пшеница	4526,1	5339,0	6457,7	5888,7	8650,2	9193,7
	ячмень	4205,3	3976,9	4111,4	5236,6	5566,1	5222,0
	подсолнечник	18443,8	17761,0	19342,8	19841,0	20622,1	19372,7
	среднее	6530,0	6520,9	7180,2	7283,1	8026,9	7812,2
Окупаемость затрат, руб/руб.	озимая пшеница	1,75	1,98	1,99	1,89	1,83	1,82
	соя	1,46	1,37	1,43	1,36	1,41	1,36
	яровая пшеница	1,54	1,74	1,84	1,70	1,98	2,02
	ячмень	1,55	1,60	1,60	1,70	1,73	1,66
	подсолнечник	2,52	2,77	2,89	2,64	2,72	2,45
	среднее	1,91	2,03	2,08	1,99	2,06	2,00

При выращивании яровой твёрдой пшеницы выявлена высокая окупаемость средства защиты растений от вредителей (5, 6 вар.). При существенном увеличении урожайности на 0,23–0,53 т/га (23,1–42,1 %), по сравнению с другими вариантами при $НСР_{05}$ = 0,18 т/га, здесь установлен максимальный условный чистый доход – 8650,2–9193,7 руб/га, при уровне окупаемости затрат – 1,98–2,02 руб/руб.

При возделывании остальных полевых культур в севообороте эффективное производство достигнуто за счёт высокой урожайности зерна – 2,09–2,57 т/га (яровой ячмень) и цены за единицу продукции при невысокой урожайности – 0,77–0,93 т/га (соя). Окупаемость затрат на этих культурах составила 1,55–1,73 руб/руб. и 1,36–1,46 руб/руб. соответственно. Полученные экономические показатели свидетельствуют о том, что в засушливых условиях Заволжья возможно расширенное производство всех изучаемых культур.

По мнению А.А. Жученко (2012), возрастающие затраты ископаемой энергии АПК обусловили поиск путей ресурсоэнергоэкономной и природоохранной интенсификации [9].

В наших исследованиях применение дифференцированных систем обработки почвы на фоне рационального сочетания в зернопаропропашном севообороте полевых культур, экологически безопасной системе интегрированной защиты растений с применением препаратов нового поколения, эффективной системы удобрений позволило обеспечить даже в условиях недостаточного увлажнения наибольшие экономические показатели, по сравнению с традиционной технологией. В среднем за годы исследований наибольшая продуктивность севооборота на интенсивных фонах ресурсосберегающей технологии – 1,83–1,85 т/га, что на 0,13–0,33 т/га (7,6–21,7 %) больше других вариантов, обеспечила увеличение условного чистого дохода на 1282,2–1496,9 руб. (19,6–22,9 %), по сравнению с контролем, где продуктивность составила 1,59 т/га.

В исследованиях на ресурсосберегающих технологиях установлено возрастание продуктивности и условного чистого дохода от применения средств интенсификации. В среднем за годы исследований, увеличение показателя, по сравнению с экстенсивным фоном, составило от биопрепаратов на 0,10 т/га (6,6 %) и 659,3 руб. (10,1 %), минеральных удобрений – 0,18 т/га (11,8 %) и 762,2 руб. (11,7 %), совместного действия минеральных удобрений и инсектицидов – 0,31–0,33 т/га (20,4–21,7 %) и 1291,2–1506,0 руб. (19,8–23,1 %) соответственно.

Снижение производственных затрат на экстенсивных фонах (2, 3 вар.) и повышение урожайности и соответственно стоимости продукции на интенсивных (4–6 вар.), по сравнению с традиционной технологией, способствовали увеличению окупаемости затрат на озимой и яровой пшенице, ячмене и подсолнечнике на 0,05–0,48 руб/руб. В среднем на гектар севооборотной площади преимущество ресурсосберегающих технологий, по сравнению с традиционной, составило 0,08–0,17 руб/руб.

В исследованиях по изучению диверсификации озимых культур в зернопаровом севообороте выявлена перспективность введения в структуру посевных площадей новой для Заволжья культуры – озимого тритикале. В засушливых условиях 2012–2016 годов возделывание новых сортов озимого тритикале Капелла и Спика обеспечило, по сравнению с сортом озимой пшеницы Малахит, увеличение продуктивности на 0,07–0,29 т/га и стоимости продукции на 420,0–1740,0 руб/га (2,7–11,1 %). При производственных затратах на уровне с Малахитом условный чистый доход и уровень рентабельности на лучших сортах тритикале возрастали на 728,8–2015,8 руб/га и 10,8–25,1 % соответственно. Максимальные экономические показатели установлены на сорте Спика – 8471,9 руб/га и 96,2 % (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность возделывания озимых культур в расчёте на 1 га (среднее за 2012–2016 гг.)

Сорта	Стоимость продукции, руб.	Производственные затраты, руб.	Условный чистый доход, руб.	Уровень рентабельности, %
Малахит	15540,0	9083,9	6456,1	71,1
Кроха	14640,0	8742,1	5897,9	67,5
Спика	17280,0	8808,1	8471,9	96,2
Капелла	15960,0	8775,1	7184,9	81,9

Выводы

Проведённые исследования в чернозёмной степи Среднего Заволжья свидетельствуют о перспективности, в сложившихся природных и экономических условиях региона, введения в структуру посевных площадей не только озимых зерновых (озимой пшеницы, тритикале), но и расширения биоразнообразия полевых растений в зональных севооборотах, увеличивая до 50–60 % площади культур, наиболее востребованных на продовольственном рынке – яровой твёрдой пшеницы, сои, подсолнечника, ярового ячменя. Площадь самой рентабельной полевой культуры – подсолнечника с учётом появившихся гибридов, устойчивых ко многим заболеваниям и заразихе, не должна превышать 16 % от пашни. При возделывании рассматриваемых высокодоходных культур наиболее эффективны агротехнологии с применением дифференцированной безотвальной системы основной обработки почвы в севообороте адаптивной системы защиты растений и удобрений, современных приспособленных к местным условиям полуинтенсивных и интенсивных сортов и гибридов.

Список литературы

1. Горянин О.И. Агротехнологические основы повышения эффективности возделывания полевых культур на чернозёме обыкновенном Среднего Заволжья: дис. … д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Горянин Олег Иванович. – Саратов, 2016. – 477 с.

2. Горянина Т.А. Возделывание тритикале в условиях Самарской области: науч.- практ. рек.; ФГБНУ «Самарский НИИСХ». – Самара: АРИС, 2016. – 24 с.

3. Грабовец А.И. Озимая пшеница: монография / А.И. Грабовец, М.А. Фоменко. – Ростов н/Д., 2007. – 600 с.

4. Концепция формирования современных ресурсосберегающих комплексов возделывания зерновых культур в Среднем Поволжье / Науч. ред., сост. В.А. Корчагин. – Изд. 2-е., перераб. и доп. – Самара, 2008. – 88 с.

5. Пронин В.М. Технико-экономическая оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий по критерию часовых эксплуатационных затрат / В.М. Пронин, В.А. Прокопенко. – М.: ООО «Столичная типография», 2008. – 162 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 351 с.

7. Казаков Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье: монография. – Самара: Изд-во Самарской ГСХА, 2008. – 251 с.

8. Чуданов И.А. Ресурсосберегающие системы обработки почв в Среднем Поволжье. – Самара, 2006. – 236 с.

9. Жученко А.А. Проблемы ресурсосбережения в процессах интенсификации сельскохозяйственного производства / А.А. Жученко // Проблемы адаптивной интенсификации земледелия в Среднем Поволжье: Сб. науч. тр.: (Посвящается 135-летию со дня рождения Н.М. Тулайкова). – Самара: ГНУ Самарский НИИСХ РАСХН, 2012. – С. 9–29.

References

1. Gorianin O.I. Agrotekhnologicheskie osnovy povysheniia effektivnosti vozdelyvaniia polevykh kultur na chernozeme obyknovennom Srednego Zavolzhia [Agro-technological foundations for increasing the efficiency of cultivation of field crops on the chernozem in the Middle Volga region]. Saratov, 2016. 477 p.

2. Gorianina T.A. Vozdelyvanie tritikale v usloviiakh Samarskoi oblasti [Cultivation of triticale in the Samara region]. Samara ARIS, 2016. 24 p.

3. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Ozimaia pshenitsa: monografiia [Winter wheat: monograph]. Rostov-on-Don, 2007. 600 p.

4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience]. Moscow, Kolos, 1985, 351 p.

5. Zhuchenko A.A. Problemy resursosberezheniia v protsessakh intensifikatsii selskokhoziaistvennogo proizvodstva [Problems of resource-saving in the processes of intensification of agricultural production]. Problemy adaptivnoi intensifikatsii zemledeliia v Srednem Povolzh'e: Sb. nauch. tr.: (Posviashchaetsia 135-letiiu so dnia rozhdeniia N.M. Tulaikova) (g. Samara, 20-20 iiulia 2012 g.) [Proceedings of Problems of adaptive intensification of agriculture in the Middle Volga region: Sat. sci. tr.: (Dedicated to the 135th anniversary of the birth of N.M. Tulaykova (Samara, July 20-20, 2012)], Samara, 2012, pp. 9–29.

6. Kazakov G.I. Obrabotka pochvy v Srednem Povolzhe: monografiia [Soil cultivation in the Middle Volga region: monograph]. Samara, Izd-vo Samarskoi GSKhA, 2008. 251 p.

7. Korchagin V.A. Kontseptsiia formirovaniia sovremennykh resursosberegaiushchikh kompleksov vozdelyvaniia zernovykh kultur v Srednem Povolzhe [The concept of the formation of modern resource-saving complexes for the cultivation of grain crops in the Middle Volga region]. Izd. 2-e., pererab. i dop. Samara, 2008. 88 p.

8. Pronin V.M., Prokopenko V.A. Tekhniko-ekonomicheskaia otsenka effektivnosti selskokhoziaistvennykh mashin i tekhnologii po kriteriiu chasovykh ekspluatatsionnykh zatrat [Technical and economic assessment of the efficiency of agricultural machinery and technology by the criterion of hourly operating costs]. Moscow, OOO «Stolichnaia tipografiia», 2008. 162 p.

9. Chudanov I.A. Resursosberegaiushchie sistemy obrabotki pochv v Srednem Povolzhe [Resource-saving soil treatment systems in the Middle Volga region]. Samara, 2006. 236 p.

УДК 630.181:630.907.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ

Залесов С.В., Ведерников Е.А., Залесова Е.С., Иванчина Л.А., Эфа Д.Э.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

Усиливающееся антропогенное воздействие на лесные экосистемы в сочетании с меняющимся климатом обуславливают повышенный отпад деревьев и, как следствие этого, ухудшение санитарного состояния древостоев. Для назначения выборочных и сплошных санитарных рубок проводится лесопатологическое обследование насаждений, в процессе которого все деревья подразделяются на шесть категорий санитарного состояния: 1 – здоровые, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – свежий сухостой и 6 – старый сухостой. Деревья 4 и 5 категорий состояния составляют текущий отпад, и, если его величина превышает естественный отпад в насаждениях аналогичного состава и возраста, установленный по региональным таблицам хода роста, назначаются сплошные или выборочные санитарные рубки. Значение средневзвешенной категории санитарного состояния определяет состояние древостоя: здоровый, ослабленный, сильно ослабленный, усыхающий и разрушенный. Введение 20 мая 2017 г. «Правил санитарной безопасности в лесах» обусловило выделение пяти дополнительных категорий санитарного состояния: 5(а) – свежий ветровал, 5(б) – свежий бурелом, 6(а) – старый ветровал, 6(б) – старый бурелом, 7 – аварийные деревья. Поскольку по опасности распространения вредителей и болезней деревья 5(а), 5(б) и 7 категории состояния близки к деревьям пятой категории, а деревья 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния к 6 категории, при расчётах средневзвешенной категории санитарного состояния их можно объединить и использовать для оценки санитарного состояния древостоев имеющуюся шкалу.

Ключевые слова: насаждение, древостой, санитарное состояние, отпад, устойчивость, лесопатологическое обследование

DETERMINATION OF THE SANITARY STATE OF FOREST STANDS

Zalesov S.V., Vedernikov E.A., Zalesova E.S., Ivanchina L.A., Efa D.E.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

The ever intensifying anthropogenic effect on forest ecosystems combined with the changing climate call forth increased attrition of trees and as a result, the worsening of forest stands sanitary state. To set selective and clear sanitary cutting it is necessary to carry out the forest pathologic inspection of stands in the course of which all the trees are divided into six categories of sanitary state: 1 – sound, 2 – weakened, 3 – heavily weakened, 4 – drying in, 5 – fresh dead standing trees, 6 – old dead standing trees. Trees of 4 and 5 state categories make up the current audition and if its value exceeds natural one in stands of analogous composition and age established according to regional fables of growth cense then final or selective sanitary cuttings are fixed. The value of average weighted sanitary state category determines the forest stand state: sound (healthy), weakened, heavily weakened, drying in and damaged. Introduction of 20 May 2017 «Rules of sanitary safety in forests» called forth singling out of five additional categories of sanitary state: 5(a) – fresh windfall, 5(b) – fresh windbreak, 6(a) – old windfall, 6(b) – old windbreak, 7 – trees undergone accident. Since as concern vermin and diseases danger spreading, the trees of the 5(a), 5(b) and 7 state categories are rather close to the fifth category and the trees of the 6(a) and 6(b) categories of sanitary state to the sixth category then in estimation of average-weighted category of sanitary state they can be combined and apply this scale for estimation of forest stands summary state.

Keywords: forest, forest stands, sanitary state, attrition drain, stability, forest pathologic inspection

При выращивании высокопродуктивных лесных насаждений очень важно иметь объективные данные об их санитарном состоянии, что позволяет принять своевременные меры по недопущению распространения опасных вредителей и болезней. Общеизвестно [1–3], что усиливающееся антропогенное воздействие и меняющийся климат способствуют снижению устойчивости древостоев. Последнее, в частности, проявляется в деградации лесов в районах с наиболее активной хозяйственной деятельностью [4, 5].

В целях получения объективной актуальной информации о состоянии лесных насаждений осуществляется лесной экологический мониторинг [6] и лесопатологические обследования, а для предотвращения распространения возникающих очагов опасных вредителей и болезней проводятся специализированные лесоводственные мероприятия.

Особо следует отметить, что нормативная база по вопросам оценки санитарного состояния древостоев постоянно совершенствуется, что вызывает необходимость сравнительного анализа полученных новых данных с ранее существующими, поскольку при невозможности сопоставления информации не может осуществляться объективный лесной экологический мониторинг.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

№ п/п	Состав по элементам леса	Возраст, лет	Средние		Густота, шт/га	Полнота		Класс бонитета	Запас, м³/га			
			Диаметр, см	Высота, м		Абсолютная, м²/ га	Относительная		Общий	В т.ч. растущего	В т.ч. сухостоя	В т.ч. захламлённость
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип леса – Е. лп.												
3	2Е	86	23,1	21,8	89	4	0,1	II	220	40	81	99
	4Ос		15,1	17	545	10	0,4		89	80	–	9
	4Б		31,1	26,9	93	7	0,3		95	85	1	9
	1П		12,6	13	8	0,1	–		7	1	4	2
Итого			–	19,7	736	21	0,8		411	206	86	119
6	1Е	71	16,1	11,9	158	3	0,1	IV	526	69	324	133
	4Б		30,9	20,9	147	11	0,4		138	116	22	–
	4Ос		19,7	16,6	453	14	0,6		149	123	–	26
	1Лп		30,4	21	74	5	0,2		22	22	–	–
	+П		12,1	8,2	95	1	–		21	6	3	12
Итого			–	15,7	926	35	1,0		856	336	349	171
7	2Е	86	22,7	21,4	192	8	0,2	II	183	84	91	8
	1П		15,9	16,3	347	7	0,3		85	60	4	21
	+Б		25,9	21,8	52	3	0,1		41	30	1	10
	7Лп		37,6	27,3	291	32	1,0		397	385	–	12
Итого			–	21,7	883	50	1,0		706	559	96	51
Тип леса – Е. к.												
4	6Е	73	23,0	24,9	267	11	0,3	I	302	137	146	19
	1П		26,4	24,5	37	2	0,1		24	23	1	–
	2Б		18,2	19,1	253	7	0,3		66	60	1	5
	1Ос		19,2	20,2	103	3	0,1		36	28	2	6
Итого			–	22,2	659	23	0,8		428	248	150	30
10	5Е	81	23,1	16,2	233	10	0,3	III	412	100	178	134
	5П		27,9	17,9	222	13	0,5		186	113	34	39
Итого			–	17,1	456	23	0,8		598	213	212	173
13	3Е	77	23,8	21,3	227	10	0,3	II	266	110	89	67
	6П		24,9	21,9	507	25	1,0		334	261	47	26
	1Ос		20,6	22,6	60	2	0,1		23	23	–	–
Итого			–	21,9	793	37	1,0		623	394	136	93
14	4Е	73	22,2	17,3	261	10	0,3	III	245	102	102	41
	5С		35,9	23,8	107	11	0,4		119	114	2	3
	1П		17,9	14,7	85	2	0,1		20	18	–	2
Итого			–	18,6	453	23	0,8		384	234	104	47
Тип леса – Е. зм.												
11	8Е	63	21,8	21	435	16	0,4	I	341	184	116	41
	2С		32,0	24,6	56	5	0,2		52	51	1	–
Итого			–	22,8	491	21	0,6		393	235	117	41
12	10Е	67	25,2	19,9	438	22	0,6	I	644	232	363	49
	+С		32,0	23,5	13	1	0,04		10	10	–	–
	+П		8,0	9,3	63	0,3	0,01		3	1	–	2
Итого			–	17,6	513	23	0,7		657	243	363	51
15	6Е	76	22,5	22	261	10	0,3	I	226	116	78	32
	4С		29,6	25,8	75	5	0,2		65	65	–	–
Итого			–	23,9	336	15	0,5		291	181	78	32

Цель, методика и объекты исследований

Целью исследований являлось установление возможности сопоставления информации, полученной в соответствии с действующими и ранее используемыми нормативными документами по оценке санитарного состояния древостоев.

При проведении исследований использовался метод пробных площадей (ПП). Пробные площади закладывались в соответствии с общепринятыми апробированными методиками [6]. Дополнительно на всех ПП производилось распределение деревьев по категориям санитарного состояния в соответствии с действующими [7] и ранее использовавшимися [8, 9] нормативными документами.

Размер ПП определялся наличием на них количества особей, позволяющих определить таксационные показатели с точностью, принятой в лесоводстве – 2–5 % [10]. Для определения достоверности различий в распределении запасов древостоев по категориям санитарного состояния использовался критерий Колмогорова – Смирнова [11].

Объектами исследований служили одновозрастные еловые насаждения зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края, в которых в последние годы наблюдается массовое усыхание деревьев ели [12]. Всего было заложено 10 ПП в насаждениях липнякового, кисличного и зеленомошного типов леса (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что все ПП характеризуются значительным отпадом деревьев. В результате усыхания деревьев ели на месте коренных еловых насаждений липнякового типа леса сформировались производные мягколиственные насаждения и липняки.

Собранные на ПП материалы были использованы для анализа с целью установления возможности сопоставления сведений о санитарном состоянии древостоев полученных по старым и действующим нормативным документам.

Материалы и обсуждение

Во всех лесных насаждениях имеет место естественный отпад деревьев, чем и объясняется процесс естественного изреживания древостоев. Однако по различным объективным и субъективным причинам указанный отпад может увеличиваться и, во избежание возникновения очагов распада древостоя и недопущения повышения пожарной опасности в насаждениях, проводятся специализированные рубки.

Одним из специализированных видов рубок ухода за лесом являются выборочные санитарные рубки. Целью данных рубок является оздоровление насаждений и недопущение распространения опасных вредителей и болезней. Известно, что для назначения выборочных санитарных рубок в каждом выделе, где планируется проведение указанных рубок, закладываются пробные площади, на которых помимо общепринятых в лесной таксации и лесоводстве измерений [6] производится распределение деревьев по категориям санитарного состояния. Все деревья с учётом состояния ассимиляционного аппарата и других признаков подразделялись на шесть категорий санитарного состояния [8, 9]: 1 – здоровые; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой.

Целесообразность проведения выборочных санитарных рубок устанавливалась по величине текущего отпада, т.е. запасу усыхающих деревьев и свежего сухостоя. Если указанный запас превышал значения естественного отпада для насаждений аналогичного состава и возраста, взятых из таблиц хода роста, то это служило основанием для назначения выборочных санитарных рубок. Особое внимание уделялось оставляемой на доращивание части древостоя, т.е. деревьям 1–3 категорий санитарного состояния. Если после удаления деревьев 4, 5 и 6 категорий санитарного состояния полнота оставляемых на выращивание деревьев была ниже критической, – 0,4 для светлохвойных и лиственных насаждений и 0,5 для темнохвойных, то вместо выборочных назначались сплошные санитарные рубки.

Для оценки общего санитарного состояния насаждений Б.И. Ковалёв [13] предложил шкалу, согласно которой каждому значению средневзвешенной категории санитарного состояния соответствует оценка древостоя (табл. 2).

Таблица 2

Оценка санитарного состояния древостоя по шкале Б.И. Ковалёва [13]

№ п/п	Значение средневзвешенной категории санитарного состояния	Состояние древостоя
1	До 1,5	Здоровый
2	1,6–2,5	Ослабленный
3	2,6–3,5	Сильно ослабленный
4	3,6–4,5	Усыхающий
5	Свыше 4,5	Разрушенный

Таблица 3

Распределение запаса деревьев ели на ПП по категориям санитарного состояния, $м^3$/га/%

№ п/п	Запас деревьев ели по категориям санитарного состояния										Итого
	1	2	3	4	5	5(а)	5(б)	6	6(а)	6(б)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
По данным действовавших ранее нормативных документов [8, 9]											
Тип леса – Е. лп.											
3	19 15,7	8 6,6	13 10,7	–	1 0,9	–	–	80 66,1	–	–	121 100
6	13 3,4	55 14,2	0,5 0,1	–	40 11,1	–	–	284 71,2	–	–	393 100
7	71 39,7	8 6,4	3 1,2	2 0,8	36 20,6	–	–	55 31,3	–	–	175 100
Тип леса – Е. к.											
4	122 43,2	10 3,4	0,4 0,1	5 1,7	52 18,2	–	–	95 33,4	–	–	284 100
13	76 38,2	28 14,1	6 2,9	–	–	–	–	89 44,8	–	–	198 100
14	90 44,3	7 3,5	3 1,4	2 0,8	32 15,5	–	–	70 34,4	–	–	204 100
10	67 24,1	22 7,9	0,2 0,1	11 3,9	56 20,1	–	–	122 43,9	–	–	278 100
Тип леса – Е. зм.											
11	155 51,7	12 3,8	17 5,7	–	–	–	–	116 38,8	–	–	300 100
12	134 22,5	52 8,8	7 1,1	39 6,6	169 28,3	–	–	194 32,7	–	–	595 100
15	97 49,8	10 5,3	9 4,6	–	1 0,4	–	–	77 39,9	–	–	194 100
По данным действующего нормативного документа [7]											
Тип леса – Е. лп.											
3	19 8,6	8 3,5	13 6,1	–	1 0,5	–	–	80 36,4	7 3,4	91 41,5	220 100
6	13 2,5	55 10,6	0,5 0,1	–	40 8,3	–	–	284 53,3	133 25,2	–	526 100
7	71 38,1	8 6,1	3 1,1	2 0,7	36 19,7	–	–	55 30,0	–	8 4,3	183 100
Тип леса – Е. к.											
4	122 40,5	10 3,2	0,4 0,1	5 1,6	52 17,1	–	–	95 31,4	2 0,6	17 5,5	302 100
13	76 28,5	28 10,5	6 2,2	–	–	6 2,4	–	89 33,4	13 5,0	48 18,0	265 100
14	90 36,8	7 2,9	3 1,2	2 0,7	32 12,9	0,1 0,04	0,4 0,2	70 28,6	12 4,9	29 11,8	245 100
10	67 16,3	22 5,3	0,2 0,05	11 2,7	56 13,6	–	–	122 29,5	67 16,3	67 16,3	412 100
Тип леса – Е. зм.											
11	155 45,5	12 3,4	17 5,0	–	–	–	–	116 34,1	17 5,0	24 7,0	341 100
12	134 20,8	52 8,1	7 1,0	39 6,1	169 26,2	–	–	194 30,2	10 1,5	39 6,1	644 100
15	97 42,8	10 4,6	9 3,9	–	1 0,3	–	–	77 34,3	9 4,2	22 9,9	226 100

В новых Правилах санитарной безопасности в лесах [7] количество категорий санитарного состояния увеличилось на пять. Были дополнительно введены 5(а) – свежий ветровал, 5(б) – свежий бурелом, 6(а) – старый ветровал, 6(б) – старый бурелом и 7 – аварийные деревья.

Для сравнения санитарного состояния по действовавшим ранее [8, 9] и новым [7] нормативным документам нами выполнено распределение запаса деревьев ели по категориям санитарного состояния на заложенных ПП (табл. 3).

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что на всех ПП отсутствуют аварийные деревья ели, а свежий бурелом встречается лишь на ПП-14 и его запас не превышает 0,5 м^3/га.

На основании рассчитанных по данным табл. 3 средневзвешенных категорий санитарного состояния можно легко определить санитарное состояние древостоев пробных площадей по шкале Б.И. Ковалёва [13] (табл. 4).

Для установления достоверности различий запасов древостоев по категориям санитарного состояния прежних и действующих нормативных документов, по каждой ПП был рассчитан критерий Колмогорова – Смирнова (λ). Предельное значение последнего при уровне значимости 0,05 равно 1,36, следовательно, в случае, если значение $\lambda \geq 1{,}36$, различия между распределениями достоверны. Рассчитанные значения критерия Колмогорова – Смирнова приведены в табл. 5.

Материалы табл. 5 свидетельствуют, что достоверность различий не подтверждается только на тех ПП, где запас ветровала и бурелома не превышает 7,6 %.

Таблица 4

Санитарное состояние древостоев пробных площадей

№ п/п	Значение средневзвешенной категории санитарного состояния	Санитарное состояние елового древостоя
1	2	3
По данным действовавших ранее нормативных документов [8, 9]		
Тип леса – Е. лп.		
3	4,62	Разрушенный
6	5,17	Разрушенный
7	3,61	Усыхающий
Тип леса – Е. к.		
4	3,49	Сильно ослабленный
13	3,45	Сильно ослабленный
14	3,44	Сильно ослабленный
10	4,27	Усыхающий
Тип леса – Е. зм.		
11	3,09	Сильно ослабленный
12	4,07	Усыхающий
15	3,15	Сильно ослабленный
По данным действующего нормативного документа [7]		
Тип леса – Е. лп.		
3	7,73	Разрушенный
6	6,21	Разрушенный
7	3,93	Усыхающий
Тип леса – Е. к.		
4	4,51	Разрушенный
13	5,63	Разрушенный
14	5,06	Разрушенный
10	5,88	Разрушенный
Тип леса – Е. зм.		
11	4,55	Разрушенный
12	5,11	Разрушенный
15	4,76	Разрушенный

Таблица 5

Значения критерия Колмогорова – Смирнова в древостоях ПП

№ п/п	Значение критерия λ	Достоверность различия
3	3,967	Достоверно
6	3,777	Достоверно
7	0,407	Недостоверно
4	0,738	Недостоверно
13	2,448	Достоверно
14	1,761	Достоверно
10	4,198	Достоверно
11	1,516	Достоверно
12	1,337	Недостоверно
15	1,441	Достоверно

Анализ табл. 4 и 5 свидетельствует, что лишь в условиях ельника липнякового данные о санитарном состоянии древостоев ели совпали при использовании прежних и действующих нормативных документов. Следовательно, шкала Б.И. Ковалёва [13] должна быть доработана или изменена методика расчёта средневзвешенной категории санитарного состояния древостоев.

Поскольку существенных пояснений по назначению санитарных рубок в соответствии с введенными Правилами [7] нет, считаем возможным высказать следующую точку зрения по поводу основания для их назначения.

Из вновь добавленных категорий санитарного состояния следует выделить деревья 5(а) (свежий ветровал), 5(б) (свежий бурелом) и 7 (аварийные). Деревья указанных категорий санитарного состояния, так же как и деревья 4 и 5 категорий, относятся к текущему отпаду, а следовательно, нуждаются в срочном изъятии из древостоя во избежание распространения вторичных вредителей и создания аварийных ситуаций. Вырубка деревьев 4, 5, 5(а), 5(б) и 7 категорий санитарного состояния не только будет способствовать оздоровлению насаждений, но и снизит в них пожарную опасность.

Деревья 6(а) (старый ветровал) и 6(б) (старый бурелом) аналогично деревьям 6 (старый сухостой) категории санитарного состояния уже «отработаны» вторичными вредителями и в подавляющем большинстве случаев опасности для оставшейся части древостоя не представляют. Их удаление осуществляется при назначении выборочных или сплошных санитарных рубок с целью снижения пожарной опасности.

Сходство биологических особенностей деревьев 5, 5(а), 5(б) и 7, а также 6, 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния позволяет при расчётах средневзвешенной категории санитарного состояния рекомендовать использование следующих коэффициентов: I – для деревьев 1 категории санитарного состояния; II – для деревьев 2; III – для деревьев 3; IV – для деревьев 4; V – для деревьев 5, 5(а), 5(б), 7; VI – для деревьев 6, 6(а), 6(б) категорий санитарного состояния.

Значения средневзвешенных категорий санитарного состояния, рассчитанные для древостоев ПП по предлагаемой методике, приведены в табл. 6.

Сравнение данных о санитарном состоянии древостоев ПП, приведённых в табл. 4 и 6, свидетельствует, что расчёт, выполненный при объединении некоторых категорий санитарного состояния, более объективно отражает реальную ситуацию.

Таблица 6

Санитарное состояние древостоев ПП, установленное при объединении категорий санитарного состояния

№ п/п	Значение средневзвешенной категории санитарного состояния	Санитарное состояние древостоя
Тип леса – Е. лп.		
3	5,21	Разрушенный
6	5,37	Разрушенный
7	3,62	Усыхающий
Тип леса – Е. к.		
4	3,67	Усыхающий
13	4,08	Усыхающий
14	3,88	Усыхающий
10	4,79	Разрушенный
Тип леса – Е. зм.		
11	3,44	Сильно ослабленный
12	4,22	Усыхающий
15	3,53	Сильно ослабленный

Особо следует отметить, что деревья 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния могут служить причиной назначения такого лесоводственного мероприятия, как ликвидация захламлённости. Указанное мероприятие помимо минимизации пожарной опасности увеличивает рекреационную привлекательность насаждений.

При планировании уборки из древостоя деревьев 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния целесообразно учитывать стадию деструкции древесины. Нами [14] предлагается при разработке лесосек использовать распределение деревьев 5(а), 5(б), 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния на четыре стадии деструкции по степени разложения древесины:

I – древесина крепкая, на ней присутствуют пятна цвета, отличного от цвета живой древесины, кора обычно присутствует;

II – древесина мягкая, волокна отщепляются, но в комок не скатываются, кора местами присутствует;

III – древесина мягкая, волокна отщепляются, но в комок не скатываются, кора местами присутствует;

IV – древесина в виде трухи или остатков ядра ствола и ветвей.

Распределение деревьев по стадиям деструкции древесины позволяет определить целесообразность их уборки в процессе выборочных или сплошных санитарных, а также других видов рубок ухода и рубок спелых и перестойных насаждений. Так, в частности, на участках с крайне неустойчивым водным режимом (насаждения нагорных, лишайниковых, брусничных и близких к ним типов леса) уборка деревьев 5(а), 5(б), 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния проектируется при нахождении валёжной древесины на I–III стадиях их разложения (деструкции). При проведении рубок или ликвидации захламлённости в насаждениях, произрастающих на дренированных участках с относительно неустойчивым и устойчивым водным режимом (насаждения ягодниковых, зеленомошных, липняковых, разнотравных, кисличных и близких к ним типов леса), из насаждения изымаются деревья 5(а), 5(б), 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния, находящиеся на I и II стадиях разложения древесины.

В насаждениях, произрастающих на почвах с периодическим и устойчивым переувлажнением (насаждения крупнотравно-приручьёвых, долгомошных, мшисто-хвощёвых, сфагновых, травяно-болотных и близких к ним типов леса), уборка захламлённости проектируется только при условии сбыта древесины и нахождения её на первой стадии разложения (деструкции).

Выводы

1. При оценке санитарного состояния и назначении санитарных рубок целесообразно распределять деревья, сухостой, ветровал и бурелом на 11 категорий санитарного состояния.

2. К текущему отпаду, при определении необходимости назначения санитарных рубок следует относить помимо деревьев 4 (усыхающие) и 5 (свежий сухостой), также деревья 5(а) (свежий ветровал), 5(б) (свежий бурелом) и 7 (аварийные деревья) категорий санитарного состояния, близкие к первым двум категориям по биологическим особенностям.

3. Деревья 6 (старый сухостой), 6(а) (старый ветровал) и 6(б) (старый бурелом) категорий санитарного состояния удаляются из насаждений для снижения пожарной опасности и увеличения рекреационной привлекательности при всех видах рубок, а также при ликвидации захламлённости.

4. Уборка деревьев 6, 6(а) и 6(б) категорий санитарного состояния планируется с учётом стадии деструкции древесины и типа леса (лесорастительных условий).

5. При расчёте средневзвешенной категории санитарного состояния древостоя следует деревьям 5, 5(а), 5(б) и 7 категории санитарного состояния дать общий коэффициент 5, а для деревьев 6, 6(а) и 6(б) категорий – общий коэффициент 6. Использование данного объединения обеспечит возможность сопоставления информации, полученной в соответствии с действующими и ранее используемыми нормативными документами по оценке санитарного состояния древостоев, объективность его мониторинга и преемственность исследований.

Список литературы

1. Сазонов А.А. Массовое усыхание как перманентное состояние еловых лесов Беларуси / А.А. Сазонов // Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2013. – С. 110–114.

2. Данчева А.В. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника: дис… канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 2013. – 24 с.

3. Бунькова Н.П. Рекреационная устойчивость и ёмкость сосновых насаждений в лесопарках г. Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 124 с.

4. Цветков В.Ф. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 312 с.

5. Мартынюк А.А. Экологические проблемы в исследованиях ВНИИЛМ / А.А. Мартынюк, А.Н. Жидков, Л.Л. Коженков // ВНИИЛМ – 80 лет научных исследований. – М.: ВНИИЛМ, 2016. – С. 143–154.

6. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.

7. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах: Постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607 [Электронный ресурс]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/436736467 (дата обращения: 14.04.2018).

8. Санитарные правила в лесах Российской Федерации // Лесное законодательство Российской Федерации: Сб.нормативно-правовых актов. – М., 1998. – С. 310–329.

9. Правила санитарной безопасности в лесах: Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июня 2007 г. № 414 [Электронный ресурс]. – URL: http://base.garant.ru/2162691 (дата обращения: 14.04.2018).

10. Анучин Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 276 с.

11. Багинский В.Ф. Биометрия в лесном хозяйстве: учебник / В.Ф. Багинский, О.В. Лапицкая. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – 276 с.

12. Иванчина Л.А. Влияние примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на их устойчивость / Л.А. Иванчина, С.В. Залесов // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 6. – С. 61–66.

13. Ковалёв Б.И. Состояние заподсоченных сосновых лесов Приангарья / Б.И. Ковалёв // Лесное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 35–38.

14. Рекомендации по очистке мест рубок в лесах Пермского края / С.В. Залесов, Л.А. Белов, Е.А. Ведерников и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 16 с.

References

1. Sazonov A.A. Massovoe usykhanie kak permanentnoe sostoianie elovykh lesov Belarusi [Mass drying as a permanent condition of spruce forests of Belarus]. Sovremennoe sostoianie i perspektivy okhrany i zashchity lesov v sisteme ustoichivogo razvitiia (g. Gomel, 9–11 oktiabria 2013 g.) [Proceedings of the current state and prospects of forest protection in the sustainable development (Gomel, October 9–11, 2013)], Gomel, Institute of forest of NAS of Belarus, In-t lesa NAN Belarusi, 2013, pp. 110–114.

2. Dancheva A.V. Vliianie rekreatsionnykh nagruzok na sostoianie i ustoichivost sosnovykh nasazhdenii Kazakhskogo melkosopochnika [Influence of recreational loads on the condition and stability of pine plantations of the Kazakh hummocky topography]. Ekaterinburg, Uralskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2013. 24 p.

3. Bunkova N.P., Zalesov S.V. Rekreatsionnaia ustoichivost i emkost sosnovykh nasazhdenii v lesoparkakh g. Ekaterinburga [Recreational sustainability and capacity of pine plantations in the forest parks of Yekaterinburg]. Ekaterinburg, Uralskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2016. 124 p.

4. Tsvetkov V.F. Promyshlennoe zagriaznenie okruzhaiushchei sredy i les [Industrial pollution and forest]. Arkhangelsk, IPTs SAFU, 2012. 312 p.

5. Martyniuk A.A., Zhidkov A.N., Kozhenkov L.L. Ekologicheskie problemy v issledovaniiakh VNIILM [Ecological problems in studies of VNIILM]. VNIILM – 80 let nauchnykh issledovanii [VNIILM – 80 years of scientific research]. Moscow, VNIILM, 2016, pp. 143–154.

6. Dancheva A.V., Zalesov S.V. Ekologicheskii monitoring lesnykh nasazhdenii rekreatsionnogo naznacheniia [Ecological monitoring of forest vegetation recreational]. Ekaterinburg, Uralskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2015. 152 p.

7. Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoj bezopasnosti v leash: Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 20 maja 2017 g. № 607 [About approval of Rules of sanitary safety in forests: The government of the Russian Federation of May 20, 2017 no. 607]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/436736467 (accessed 14.04.2018).

8. Sanitarnye pravila v lesah Rossijskoj Federacii // Lesnoe zakonodatel'stvo Rossijskoj Federacii: Sb. normativno-pravovyh aktov [Sanitary rules in forests of the Russian Federation Forest legislation of the Russian Federation: Sat. normativelegal acts]. Moscow, 1998, pp. 310–329.

9. Pravila sanitarnoj bezopasnosti v lesah: Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 29 ijunja 2007 g. № 414 [Rules of sanitary safety in forests: The government of the Russian Federation of 29 June 2007, No. 414]. – URL: http://base.garant.ru/2162691 (accessed 14.04.2018).

10. Anuchin N.P. Lesnaia taksatsiia [Forest taxation]. Moscow, Lesnaia promyshlennost, 1977. 276 p.

11. Baginskii V.F., Lapitskaia O.V. Biometriia v lesnom khoziaistve [Biometrics in forestry]. Gomel, GGU im. F. Skoriny, 2017. 276 p.

12. Ivanchina L.A., Zalesov S.V. Vliianie primesi listvennykh porod v sostave drevostoev elnika zelenomoshnogo na ikh ustoichivost [Impact of pine admixtures in green-moss spruce stands composition on their stability]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Advances in current natural sciences, 2017, no. 6, pp. 61–66.

13. Kovalev B.I. Sostoianie zapodsochennykh sosnovykh lesov Priangaria [As papadahandi pine forests of the Angara region]. Lesnoe khoziaistvo – Forestry, 1993, no. 5, pp. 35–38.

14. Zalesov S.V., Belov L.A., Vedernikov E.A. Rekomendatsii po ochistke mest rubok v lesakh Permskogo kraia [Recommendations for clearing the ground felling in the forests of the Perm region]. Ekaterinburg, Uralskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2017. 16 p.

УДК 630*245:630*221.04:630*232.322

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ И ЛЕСОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Ивашнев М.В., Гаврилова О.И.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: ivashnev.mv@yandex.ru, ogavril@mail.ru

При обеспечении лесопромышленного комплекса высококачественными лесными ресурсами особые требования должны быть предъявлены к уходу за лесными культурами, обеспечивающему успешный рост культур в условиях вырубки. Наибольшую опасность при формировании лесных культур на вырубках представляет самосев и порослевое возобновление лиственных пород и, прежде всего, березы и осины. Создание лесных культур требует постоянного ухода за ними. Анализ машин и оборудования, используемых для данных работ, показал перспективность применения машин непрерывного действия, к которым относятся кусторезная и мульчерная техника, применяемая для удаления нежелательной древесной растительности. Применение данной техники позволяет, начиная с молодого возраста, правильно формировать состав насаждениий. Представлены технические решения, разработанные в Петрозаводском государственном университете за последние годы и позволяющие эффективно проводить данные работы. Одним из факторов, который ограничивает развитие и рост лесных культур на вырубках в первые годы жизни, является формирование живого напочвенного покрова, представляющего собой травянистую растительность и поросль лиственных пород. Для ослабления воздействия напочвенного покрова используют агротехнический уход – комплекс приемов, направленных на повышение приживаемости лесных культур и улучшение условий их роста: рыхление почвы, уничтожение или подавление сорняков, внесение удобрений и т.д. При этом обработка почвы на вырубках имеет решающее значение для устранения конкуренции с основными видами травянистой растительности. В этом случае применение мульчерной техники на вырубках позволяет уничтожить порубочные остатки, подготовить поверхность перед посадкой. Полученная при подготовке почвы мульча позволяет регулировать состав сорной растительности и выполняет роль дополнительного резерва органического вещества, быстро разлагающегося в почве.

Ключевые слова: машины непрерывного действия, мульчерная техника, хвойные культуры, вырубка, напочвенный покров

BASES FOR APPLICATION OF CONTINUOUS-TYPE MACHINES FOR EXECUTION OF SILVICULTURAL AND REFORESTATION WORKS

Ivashnev M.V., Gavrilova O.I.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: ivashnev.mv@yandex.ru, ogavril@mail.ru

When providing the forestry complex with high-quality forest resources, special requirements should be presented for the care of forest crops, which ensures successful growth of crops in the conditions of cutting down. The greatest danger in the formation of forest crops on cuttings is represented by sowing and coppice renewal of deciduous species and, above all, birch and aspen. The creation of forest crops requires constant care for them. Analysis of machines and equipment used for this work has shown the promise of continuous-type machines, which include brush and cutter technology used to remove unwanted woody vegetation. The use of this technique allows, starting from a young age, to correctly form the composition of plantations. Technical solutions developed by Petrozavodsk State University in recent years and allowing to effectively carry out these works are presented. One of the factors that limits the development and growth of forest crops on felling in the first years of life is the formation of a living ground cover, which is a grassy vegetation and thickets of deciduous species. To mitigate the impact of the soil cover, agrotechnical care is used – a set of techniques designed to increase the survival of forest crops and improve their growth conditions: loosening the soil, destroying or suppressing weeds, fertilizing, etc. In this case, tillage on logging sites is crucial for eliminating competition with the main types of grassy vegetation. In this case, the use of the shredder on felling can destroy felling residues, prepare the surface before planting. Mulch obtained during the preparation of the soil makes it possible to regulate the composition of weed vegetation and serves as an additional reserve of organic matter that rapidly decomposes in the soil.

Keywords: continuous-type machines, shredding equipment, coniferous crops, cutting down, ground cover

Наибольшую конкуренцию хвойным культурам на вырубках составляет самосев и порослевое возобновление лиственных пород, что зачастую является главной причиной снижения продуктивности и даже гибели лесных культур. При полном отсутствии рубок ухода в молодняках береза как более конкурентоспособная порода обладает быстрым ростом и может сформировать мелколиственное насаждение на вырубке. При этом деревца хвойных пород находятся в составе лесонасаждения в виде примеси или во втором ярусе, что в результате заглушает хвойные породы деревьев (сосну и ель) и нередко ведет к полной гибели данных культур [1, 2].

При анализе средней высоты культур относительно примеси пород естественного возобновления необходимо отметить, что проведение лесоводственных уходов предполагается выполнять при преобладании лиственных пород по высоте для сосны в 1,5 раза и ели в 2 раза. Ослабление воздействия на рост культур хвойных пород достигается проведением рубок ухода или осветлением. Начиная с возраста 10÷15 лет средняя высота ели в 2 раза меньше средних высот лиственных пород, а при отсутствии прочисток и прореживаний превышение березы и осины над елью достигает 3÷4 м [3, 4]. Поэтому первый лесоводственный уход в лесных культурах следует проводить уже на 5÷6 год [5].

Проведение вручную таких работ нежелательно. При срубании топором или срезании бензопилой лиственных пород уже на следующий год возбуждается активное порослевое возобновление, которое через ряд лет приводит к еще большему загущению [2]. Применение специальной техники позволяет, начиная с молодого возраста, правильно формировать состав насаждения. Анализ машин и оборудования, используемых для данных работ, показал перспективность применения машин непрерывного действия, к которым относятся кусторезная и мульчерная техника, применяемая для удаления нежелательной древесной растительности. В Петрозаводском государственном университете за последние годы созданы технические решения, позволяющие эффективно проводить данные работы.

Для удаления надземной части древесно-кустарниковой растительности (ДКР): кусторезная машина RU № 110595; роторный кусторез RU № 110913; ротор кустореза RU № 141057; роторный кусторез RU № 168570; машина для защиты линейных объектов RU № 168576. Для удаления надземной части ДКР и подрезания пней: ротор кустореза RU № 110912.

Для удаления ДКР и подготовки почвы: машина для измельчения древесно-кустарниковой растительности на корню RU № 127579; рабочий орган машины для срезания древесно-кустарниковой растительности и предотвращения пожаров RU № 162808; рабочий орган машины для срезания древесно-кустарниковой растительности и предотвращения пожаров RU № 163764; машина для измельчения древесно-кустарниковой растительности и предотвращения пожаров RU № 165226.

Для удаления ДКР и химической обработки расчищаемой площади: машина для измельчения древесно-кустарниковой растительности на корню RU № 123635. Для сбора порубочных остатков на вырубках и измельчения пней: машина для расчистки вырубок перед искусственным лесовосстановлением RU № 138170. Рабочий орган машины для срезания древесно-кустарниковой растительности и прокладки минерализованных полос RU № 163148. Способ расчистки вырубок для искусственного лесовосстановления RU № 2554447 со сбором лесосечных отходов для последующей переработки на топливную щепу.

Эффективность искусственного лесовосстановления остается низкой. Связано это не только с естественным возобновлением лиственных пород, но и с ростом живого напочвенного покрова. Создание лесных культур требует постоянного ухода за ними. Основными причинами низкого лесовосстановления при создании лесных культур являются: нарушение технологии создания культур, повреждения культур болезнями и вредителями, заглушение культур лиственными породами и травянистой растительностью. Существенного влияния на рост лесных культур можно достичь обработкой почвы. Обработка почвы позволяет активизировать биологические процессы в почве, повлиять на ее водный, тепловой и питательный режимы [6].

Цель исследования

Изучить рост и развитие лесных культур в первые годы жизни на вырубках под влиянием живого напочвенного покрова.

Материалы и методы исследования

Одним из факторов, который ограничивает развитие и рост лесных культур на вырубках в первые годы жизни, является формирование живого напочвенного покрова, представляющего собой травянистую растительность и поросль лиственных пород. Посадки саженцев лесных культур более устойчивы к заглушению травянистой растительностью, чем посевы, поэтому лесные культуры рекомендовано создавать посадкой [6]. В работе [5] исследовано воздействие живого напочвенного покрова на возобновление лесных культур на вырубках и рассмотрены вопросы формирования лесных культур, созданных различными способами: посевом, посадкой сеянцев с открытой

корневой системой (ОКС) и посадочным материалом с закрытой корневой системой (ПМЗК). Исследования проводились в лесопитомниках южной части Республики Карелия. В процессе исследований ежегодно измерялись линейные показатели роста лесных культур, элементов корневой системы и ассимиляционного аппарата, изучалась возрастная динамика живого напочвенного покрова в течение первых пяти лет.

Результаты исследования и их обсуждение

Высота культур является основным показателем роста и определяет их развитие. На рис. 1 и 2 представлены изменения высоты культур сосны, созданной ПМЗК без обработки почвы и при обработке почвы перед посадкой, в первые пять лет жизни.

Исследования, проведенные в южной части Республики Карелия, показали очевидность вывода о необходимости предпосадочной подготовки почвы. При создании культур сосны на вырубках с подготовкой почвы к четвертому году вегетации число травянистых растений по видам составило: вейник лесной – 15600 шт/га, луговик извилистый – 15500 шт/га, иван-чай – 97900 шт/га. Проективное покрытие травянистой растительностью по годам после подготовки почвы достигает следующих пределов: первый год 0÷5 %; второй год 15÷55 %; третий год 40÷75 %; четвертый год 65÷80 % и пятый год 75÷95 %. На остальной площади вырубки, где не была проведена обработка почвы, зарастание ее основными видами живого напочвенного покрова шло более интенсивно, видовой состав был более разнообразен. При всём этом на необработанной почве лесосеки отмечено наличие других представителей напочвенного покрова, таких как полевица, брусника, осока заячья, зеленые и сфагновые мхи.

Таким образом, в культурах сосны обработка почвы имеет решающее значение для устранения конкуренции с основными видами травянистой растительности вырубок. При создании культур сосны на вырубках без подготовки почвы приживаемость их составила 68 % и средняя высота культур только на пятый год стала равна высоте основных представителей напочвенного покрова.

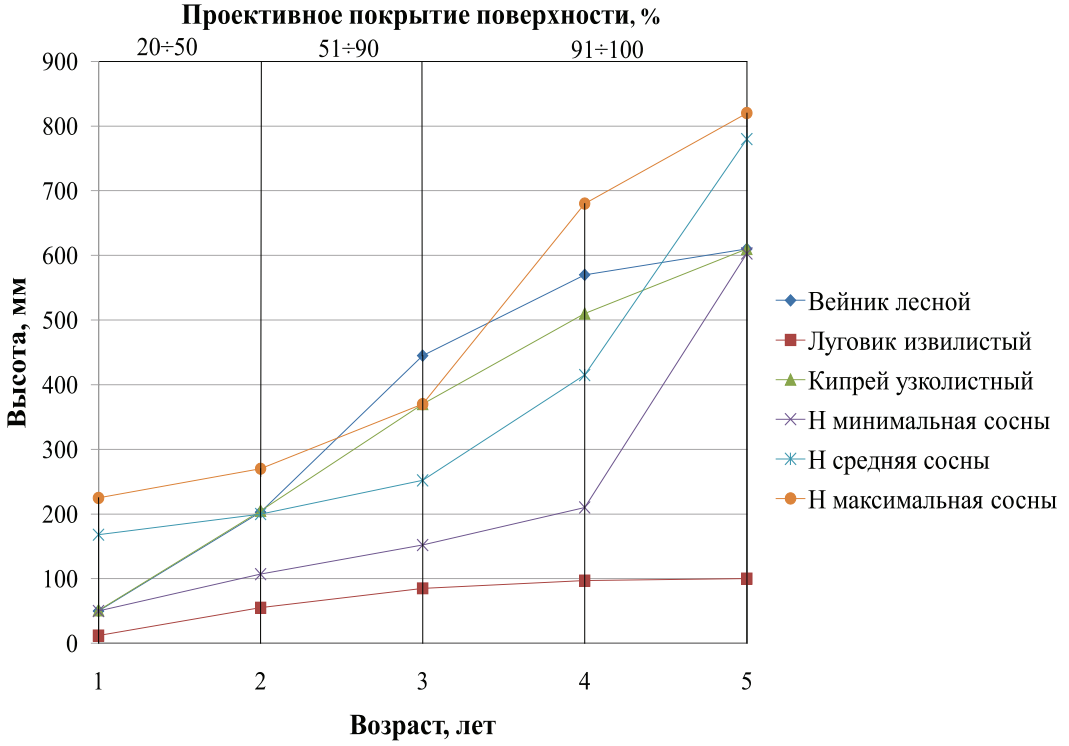


Рис. 1. Изменение высоты культур сосны, созданной ПМЗК без обработки почвы перед посадкой, представителей напочвенного покрова, процента проективного покрытия по годам на конец периода вегетации растений

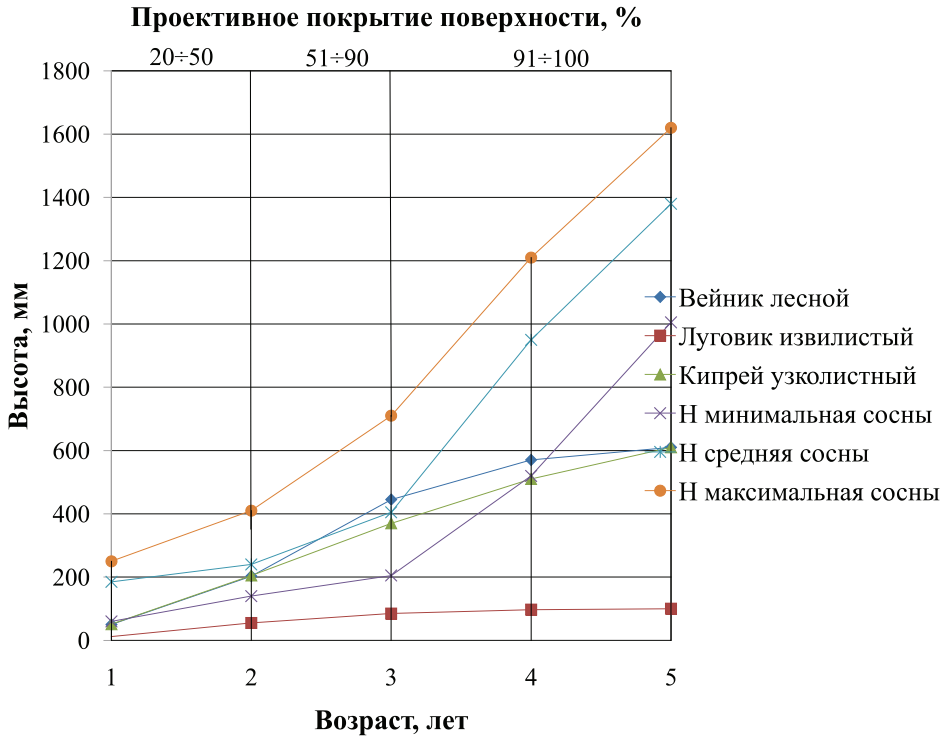


Рис. 2. Изменение высоты культур сосны, созданной ПМЗК при обработке почвы перед посадкой, представителей напочвенного покрова, процента проективного покрытия по годам на конец периода вегетации растений

Наибольшую опасность при естественном формировании культур ели на вырубках представляет самосев и порослевое возобновление лиственных пород и, прежде всего, березы и осины. Однако по результатам исследований [7, 8] установлено, что даже при обработке почвы перед посадкой высаженные культуры ели, достигшие пяти лет, не превышают по высоте основных представителей травяного покрова вырубок. Поэтому вопрос зарастания культур ели лиственными породами также требует решения проблемы их осветления качественно и в полном объеме. В условиях Республики Карелия по данным [6] для культур ели, созданных саженцами, наибольший процент гибели приходится на 2÷4-й года роста, то есть на период максимального развития травянистой растительности на злаковых типах вырубок. При этом уменьшение процента сохранности культур ели за эти годы составило на вейниковой вырубке 10%, вейниково-луговиковой – 23% и вейниково-широкотравной – 66%. После 4-го года жизни, когда ель начинает выходить из-под полога трав, уменьшается интенсивность гибели лесных культур. Однако отрицательное влияние травянистой растительности на прирост ели в высоту также продолжается с 4-го по 6-й годы после посадки, а на вейниково-широкотравной вырубке оно отмечается и в дальнейшем.

Таким образом, для ослабления воздействия напочвенного покрова на рост лесных культур в первые годы жизни необходимо проведение агротехнических уходов, как перед посадкой, так и в первые годы жизни лесных культур сосны и ели. Применение мульчерной техники с технологией непрерывного действия позволяет подготовить напочвенную среду и почву на вырубках для выполнения лесокультурных и лесовосстановительных работ и проводить агротехнические уходы за лесными культурами.

Заключение

Применение мульчерной техники на вырубках позволяет уничтожить порубочные остатки, подготовить поверхность для лесовосстановления, создать противопожарные полосы. При этом полученная мульча из щепы обеспечит лучшее снабжение растений питательными веществами, ускорит биологические процессы в почве, что в итоге положительно скажется на росте лесных культур. Наличие мульчи из щепы позволит

регулировать состав сорной растительности и выполнит роль дополнительного резерва органического вещества, быстро разлагающегося в почве, что не только будет препятствовать развитию живого напочвенного покрова, но и окажется средством, препятствующим росту естественного возобновления лиственных пород. По данным [9] в лесном хозяйстве мульчирующую технику с технологией непрерывного мульчирования также можно применить для улучшения температурного режима почв на вырубках и на гарях после пожара с целью активизации процессов их естественного возобновления. Для активизации возобновления хвойных пород технология использования щепы в качестве мульчи, с одной стороны, позволит очистить участки после пожаров и вырубки от захламленности, а с другой – улучшить их почвенные и температурные условия.

Список литературы

1. Расчистка лесных площадей и трасс воздушных линий электропередач / С.М. Гордеев [и др.]; под ред. П.М. Мазуркина. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1992. – 95 с.

2. Ивашнев М.В. Обоснование технических решений, повышающих эффективность срезания древесно-кустарниковой растительности машиной роторного типа: дис. … канд. техн. наук / М.В. Ивашнев. – Петрозаводск, 2009. – 171 с.

3. Хлюстов В.К. Рост культур сосны в конкурентных отношениях с живым напочвенным покровом вырубок / В.К. Хлюстов, О.И. Гаврилова, И.В. Морозова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 2. – С. 27–34.

4. Гаврилова О.И. Рост культур ели европейской в южной Карелии / О.И. Гаврилова, В.К. Хлюстов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2009. – № 7 (101). – С. 47–50.

5. Гаврилова О.И. Лесовосстановление вырубок и продуктивность лесных культур хвойных пород Республики Карелия: дис. … д-ра с.-х. наук / О.И. Гаврилова. – Архангельск, 2011. – 412 с.

6. Соколов А.И. Эколого-лесоводственные основы создания лесных культур на нераскорчеванных вырубках с завалуненными почвами Северо-Запада: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / А.И. Соколов. – Архангельск, 2012. – 43 с.

7. Крышень А.М. Зависимость роста саженцев ели от травянистой растительности на вырубках / А.М. Крышень, А.И. Соколов, В.А. Харитонов // Лесоведение. – М., 2001. – № 2. – С. 41–45.

8. Соколов А.И. Ускоренное выращивание культур ели в среднетаежной подзоне Карелии / А.И. Соколов, А.Н. Пекоев, В.А. Харитонов, Т.И. Кривенко // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – Архангельск, 2013. – № 5 (335). – С. 96–105.

9. Тарасов П.А. Исследования влияния мульчирования сплошной вырубки на температуру почвы / П.А. Тарасов, Е.О. Бакшеева, В.А. Иванов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, – 2015. – № 8. – С. 75–80.

References

1. Gordeev S.M., Mazurkin P.M., Pinchuk V.M., Kotikov V.I., Poliakov I.N. Raschistka lesnykh ploshchadei i trass vozdushnykh linii elektroperedach [Clearing of forest areas and routes of overhead power lines]. Yoshkar-Ola, MarPI, 1992. 95 p.

2. Ivashnev M.V. Obosnovanie tekhnicheskikh reshenii, povyshaiushchikh effektivnost srezaniia drevesno-kustarnikovoi rastitelnosti mashinoi rotornogo tipa [Substantiation of technical solutions increasing efficiency of cutting woodyshrubby vegetation by a rotary-type machine]. Petrozavodsk, Petrozavodskii gosudarstvennyi universitet, 2009. 171 p.

3. Khliustov V.K., Gavrilova O.I., Morozova I.V. Rost kultur sosny v konkurentnykh otnosheniiakh s zhivym napochvennym pokrovom vyrubok [Growth of pine cultures in a competitive relationship with the living ground cover of felling]. Izvestiia Timiriazevskoi selskokhoziaistvennoi akademii – News of the Timiryazev Agricultural Academy, 2010, no. 2, pp. 27–34.

4. Gavrilova O.I., Khliustov V.K. Rost kultur eli evropeiskoi v iuzhnoi Karelii [Growth of European spruce cultures in southern Karelia]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta – Scientific notes of Petrozavodsk State University, 2009, no. 7, pp. 47–50.

5. Gavrilova O.I. Lesovosstanovlenie vyrubok i produktivnost lesnykh kultur khvoinykh porod Respubliki Kareliia [Forest regeneration of felling and productivity of forest cultures of coniferous species in the Republic of Karelia]. Arkhangelsk, Severnyi (Arkticheskii) federalnyi universitet imeni M.V. Lomonosova, 2011. 412 p.

6. Sokolov A.I. Ekologo-lesovodstvennye osnovy sozdaniia lesnykh kultur na neraskorchevannykh vyrubkakh s zavalunennymi pochvami Severo-Zapada [Ecological and silvicultural foundations for the creation of forest cultures on unchallenged cuttings with backlogs of the Northwest]. Arkhangelsk, Severnyi (Arkticheskii) federalnyi universitet imeni M.V. Lomonosova, 2012. 43 p.

7. Kryshen A.M., Sokolov A.I., Kharitonov V.A. Zavisimost rosta sazhentsev eli ot travianistoi rastitelnosti na vyrubkakh [Dependence of growth of spruce seedlings from grassy vegetation on felling areas]. Lesovedenie – Forest Science, 2001, no. 2, pp. 41–45.

8. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A., Krivenko T.I. Uskorennoe vyrashchivanie kul'tur eli v srednetaezhnoi podzone Karelii [Accelerated cultivation of spruce cultures in the middle taiga subzone of Karelia]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal – News of higher educational institutions. Forest Journal, 2013, no. 5, pp. 96–105.

9. Tarasov P.A., Baksheeva E.O., Ivanov V.A. Issledovaniia vliianiia mul'chirovaniia sploshnoi vyrubki na temperaturu pochvy [Studies of the influence of mulching of continuous felling on soil temperature]. Vestnik KrasGAU – The Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University, 2015, no. 8, pp. 75–80.

УДК 630*164.8:582.632.1: 631.811.98

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТИМУЛЯТОРОВ И УКРЫВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

[1]Кабанова С.А., [2]Данченко М.А.

[1]Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, e-mail: kabanova.05@mail.ru;

[2]Биологический институт Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, e-mail: mtd2005@sibmail.com

Семена березы повислой, опрысканные и замоченные в «Экстрасоле» (5 минут) и «Гумате + 7 микроэлементов» в течение 2 часов имели наиболее высокую энергию прорастания. Инвентаризация посадочного материала показала, что число сеянцев на учетных отрезках (1 пог. м) изменялось от 58 (контроль) до 142 шт. («Байкал», 1 час). Число сеянцев на всех опытных вариантах превышало число контрольных сеянцев. Наиболее высокорослыми были сеянцы, выращенные из семян с предпосевной обработкой в «Цирконе» (2 часа), замоченных и политых «Гуматом + 7 микроэлементов». Высота их составила соответственно 17,5; 16,9 и 18,3 см. Также на высоту сеянцев положительно повлиял полив активатором «ЭридГроу». Контрольные сеянцы были значительно ниже по высоте в отличие от опытных вариантов. По протяженности всего растения заметно отличались сеянцы, выращенные из семян с предпосевной обработкой в «Гумате + 7 микроэлементов» в течение 6 часов. Сеянцы всех вариантов опыта имели больший показатель длины стволиков и корней по сравнению с контрольными образцами. Отношение длины корней к длине стволиков колебалось от 1,1 до 1,8. Ранговый анализ показал, что рост однолетних сеянцев березы повислой был более интенсивным при предпосевной обработке семян «Гуматом + 7 микроэлементов» и «Гуматом натрий» в течение 2 часов, «Байкалом» (1 час и 30 минут). При использовании указанных стимуляторов высота опытных сеянцев превышала высоту контрольных растений на 48–56 %, а встречаемость их на 1 пог. м была больше в 2 раза.

Ключевые слова: береза повислая, сеянцы, стимуляторы, Агротекс

OUTCOMES OF THE EXPERIMENT ON USING STIMULANTS AND COVERING MATERIAL FOR GROWING SEEDLINGS OF SILVER BIRCH (BETULA PENDULA ROTH)

[1]Kabanova S.A., [2]Danchenko M.A.

[1]Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, e-mail: kabanova.05@mail.ru;
[2]Biological Institute, National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: mtd2005@sibmail.com

The seeds of Silver birch which were sprayed with «Extrasol» and soaked in it for 5 minutes and in «Humate+7 microelements» for 2 hours had the greatest power of germination. The inventory of the planting material showed that the number of seedlings at the sample plots (one running meter) varied from 58 (control) to 142 seedlings («Baikal», 1 hour). The number of seedlings on each test plot exceeded the number of seedlings on the control one. The highest seedlings were those which were grown from the seeds with pre-sowing treatment: with «Zircon» (2 hours); soaked in «Humate+7 microelements»; or sprayed with «Humate+7 microelements». The height of these seedlings reached 17.5, 16.9 and 18.3 cm respectively. Also, watering with the growth stimulant «Arid Grow» had a positive effect on the height of the seedlings. The control seedlings were much lower in height than the test samples. The seedlings grown from the seeds treated before sowing with «Humate+7 microelements» for 6 hours differed significantly from the others. The seedlings of all the variations of the test had a greater index of the length of the stem and roots compared to the control samples. The ratio of the root length and the length of the stem ranged from 1.1 to 1.8. Rank analysis revealed that the growth of one-year-old seedlings of Silver birch was more intensive under the condition of the pre-sowing treatment of the seeds with «Humate+7 microelements», «Humate natrium» for 2 hours, and «Baikal» for 1.5 hour. When using these growth stimulants, the length of the test seedlings exceeded the length of the test samples by 48-56 %, and their occurrence was twice as high per running meter.

Keywords: Silver birch, seedlings, stimulants, Agrotex

Нехватка посадочного материала березы повислой существенно сказывается на лесовосстановлении в северных областях Казахстана. Даже при сборе большого объема семян не всегда удается получить достаточное количество сеянцев из-за низкого качества семян и, как следствие, их небольшой всхожести. Это происходит по многим причинам: семена быстро теряют всхожесть при хранении, сбор семян проводился раньше их физиологического созревания, повреждение сережек вредителями и болезнями, неправильное хранение и отсутствие предпосевной обработки семян. Стимуляторы для предпосевной обработки семян применяются достаточно долгое время, но способ, время и концентрация растворов в основном отработаны для овощных растений. Для древесных растений в научной литературе встречается также множество

наименований применяемых ростовых веществ, но авторами трудов рекомендуются различные стимуляторы в разных регионах их применения [1–3]. Так, В.В. Острошенко и др. [4–6] указывают на менее сильное влияние циркона на лабораторную всхожесть семян различных видов сосны, а Ю.С. Пентелькина [7] отмечает данный стимулятор как один из наиболее оптимальных. В Казахстане исследования влияния стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной начаты в 2015 г. [8], березы повислой – в 2017 г.

В казенном государственном учреждении «Лесное хозяйство Булаевское» (КГУ «ЛХ Булаевское») Северо-Казахстанской области на протяжении нескольких лет проводится осенний посев семян березы под нетканым покрытием «Агротекс». Данный способ выращивания весьма хорошо влияет на рост и приживаемость сеянцев березы повислой. Нами была применена и усовершенствована данная технология путем проведения предпосевной обработки семян стимуляторами.

Материалы и методы исследования

С целью увеличения всхожести семян березы повислой были заложены опыты по предпосевной обработке с применением различных стимуляторов. Опыты производились в КГУ «ЛХ Есильское» Северо-Казахстанской области. Были использованы следующие ростовые вещества: «Экстрасол», «Гумат натрия», «Гумат+7 микроэлементов», «Эпин экстра», «Циркон», «Байкал» и активатор почвы «ЭридГроу». Испытывалось влияние времени замачивания и различной концентрации стимуляторов на рост однолетних сеянцев. Кроме того, семена высевались в деревянные короба и все посевы были укрыты нетканым материалом «Агротекс». Посев в коробах производился вручную вразброс. Энергия прорастания обработанных стимуляторами семян березы повислой определялась по ГОСТ 13056.6-97 [9], контролем служили семена без замачивания. В полевых условиях семена выдерживались в растворах стимуляторов определенное время по схемам опыта, подсушивались до сыпучего состояния и высевались. Каждый опыт повторен в трехкратной повторности протяженностью 2 м. Высоту однолетних сеянцев определяли линейкой с точностью до 1 мм. Из каждой повторности во время осенней инвентаризации выкапывалось по 10–15 сеянцев, корни которых промывались водой и высушивались. Далее линейкой измерялась протяженность надземной и подземной частей растений. Встречаемость растений по вариантам опыта подсчитывалась на учетных отрезках протяженностью 1 пог. м.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведено изучение энергии прорастания семян березы повислой, обработанных различными стимуляторами. На третий день проведения опыта у 8 вариантов наблюдалось от 1 до 12 всходов (табл. 1). Всходов на 6-й день не было при замачивании семян в «Эпине экстра» и «Гумате натрия» (2 часа), а также при опрыскивании «Гуматом + 7 микроэлементов».

Таблица 1

Результаты определения энергии прорастания семян березы повислой

Наименование стимулятора	Время замачивания	Концентрация	Дата наблюдений		
			31.05	02.06	05.06
			Число всходов по дням наблюдений		
			3	5	7
«Экстрасол»	5 мин	1,0 мл/10 л	12	13	15
«Экстрасол»	5 мин	0,5 мл/10 л	0	0	1
«Экстрасол»	опрыск	0,5 мл/10 л	6	8	12
«ЭридГроу»	опрыск	0,1 л/10 л	7	8	10
«Гумат + 7 микроэлементов»	опрыск	0,5 г /5 л	0	0	0
«Гумат натрия»	2 ч	0,5 мл/10 л	0	0	0
«Эпин экстра»	2 ч	0,5 мл /1 л	1	0	0
«Циркон»	2 ч	0,5 мл /2 л	1	1	6
««Гумат + 7 микроэлементов»	2 ч	0,5 г /1 л	7	9	10
«Байкал»	30 мин	2 мл/2 л	8	8	8
«Байкал»	1 час	2 мл/2 л	0	0	3
Контроль			1	1	4

Общий вид посевов с укрывным материалом

Посев семян березы повислой

Рис. 1. Весенний посев семян березы повислой в коробах, закрытых «Агротексом»

Таблица 2

Высота и встречаемость сеянцев березы повислой

Стимулятор	Время выдержки	Доза внесения	Высота, см X ± m	V,%	σ	Число шт. на 1 пог. м
Контроль	–	–	9,6 ± 0,9	78,5	7,5	58
«Гумат + 7 микроэлементов»	полив	0,5 г/5 л	18,3 ± 1,0	32,9	6,0	70
«Экстрасол»	полив	50 мл/10 л	15,3 ± 1,0	40,6	6,2	106
ЭридГроу	полив	0,1 мл/10 л	16,5 ± 0,9	36,0	5,9	77
«Экстрасол»	5 мин	100 мл/10 л	14,3 ± 0,7	47,0	6,7	124
«Экстрасол»	5 мин	50 мл/10 л	14,1 ± 0,8	50,2	7,1	139
«Байкал»	30 мин	2 мл/2 л	14,8 ± 0,9	53,8	7,9	122
«Гумат + 7 микроэлементов»	2 ч	5 г/10 л	15,0 ± 0,6	37,3	5,6	121
«Гумат натрия»	2 ч	5 мл/10 л	14,3 ± 0,8	48,6	7,0	125
«Байкал»	1 ч	2 мл/2 л	14,7 ± 0,7	41,3	6,1	142
«Эпин экстра»	2 ч	0,5 мл /1 л	15,6 ± 0,8	47,0	7,3	94
«Циркон»	2 ч	0,5 мл/2 л	17,5 ± 0,9	44,9	7,8	100
«Гумат + 7 микроэлементов»	6 ч	0,5 г/1 л	16,9 ± 0,8	43,9	7,4	103
«Гумат натрия»	6 ч	5 мл /10 л	15,5 ± 0,7	37,6	5,8	135

Наибольшей энергией прорастания (15%) отличался опыт по замачиванию семян березы повислой в «Экстрасоле» (0,1%) в течение 5 минут. Контрольные семена имели низкий показатель – 4%. Лабораторная всхожесть не была определена из-за заплесневения семян.

11 мая 2017 г. был произведен посев семян березы повислой с предварительным замачиванием в стимуляторах (рис. 1).

Инвентаризация посадочного материала показала, что число сеянцев на 1 пог. м изменялось от 58 (контроль) до 142 шт. («Байкал», 1 час). Число сеянцев на всех опытных вариантах превышало число контрольных сеянцев.

Наиболее высокорослыми были сеянцы, выращенные из семян, замоченных в «Цирконе» (2 часа), замоченных и политых «Гуматом + 7 микроэлементов», высота которых составила соответственно 17,5; 16,9 и 18,3 см (табл. 2).

Также на высоту сеянцев положительно повлиял полив активатором «ЭридГроу». Контрольные сеянцы были значительно ниже по высоте в отличие от опытных вариантов. Изучаемый показатель опытных сеянцев изменялся на очень высоком уровне (V = 32,9–50,2%), коэффициент вариации контрольных образцов составил 78,5%. Следовательно, рост сеянцев березы повислой был очень неоднородным, превышение максимального значения над минимальным составило более 58%. Следует отметить, что посевы с применением стимуляторов даже визуально были выше производственных посевов, а одно опытное растение достигло 42 см (рис. 2). Согласно

ГОСТ 3317-90 [10], для степной зоны стандартные сеянцы березы повислой должны иметь высоту 20 см в двухлетнем возрасте. При применении укрывного материала сеянцы березы достигли практически стандартной высоты за 1 год выращивания.

По протяженности всего растения заметно отличались сеянцы, выращенные из семян с предпосевной обработкой в «Гумате + 7 микроэлементов» в течение 6 часов (рис. 3). Наиболее длинные корни наблюдались у сеянцев, выращенных при замачивании семян в «Гумате натрия» в течение 2 часов – 16,2 см. Наименьшим изучаемым признаком отличались контрольные сеянцы – 11,8 см. Следует отметить, что сеянцы всех вариантов опыта имели больший показатель длины стволиков и корней по сравнению с контрольными образцами. Отношение длины корней к длине стволиков колебалось от 1,1 до 1,8.

Коэффициент вариации длины стволиков изменялся на очень высоком уровне (39,7–61,5 %), что говорит о большом разнообразии признака. Показатели длины корней были более однородными и варьировали на низком и повышенном уровне (V = 8,7–30,9 %).

Слева – опытные посевы *Справа – производственные посевы*

Рис. 2. Однолетние сеянцы березы повислой

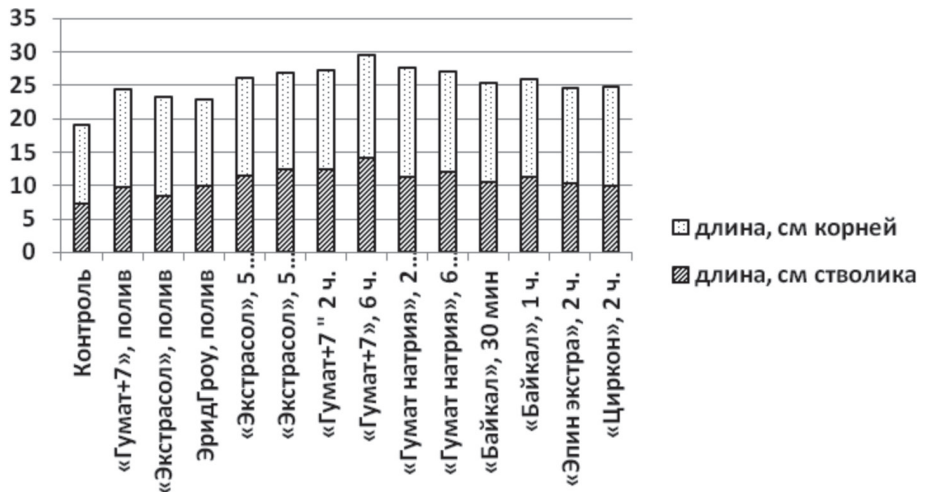


Рис. 3. Длина стволиков и корней (см) однолетних сеянцев березы повислой в КГУ «ЛХ Есильское»

Проведенный ранговый анализ по четырем изученным признакам (высота, длина стволика и корня, встречаемость) показал, что первые два ранга занимали сеянцы, выращенные из семян с предпосевной обработкой «Гуматом + 7 микроэлементов» и «Гуматом натрий» в течение 2 часов, «Байкалом» (1 час и 30 минут). Третий ранг был у вариантов с предпосевной обработкой семян «Экстрасолом» в течение 5 минут и 0,05 %-ной концентрации. Данные стимуляторы положительно влияли на рост сеянцев березы повислой. Контрольные сеянцы занимали последний ранг.

Дисперсионный анализ показал воздействие стимуляторов на рост растений по высоте (доля влияния фактора составила 45,0 %) и достоверность различий между опытами и контрольными сеянцами (F = 6,9).

Выводы

Семена березы повислой, опрысканные и замоченные в «Экстрасоле» (5 минут) и «Гумате + 7 микроэлементов» в течение 2 часов имели наиболее высокую энергию прорастания. Рост однолетних сеянцев березы повислой был более интенсивным при предпосевной обработке семян «Гуматом + 7 микроэлементов» и «Гуматом натрий» в течение 2 часов, «Байкалом» (1 час и 30 минут). При использовании указанных стимуляторов высота опытных сеянцев превышала высоту контрольных растений на 48–56 %, а встречаемость их на 1 пог. м была больше в 2 раза.

Список литературы

1. Гродницкая И.Д. Влияние химического и биологического способов обработки на прорастание семян хвойных // Лесное х-во. – 2008. – № 5. – С. 39–40.

2. Байтулин И.О. Создание лесного питомника и технология выращивания посадочного материала. – Костанай: Костанайполиграфия, 2009. – 48 с.

3. Родин А.Р., Копытков В.В. Влияние композиционных полимерных составов на рост и развитие сеянцев хвойных пород // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. – № 4. – С. 168–172.

4. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Акимов Р.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании крупномерного посадочного материала сосны кедровой корейской (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.) // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2013. – № 35. – С. 72–76.

5. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Ключников Д.А., Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.Н. Влияние стимуляторов роста на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 6. – С. 242–247.

6. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Острошенко В.Ю. Влияние стимуляторов роста на посевные качества семян сосны густоцветковой (Pinus densiflora Siebold et Zucc.), произрастающей в Приморском крае // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2016. - № 9 (120). - С. 16–26.

7. Пентелькина Ю.С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных видов: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: Москва, 2003. – 24 с.

8. Кабанова С.А., Данченко А.М., Данченко М.А. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в Северном Казахстане // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 88–92.

9. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 27 с.

10. ГОСТ 3317-90 Сеянцы деревьев и кустарников. Технические условия. – Издательство стандартов, 1990. – 44 с.

References

1. Grodnitskaia I.D. Vliianie khimicheskogo i biologicheskogo sposobov obrabotki na prorastanie semian khvoinykh [The influence of chemical and biological treatment methods on the germination of conifer seeds]. Lesnoe khoziaistvo – Forestry, 2008, no. 5, pp. 39–40.

2. Baitulin I.O. Sozdanie lesnogo pitomnika i tekhnologiia vyrashchivaniia posadochnogo materiala [Creation of forest nursery and technology of cultivation of planting material]. Kostanay, Kostanaipoligrafiia, 2009. 48 p.

3. Kopytkov V.V., Rodin A.R. Vliianie kompozitsionnykh polimernykh sostavov na rost i razvitie seiantsev khvoinykh porod [The effect of composite polymer compositions on the growth and development of coniferous seedlings]. Vestnik Brianskogo gosudarstvennogo universiteta – The Bryansk State University Herald, 2014, no. 4, pp. 168–172.

4. Ostroshenko L.Iu., Ostroshenko V.V., Akimov R.Iu. Effektivnost primeneniia stimuliatorov rosta pri vyrashchivanii krupnomernogo posadochnogo materiala sosny kedrovoi koreiskoi [The effectiveness of the use of growth stimulants in the cultivation of large-sized planting stock of pine cedar Korean (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.)]. Aktualnye problemy lesnogo kompleksa – Actual problems of the forestry complex, 2013, no. 35, pp. 72–76.

5. Ostroshenko V.V., Ostroshenko V.V., Kliuchnikov D.A., Ostroshenko V.Iu., Chekushkina T.N. Vliianie stimuliatorov rosta na energiiu prorastaniia i laboratornuiu vskhozhest semian sosny obyknovennoi [The influence of growth stimulators on germinating energy and laboratory germination of scots pine (Pinus silvestris l.) seeds]. Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2015, vol. 1, no. 6, pp. 242–247.

6. Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Iu., Ostroshenko V.Iu. Vliianie stimuliatorov rosta na posevnye kachestva semian sosny gustotsvetkovoi, proizrastaiushchei v Primorskom krae [The influence of growth stimulators on sawing qualities of seeds of flowering pine (Pinus densiflora siebold et zucc.), growing in Primorsky region]. Vestnik Krasnoiarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of KrasGAU, 2016, no. 9, pp. 16–26.

7. Pentelkina Iu.S. Vliianie stimuliatorov na vskhozhest semian i rost seiantsev khvoinykh vidov [Effect of stimulants on seed germination and growth of coniferous seedlings]. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi universitet lesa, 2003. 24 p.

8. Kabanova S.A., Danchenko A.M., Danchenko M.A. Vlianie stimuliatorov na vskhozhest semian i rost seiantsev sosny obyknovennoi v Severnom Kazakhstane [The effect of stimulants on seed germination and growth of seedlings of Pinus sylvtstris in Northern Kazakhstan]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Advances in current natural sciences, 2016, no. 8, pp. 88–92.

9. GOST 13056.6-97. Semena derevev i kustarnikov. Metod opredeleniia vskhozhesti [13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Method for determination of germination]. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 1998. 27 p.

10. GOST GOST 3317-90. Seiantsy derevev i kustarnikov. Tekhnicheskie usloviia [3317-90 Seedlings of trees and shrubs. Technical specifications]. Moscow, Izd-vo standartov, 1990. 44 p.

УДК 630*187(571.63)

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТИПОВ ЕЛОВО-КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ НА ГРАНИЦЕ МЕЖДУ ФОРМАЦИЯМИ КЕДРОВО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ И ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

[1]Майорова Л.А., [2]Петропавловский Б.С.

[1]Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: mayorova.49@inbox.ru,
[2]Ботанический сад-институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: petrop5@mail.ru

В Приморском крае по площади распространения, биологическому разнообразию, природоохранной и лесохозяйственной значимости кедрово-широколиственные и пихтово-еловые леса занимают ведущее положение. Основные типологические, провинциальные и фитоценотические различия этих лесов определяют сложная геологическая история и муссонный климат области их произрастания. Авторами на основе материалов лесоустройства всех лесхозов сформирована база данных (БД) по пихтово-еловым лесам Приморского края и составлена карта-схема их распространения. Карта лесов Приморья (преобладающие лесообразующие породы, масштаб 1:1000000) показывает, что ареалы кедрово-широколиственной и пихтово-еловой формаций находятся в непосредственной близости. На их границе нами были выделены большие площади переходных (промежуточных) елово-кедровых лесов с преобладанием в древостое ели аянской. Их встречаемость составила почти 20% от общей площади распространения пихтово-еловой формации. Типы местообитаний с оптимальными и менее оптимальными для данных типов леса условиями среды отражены на картах-схемах Приморского края. В статье поднимаются актуальные вопросы о необходимости изучения межформационных связей между кедрово-широколиственными и пихтово-еловыми лесами. Это позволит более корректно определить ход возрастных смен в процессе онтогенеза хвойного леса и динамику лесообразовательного процесса при изменении климата, усыхании древостоев пихтово-еловых лесов и антропогенном воздействии. Типология переходных елово-кедровых лесов, их экология и встречаемость в Приморском крае рассмотрена нами на основе генетической (динамической) классификации лесов Дальнего Востока, разработанной Б.П. Колесниковым.

Ключевые слова: лесная формация, елово-кедровые леса, встречаемость, межформационные связи, экологический паспорт, тип местопроизрастания

FORMATION OF TRANSITIONAL TYPES OF THE SPRUSE-CEDAR FORESTS AT THE BORDER BETWEEN FORMATIONS OF CEDAR-BROAD-LEAVED FORESTS AND FIR-SPRUCE ONE IN PRIMORSKY KRAI

[1]Mayorova L.A., [2]Petropavlovskiy B.S.

[1]Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: mayorova.49@inbox.ru;
[2]Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: petrop5@mail.ru

In the Primorsky Krai, the cedar-broad-leaved and fir-spruce forests occupy a leading position in terms of area of distribution, biological diversity, nature protection and the forestry significance. The main typological, provincial and phytocenotic differences of these forests are determined by the complex geological history and monsoon climate of their area of growth. Authors on the basis of materials of forest management of all the forestries created the database (D) on the fir-spruce forests of Primorsky Krai and the schematic map of their distribution is made. The map of Primorye forests (the predominant forest-forming species, scale 1:1000000) and the map of the geographical distribution of the fir-spruce formation show that the areas of cedar-broad-leaved and fir-spruce formations are in close proximity. On the border with the cedar-broad-leaved formation, the authors singled out larger areas of the transitional spruce-cedar forests (with dominance in a forest stand of Spruce Ayansky (Picea ajanensis). Their occurrence was almost 20% of the total area of distribution of fir-spruce the formation. Types of habitats with optimum and less optimum conditions of the environment for these types of the wood are reflected in schematic maps of Primorsky Krai. The article raises questions on the need to study the interformation links between cedar-broad-leaved and fir-spruce forests. This will make it possible to determine more correctly the course of age shifts in the process of ontogenesis of coniferous forests and the dynamics of the forest-forming process under climate change, the mass disintegration of fir-spruce stands and anthropogenic impact. The typology of transitional spruce-cedar forests, their ecology and occurrence in the Primorsky Krai was considered by authors on the basis of the genetic (dinamic) classification of forests of the Far East, developed by B.P. Kolesnikov.

Keywords: forest formation, spruce-cedar forests, occurrence, interformational relations, ecological passport, type of habitat

На территории Приморского края ареалы кедрово-широколиственной и пихтово-еловой формаций находятся в непосредственной близости [1]. Основные провинциальные различия хвойных лесов Приморья определяют сложная геологическая история развития региона, горный характер рельефа хребта Сихотэ-Алинь, муссонный климат. Они произрастают в двух природных зонах: зоне кедрово-широколиственных лесов и зоне тайги. В связи с общим изменением климата на планете и интенсивным усы-

ханием пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке вопрос о наступлении ельников на кедровники, или же наоборот, часто дискутировался дальневосточными учеными.

Д.Г. Замолодчиков, рассмотрев ретроспективные и прогнозные данные по динамике климата Приморского края за последние 30 лет, выявил тенденции к росту среднегодовой температуры и снижению годовых сумм осадков. С использованием официальных данных инвентаризации лесов он провел анализ уязвимости лесного покрова к наблюдаемым и прогнозируемым климатическим изменениям и констатировал, что наиболее уязвимыми являются леса с доминированием ели и пихты белокорой, т.е. пихтово-еловые леса [2].

Цель исследования – выявить основные аспекты взаимоотношений между кедрово-широколиственной и пихтово-еловой формацией в Приморском крае, которые определяют формирование на их границе переходных елово-кедровых лесов. На первом этапе – определить распространение елово-кедровых лесов по территории края и их встречаемость. Второй этап – составление экологических паспортов и сравнительный эколого-географический анализ типов местообитаний самого распространенного переходного крупнопапоротникового ельника с кедром корейским (ЕкпК) и типичного для пихтово-еловой формации – ельника мелкотравно-зеленомошного (Емз) [3].

Материалы и методы исследования

База данных «Лесная растительность Приморского края», сформированная авторами, состоит из 7030 точек-площадок. Исходный материал собирался на всю территорию Приморского края на основе регулярных пространственных сеток в виде структуры площадок или ячеек, которые успешно применяются в картографии, при экологических и биологических исследованиях. На рис. 1 приведена разграфка территории Приморского края на площадки размером 40×40 км, каждая из которых, в свою очередь состоит из 64 элементарных площадок (5×5 км). Всего на Приморский край приходится 7030 точек-площадок. 5222 площадки (71%) характеризуют лесную площадь, 1808 (29%) – нелесную.

В качестве исходного материала для сбора информации по лесной растительности края нами использовались лесотаксационные планы и таксационные описания лесов всех лесхозов, лесничеств и заповедников Приморского края. В прошлом лесоустройство проводилось регулярно (раз в 10 лет на каждый лесхоз) и в зависимости от площади лесхоза содержало обширный многотомный лесотаксационный материал, записанный на электронные диски. Материалы лесоустройства были различными, как по годам лесной таксации (конец 20 века), так и по масштабам. На каждый лесной выдел, приходящийся на угол элементарной площадки, заполнялась форма по 28 позициям: координаты точки, лесхоз, лесничество, номера выдела и квартала, год лесоустройства, тип леса, доминант древостоя, доля его участия, ср. диаметр, ср. высота, ср. возраст господствующего полога, содоминант, доля его участия, общее кол-во видов в древостое, бонитет, полнота, запасы древесины ($м^3$/га) и т.д. Для более полной характеристики местообитаний снималась дополнительная информация (10 позиций) с различных карт природы (геоморфологической, почвенной, климатической и т.д.).

На Дальнем Востоке широко используется генетико-динамическая классификация лесных экосистем Ивашкевича – Колесникова. Основной единицей этой классификации является «тип леса», понимаемый как этап лесообразовательного процесса. Характеризуя его через признаки лесообразовательных факторов, Б.П. Колесников придавал этой лесотипологической единице генетическое содержание и называл её генетической [4]. Этапы возникновения и становления генетической лесной типологии в России подробно описаны в статье Ю.И. Манько [5]. Также большой научный интерес представляет статья Н.С. Ивановой по созданию интернет-ресурса «Генетическая типология и динамика леса» – (http:// www.dynfor.ru). Сайт содержит детальную информацию о теоретических принципах построения генетических классификаций и типологического картирования лесов, подборку литературы по теории генетической типологии, биогеоценологии и динамики леса [6].

Генетический подход при выявлении экологических факторов в наибольшей мере определяющих структуру лесного покрова, установление количественных связей лесных сообществ с факторами среды, определение экологических амплитуд и оптимумов их произрастания, составление экологических паспортов различных таксонов лесной растительности широко использовалось авторами при проведении эколого-географического анализа пихтово-еловых лесов Приморского края [3, 7]. Для оценки влияния факторов среды на лес были применены методы информационной статистики.

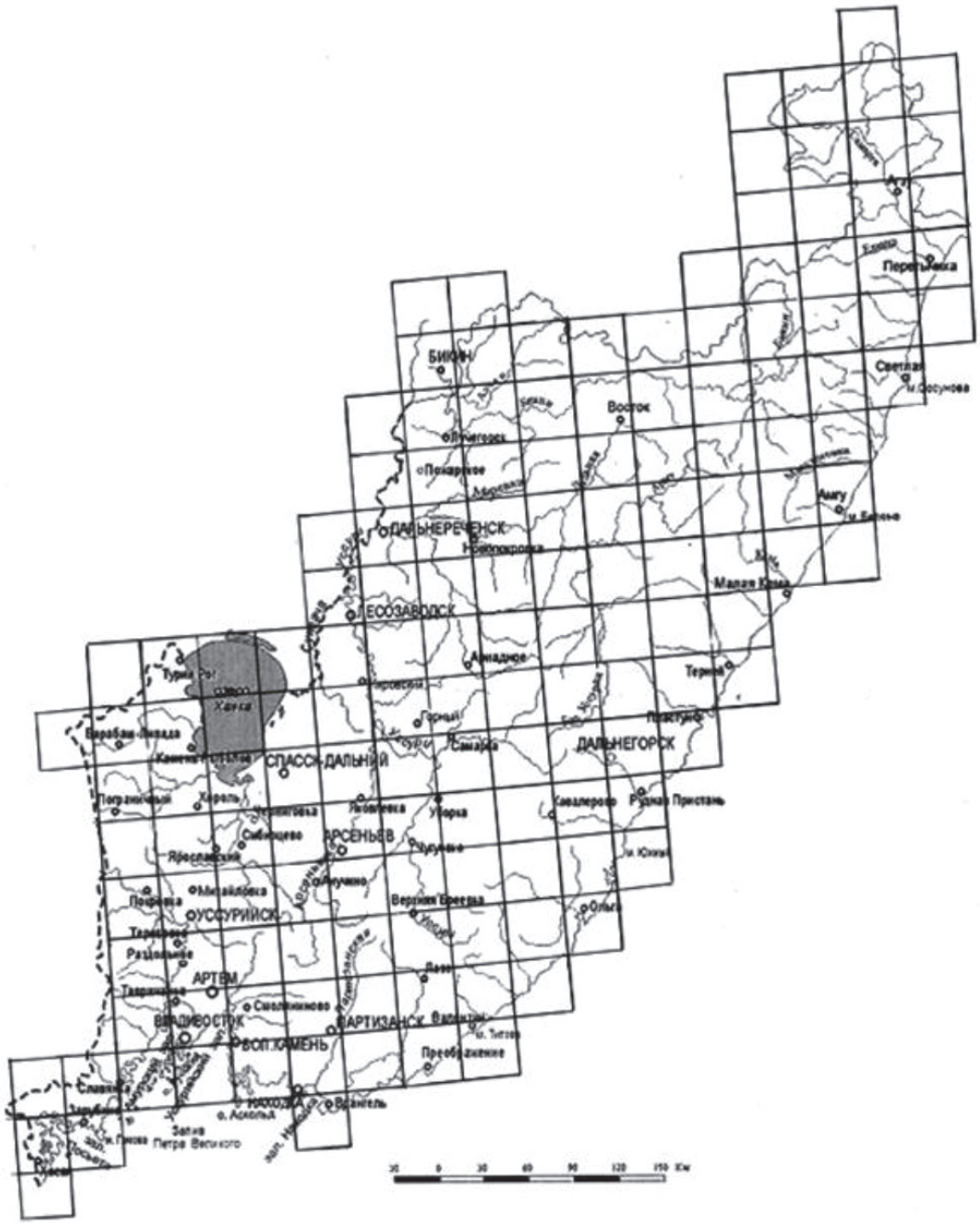


Рис. 1. Разграфка территории Приморского края для сбора лесотаксационного материала

Информационная статистика основана на оценке количества передаваемой информации, выраженной в категориях неопределенности, энтропии фактора и явления [8]. Центральным понятием для расчета меры взаимозависимости является оценка разнообразия состояния системы, которая определяется через категорию теории вероятностей, меру разнообразия *H*-функцию:

$$H = \sum_i p_i \log p_i .$$

Экологические паспорта типов леса характеризуют условия природной среды их местообитаний (лесорастительные условия) по распределению вдоль градиентов 9 ведущих факторов. В качестве ведущих факторов среды нами были выбраны: сумма

активных температур (свыше 10 °С), гидротермический коэффициент (по Селянинову), осадки годовые (мм/год), ср. температура воздуха в январе (– °С), ср. температура воздуха в июле (+ °С), геоморфологический комплекс местопроизрастания, высота местности (м над ур. моря), экспозиция и крутизна склона (град.) [3].

Методика составления экологических паспортов включает несколько этапов:

1) по каждому фактору среды составляется матрица совместных частот встречаемости градаций фактора и таксона;

2) с применением метода анализа разнообразий вычисляются для каждой заполненной ячейки матрицы коэффициенты наиболее специфичных отношений (С), модифицированные Б.И. Семкиным для исследования взаимосвязи растительности и природной среды [9]:

$$C = \frac{p(a_i / b_j)}{p(a_i)},$$

где числитель представляет собой условную вероятность состояния «явления» при данном состоянии фактора (определяется как отношение частоты состояния явления к сумме частот состояний «явления» для данной градации фактора), а знаменатель – априорную вероятность состояния «явления». Коэффициент С изменяется от нуля и теоретически до бесконечности. Характерным принимается то состояние, для которого условная вероятность больше априорной, т.е. при значениях $C \geq 1$. В тех случаях, когда коэффициент больше единицы (условная вероятность больше априорной), проставляется 1, если коэффициент меньше единицы (условная вероятность меньше априорной), это экологическое состояние маркируется как +. Факт отсутствия конкретного таксона (пустые ячейки – нет встреч частот растительности) отмечается как 0.

В качестве примера приводим экологический паспорт ельника крупнопапоротникового с кедром корейским. Он представляет собой упорядоченную информацию в виде компактной таблицы, в которой для всех градаций ведущих факторов среды приводятся соответствующие коэффициенты специфичных отношений в форме символов («классификационных критериев»): 1, +, 0. Сочетание единиц и плюсов выделяет границы и диапазон толерантности произрастания этого типа леса (таблица).

Результаты исследования и их обсуждение

Кедрово-широколиственная формация (кедровники), где главной лесообразующей породой является кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), преимущественное распространение получила на среднегорном рельефе хребта Сихотэ-Алинь. Площадь кедрово-широколиственных лесов в Приморском крае – 2 млн 147 тыс. га. Запасы древесины – 437 млн м^3. Преобладающий бонитет насаждений – III. Кедровники, так же как и ельники, не имеют сплошного ареала, а представлены островными участками.

Пихтово-еловые леса (ельники) [главная лесообразующая порода – ель аянская (*Picea ajanensis* Fisch. ex Carr.)] на территории Приморья на севере и в центральной части края приурочены к хребту Сихотэ-Алинь, а на юге – к его отрогам. Произрастают в основном в верхнем поясе гор. По нашим данным, площадь пихтово-еловых лесов в Приморском крае – 2 млн 970 тыс. га. С учетом переходных типов елово-кедровых и елово-лиственничных лесов – 3 млн 121 тыс. га. Запасы древесины – 530 млн м^3. Преобладающий бонитет насаждений – IV. Древостои, как правило, представлены перестойными насаждениями и почти повсеместно усыхают [10].

Экологический паспорт ельника крупнопапоротникового с кедром корейским

Факторы природной среды	Градации (коды) факторов природной среды														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сумма акт. температур	1	+	0	+	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–
ГТК (по Селянинову)	1	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Осадки (год)	0	0	+	+	1	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ср. температура воздуха в январе	0	+	+	+	+	+	1	0	0	0	–	–	–	–	–
Ср. температура воздуха в июле	1	1	1	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Геоморфологический комплекс	+	1	+	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Абс. высота местности (м)	+	0	0	+	+	+	+	0	+	1	1	1	1	0	–
Экспозиция склона	0	0	1	1	1	1	+	1	1	+	0	0	+	–	–
Крутизна склона	+	+	+	+	+	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–

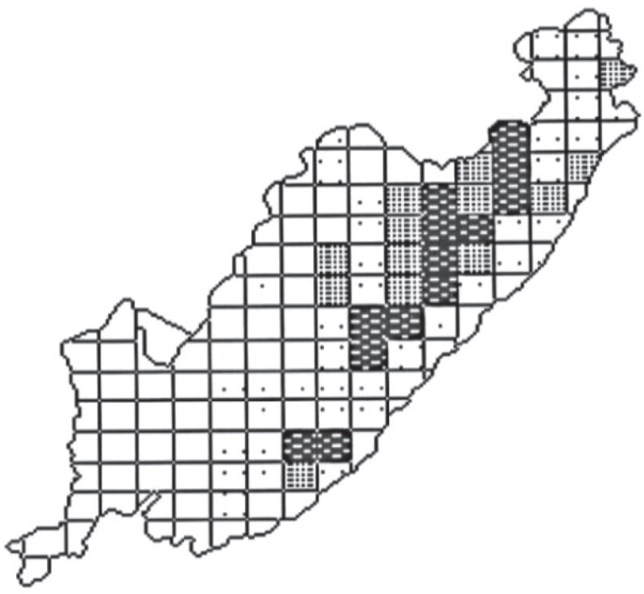
При составлении карты-схемы распространения пихтово-еловых лесов Приморского края нами кроме типичных ельников были выделены довольно крупные группы типов леса – переходные елово-кедровые леса (с преобладанием в древостое ели аянской), произрастающие на границе с кедрово-еловой формацией В Приморье эти леса занимают почти 1/5 часть площади пихтово-еловой формации, произрастая в основном на западном макросклоне Сихотэ-Алиня и прилегающих плато. Основные типы леса елово-кедровых лесов: крупнопапоротниковый ельник с кедром корейским (ЕкпК) (встречаемость в елово-кедровых лесах – 91%); елово-широколиственный лес с кедром (ЕШК) – 6%; мшисто-плауновый ельник с кедром (влажный) – 3% [3].

Для проведения сравнительного эколого-географического анализа местообитаний елово-кедровых лесов авторами были отобраны самые распространенные в пихтово-еловых лесах ельники мелкотравно-зеленомошные и в елово-кедровых лесах – крупнопапоротниковые ельники с кедром и с использованием экологических паспортов данных типов леса, составлены карты-схемы их распространения по Приморскому краю. Экологические паспорта и карты-схемы наглядно демонстрируют оптимумы произрастания, экологическое сходство и различие их местообитаний.

Местообитания с оптимальными условиями среды для типичного мелкотравно-зеленомошного ельника распространены в северных и центральных районах края, на водоразделах и высоких вулканических плато с абсолютными высотами более 700 м над ур. моря. Они занимают склоны крутизной более 15°, различных экспозиций. Климат здесь прохладный, суммы активных температур за вегетационный период не превышают 1600°С, количество осадков – до 800 мм/год.

Оптимум произрастания переходного к кедрово-широколиственной формации крупнопапоротникового ельника с кедром корейским фиксируется в другом климатическом районе, в южной части Приморского края (рис. 3).

Типы местообитаний этой группы типов леса характеризуются абсолютными высотами до 800 м над ур. моря, располагаются на более пологих склонах различных экспозиций. Климат их ареала более теплый и влажный с суммами активных температур от 1600 до 2200° и количеством осадков более 800 мм/год. Несмотря на многолетние выборочные рубки кедра корейского, древостои крупнопапоротниковых ельников с кедром, так же как и типичных ельников Приморского края, в большей массе спелые и перестойные.



Местообитания и экологический оптимум произрастания типичного ельника мелкотравно-зеленомошного:
САТ – до 1600°С
ГТК – более 2,2
Осадки – 800 мм/год
Ср. температура января – –24– –28°С
Ср. температура июля – до 18°С
Н абс. – более 700 м над ур. моря
Экспозиция склонов – З, ЮЗ, В, СВ
Крутизна склонов – свыше 16°

Рис. 2. Распространение и экологические условия местообитаний ельника мелкотравно-зеленомошного в Приморском крае

Местообитания и экологический оптимум произрастания переходного крупнопапоротникового ельника с кедром корейским
САТ – от 1600 °С до 2200 °С
ГТК – более 2,0
Осадки – от 800 до 900 мм/год
Ср. температура января – –24– –28 °С
Ср. температура июля – выше 18 °С
Н абс. – от 100 до 800 м над ур. моря
Экспозиция склонов – С, В, Ю, З
Крутизна склонов – от 6 до 15 °

Рис. 3. Распространение и экологические условия местообитаний крупнопапоротникового ельника с кедром корейским в Приморском крае. Примечание: Оптимум условий среды показан на рисунках интенсивной штриховкой. Другие градации (часто, редко) отражены с помощью штриховых знаков меньшей интенсивности

Для выявления особенностей лесообразовательного процесса в елово-кедровых лесах нами были рассмотрены многолетние лесотаксационные данные (за период 1926–2003 гг.) по развитию грабового широколиственно-елово-кедрового леса (Уссурийский заповедник, Южное Приморье), которые приводит Ю.И. Манько с соавторами [11]. При первом учете в 1926 г. на постоянной пробной площади 1–1926 (0,4 га) в первом и втором пологах преобладал кедр корейский. В период с 1948 по 1986 г. произошло снижение численности кедра и ели аянской, и их доминирующей роли в сложении древостоя. В то же время резко возросла численность лиственных пород за счет граба сердцелистного (*Carpinus cordata* Blume), кленов и др. пород. К 2003 г. в господствующей части древостоя сохранились только немногочисленные перестойные особи кедра, ели аянской и пихты белокорой. Естественное возобновления кедра и ели на пробной площади в 2003 г. было представлено мелкими особями, тогда как в крупном подросте преобладали лиственные породы. Как констатируют авторы, за 77 лет наблюдений на пробной площади не сформировалось нового поколения кедра, способного заменить его отмирающие особи – наступает стадия лиственного леса. В то же время они отмечают небольшое количество тонкомера ели и пихты белокорой, что должно обеспечить их участие в сообществе.

Подобную тенденцию развития елово-кедрового леса с доминированием ели аянской на другой пробной площади 18–1990 (0,5 га) в Уссурийском заповеднике описали А.И. Кудинов и Е.М. Огородников [12]. По их учету, в 1990 г. в древостое отмечено 22 породы. В первом пологе по числу стволов преобладали ель аянская и кедр корейский. При последнем учете в 2011 г. авторы отмечали, что «...физическое состояние основных лесообразователей существенно ухудшилось. У ели больных деревьев оказалось 13,6 %, пихты белокорой – 32,3, кедра и липы по 14,3 %, березы желтой – 35,7 %» [12, с. 213]. В подросте хвойных особей было немного, более многочисленны клены. Авторы отмечали, что «...дальнейшее естественное развитие сообщества без воздействия внешних «толчков», стимулирующих активное возобновление хвойных пород, неизбежно приведет к преобразованию его в широколиственный лес с участием хвойных видов» [12, с. 216].

Указывая на важность учета влияния физико-географических условий произрастания леса, Б.П. Колесников [4] писал,

что если в средних и южных частях ареала кедровников происходит чередование фаз преобладания кедра и лиственных пород (иногда с участием белокорой пихты), то в северной части и у верхней границы распространения кедровников число сопутствующих кедру видов лиственных пород сокращается и усиливается значение в древостое пихты белокорой, и позднее аянской ели. Характеризуя стадийно-возрастное развитие их древостоев, Б.П. Колесников отмечал: «...возрастные смены в кедровниках (очевидно, также и в других формациях), хотя и имеют цикличный характер, но совершаются не по замкнутому кругу, а как бы по спирали, неизбежно сопровождаясь количественным накоплением по всем компонентам насаждения свойств и признаков, способных вызвать на определённом этапе переход его в новое качественное состояние [4, с. 124]. Часто упоминаемое в научной литературе «вытеснение кедра елью» он относил к сменам вековым, обусловленным эволюцией географического ландшафта.

Выводы

1. Переходные елово-кедровые леса получили широкое распространение в Приморском крае, занимая 1/5 площади пихтово-еловой формации. Самый распространённый тип леса – крупнопапоротниковый ельник с кедром корейским (ЕкпК) (встречаемость – 91 %). По сравнению с типичными ельниками, они характеризуются более богатым флористическим составом, многопородностью, разновозрастностью и сложной возрастной динамикой.

2. Экологические паспорта и карты-схемы распространения елово-кедровых лесов показывают, что по экологии их местообитаний и оптимальным условиям произрастания, продуктивности, биологическому разнообразию елово-кедровые леса, а в частности крупнопапоротниковые ельники с кедром, более тяготеют к кедрово-широколиственным, а не к пихтово-еловым лесам.

3. На разных стадиях возрастных и восстановительных смен кедр корейский, ель аянская и пихта белокорая постоянно присутствуют в насаждениях елово-кедровых лесов. Если в южной части их ареала происходит чередование фаз преобладания кедра и лиственных пород (иногда с участием белокорой пихты), то в северной части и у верхней границы распространения кедровников число сопутствующих кедру видов лиственных пород сокращается и усиливается значение в древостое пихты белокорой, и позднее аянской ели. При циклических изменениях климата в регионе и изменении экологических условий под воздействием антропогенных факторов (промышленные рубки, лесные пожары, техногенное загрязнение) данные породы часто замещают друг друга, определяя начало перехода одного типа леса в другой, их смену. Препятствуя проникновению чужеродных видов и длительному развитию лиственных лесов, кустарниковых и вейниковых пустошей, они способствуют сохранению лесных экосистем и повышению их устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов.

4. Для устойчивого лесопользования на Дальнем Востоке на основе генетического подхода, предложенного Б.П. Колесниковым и в дальнейшем развиваемого учеными-лесоводами, изучение межформационных связей между лесными формациями поможет объективно определять ход лесообразовательного процесса в экосистемах кедрово-широколиственных и пихтово-еловых лесов, предвидеть их будущее развитие.

5. В отличие от типичных ельников, елово-кедровые леса менее подвержены массовому усыханию древостоев, но произрастая на пологих склонах и по долинам крупных рек, они интенсивно вырубаются и часто подвергаются лесным пожарам. Вопрос о запрете промышленных рубок в елово-кедровых лесах и их более рациональном использовании остаётся пока открытым, хотя они являются своеобразной буферной зоной для сохранения уникальной кедрово-широколиственной формации.

6. Усиление негативных тенденций в лесах Дальнего Востока, усыхание перестойных пихтово-еловых лесов и деградация кедровников в связи с глобальным потеплением, иссушением регионального климата, активизацией лесных пожаров требует активных адаптационных лесохозяйственных мероприятий. В отношении климатически уязвимых и перестойных лесных насаждений в первую очередь должны применяться рубки реконструкции и переформирования, назначаемые с учетом задач сохранения их биоразнообразия и природоохранного статуса.

Список литературы

1. Карта лесов Приморья: преобладающие лесообразующие породы. Масштаб 1:1000000 / Ответственный редактор Б.С. Петропавловский. Владивосток: Из-во «Дальпресс», 2001. 1 лист. Тираж 2500 экз.

2. Замолодчиков Д.Г. Потенциальные уязвимости и адаптация лесов Приморского края к изменениям климата / Д.Г. Замолодчиков // Вестник ИрГСХА. – 2013. – № 54. – С. 56–63.

3. Майорова Л.А. Пихтово-еловые леса Приморского края (эколого-географический анализ) / Л.А. Майорова, Б.С. Петропавловский. – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2017. – 164 с.

4. Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока / Б.П. Колесников. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 261 с.

5. Манько Ю.И. Возникновение и становление генетической лесной типологии» / Ю.И. Манько // Лесоведение. – 2013. – № 6. – С. 40–57.

6. Иванова Н.С. Интернет-ресурс «Генетическая типология и динамика леса // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1–3. – С. 576–579.

7. Петропавловский Б.С. Экологическая обусловленность распространения типов леса Приморского края / Б.С. Петропавловский // Лесоведение. – 2012. – № 3. – С. 33–42.

8. Пузаченко Ю.Г. Принципы информационного анализа / Ю.Г. Пузаченко // Статистические методы исследования геосистем. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 4–12.

9. Semkin B.I. Elementary theory of similarities and its use in biology and geography / B.I. Semkin // Pattern Recognition and Image Analysis: Allen Press Inc. (United States). – 2012. – vol. 22. – P. 92–98.

10. Манько Ю.И. Динамика усыхания пихтово-еловых лесов в бассейне р. Единки (Приморский край) / Ю.И. Манько, Г.А. Гладкова, Г.Н. Бутовец // Лесоведение. – 2009. – № 1. – С. 3–10.

11. Манько Ю.И. Грабовый широколиственно-еловокедровый лес за период 1926–2003 гг. (Уссурийский заповедник, Южное Приморье) / Ю.И. Манько, А.И. Кудинов, Г.А. Гладкова, Г.Н. Бутовец // Сибирский экологический журнал. – 2009. – № 6. – С. 917–926.

12. Кудинов А.И. О развитии широколиственно-хвойного участка леса с доминированием ели в заповеднике «Уссурийский» Южного Приморья / А.И. Кудинов, Е.М. Огородников // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 11. – С. 211–216.

References

1. Karta lesov Primorya: preobladayushchiye lesoobrazuyushchiye porody. Masshtab 1:1000000 [Card of the woods of Primorye: the prevailing forest forming breeds. Scale 1:1000000] / Editor-in-chief B.S. Petropavlovsky. Vladivostok: Publishing house of «Dalpress», 2001. 1 leaf. Circulation is 2500 pieces.

2. Zamolodchikov D.G. Potentsialnye uiazvimosti i adaptatsiia lesov Primorskogo kraia k izmeneniiam klimata [Potential vulnerabilities and adaptation of the forests Primorsky Krai to climate the change]. Vestnik IrGSKhA – Bulletin of IrGSKhA, 2013, no. 54, pp. 56–63.

3. Maiorova L.A., Petropavlovskii B.S. Pikhtovo-elovye lesa Primorskogo kraia (ekologo-geograficheskii analiz) [The fir-spruce forests of Primorsky Krai (ecological-geographical analysis)]. Vladivostok, TIG DVO RAN, 2017. 164 p.

4. Kolesnikov B.P. Kedrovye lesa Dalnego Vostoka [Cedar woods of the Far East]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1956. 261 p.

5. Manko Iu.I. Vozniknovenie i stanovlenie geneticheskoi lesnoi tipologii [The emergence and development of genetic forest typology]. Lesovedenie – Forest Science, 2013, no. 6, pp. 40–57.

6. Ivanova N.S. Internet-resurs «Geneticheskaia tipologiia i dinamika lesa» [«Genetical Typology and Forest Dynamics» Internet-Resource]. Fundamentalnye issledovaniia – Fundamental Research, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 576–579.

7. Petropavlovskii B.S. Ekologicheskaia obuslovlennost rasprostraneniia tipov lesa Primorskogo kraia [Ecological conditionality of the distribution forest types in the Primorsky Krai]. Lesovedenie – Forest Science, 2012, no. 3, pp. 33–42.

8. Puzachenko Iu.G. Printsipy informatsionnogo analiza. Statisticheskie metody issledovaniia geosistem. [Principles of information analysis. Statistical methods for the study of geosystems]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 1976, pp. 4–12.

9. Semkin B.I. Elementary theory of similarities and its use in biology and geography. Pattern Recognition and Image Analysis: Allen Press Inc. (United States), 2012, no. 22, pp. 92–98.

10. Manko Iu.I., Gladkova G.A., Butovets G.N. Dinamika usykhaniia pikhtovo-elovykh lesov v basseine r. Edinki (Primorskii krai) [Dynamics of shrinking fir-spruce forests in the basin of the river Edinka]. Lesovedenie – Forest Science, 2009, no. 1, pp. 3–10.

11. Manko Iu.I., Kudinov A.I., Gladkova G.A., Butovets G.N. Grabovyi shirokolistvenno-elovo-kedrovyi les za period 1926–2003 gg. (Ussuriiskii zapovednik, Iuzhnoe Primore) [Hornbeam deciduous-fir-cedar forest during the years 1926–2003 (the Ussuri Reserve, Southern Primorye)]. Sibirskii ekologicheskii zhurnal – Siberian Environmental Journal, 2009, no. 6, pp. 917–926.

12. Kudinov A.I., Ogorodnikov E.M. O razvitii shirokolistvenno-khvoinogo uchastka lesa s dominirovaniem eli v zapovednike «Ussuriiskii» Iuzhnogo Primoria [Abaut the development of a deciduous-coniferous the forest with the dominance of spruce in the «Ussuriisky» Natural Reserve of the Southern Primorye]. Vestnik KrasGAU – Bulletin of KrasGAU, 2011, no. 11, pp. 211–216.

УДК 630*587.5

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЕВ

Михайлова А.А., Вагизов М.Р.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: nurachka88@rambler.ru, bars-tatarin@yandex.ru

В данной статье рассматривается методика определения основных таксационных характеристик насаждения, таких как запас, средние диаметр и высота древостоя, на основе данных дистанционного зондирования Земли и аллометрических закономерностей с использованием программно-информационного обеспечения. Современные технологии обработки геопространственных данных позволяют проводить анализ древесной растительности при помощи снимков сверхвысокого и высокого пространственного разрешения. Полученные в результате исследований данные о густоте лесных насаждений, которые позволяют, на основе широкоизвестных аллометрических закономерностей, получить данные о характеристиках анализируемого древостоя. Одним из подходов к решению данной задачи является использование ряда технологий с применением компьютерной обработки снимков, полученных как с беспилотных летательных аппаратов, так и изображений открытых картографических сервисов. В основе определения числа деревьев на снимке лежит технология распознавания образов с использованием заготовленной базы эталонов, методом логического перебора и сопоставления пикселей анализируемого участка с базой эталонных образцов. На сегодняшний день одна из проблем лесного хозяйства – отсутствие достоверной и всесторонней информации о лесах. Кроме того, большая часть лесных ресурсов страны находится в труднодоступных территориях, что подталкивает к поиску новых методов и способов получения актуальной информации о лесных ресурсах. Одним из способов получения данных о лесах является способ актуализации данных предыдущего лесоустройства, не учитывающий изменений, происходящих на территории лесного фонда. Другим способом является глазомерно-измерительная таксация, результаты которой, несомненно, точнее, но вместе с тем их получение связано с большими трудозатратами и дорогостоящим процессом сбора данных. Альтернативным способом может стать предлагаемая методика.

Ключевые слова: данные ДЗЗ, аллометрические зависимости, распознавание образов, спутниковые изображения, таксационные характеристики

TECHNIQUE FOR PROCESSING DATA OF EARTH REMOTE SENSING WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND ALLOMETRIC CORRELATIONS FOR DEFINITION OF FOREST STANDS INDICATORS

Mikhaylova A.A., Vagizov M.R.

St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, e-mail: nurachka88@rambler.ru, bars-tatarin@yandex.ru

This article discusses the technique for determining the main forest characteristics of stands, such as a stock, average diameter and height of the stand based on the data of remote sensing and allometric rules using software. Modern technologies of geospatial data processing allow using images of ultrahigh and high spatial resolution for analysis of woody vegetation. The data obtained from the research on the density of forest plantations make it possible to obtain data on the characteristics of the analyzed stand on the basis of widely known allometric regularities. One of the approaches to solving this problem is the application of a number of technologies with the use of computer processing of images obtained from both unmanned aerial vehicles and images of open cartographic services. The basis for determining the number of trees in the picture is the technology of pattern recognition using the base of the prepared standards, using logic iterate and mapping the pixels of the analyzed area with the basis of reference samples. At present, one of the problems of forestry is the lack of reliable and comprehensive information about forests. In addition, a large part of forest resources of the country located in hardly accessible areas, which is pushing to find new methods and ways of obtaining relevant information about the forest resources. One way of obtaining data on forests is a method of updating data of previous forest inventory which does not take into account changes occurring in the territory of the forest fund. Another way is using visual and measuring inventory, the results of which are doubtless more precisely, however, it requires a lot of labour input and expensive data collection process. The proposed technique can be an alternative way for solving this problem.

Keywords: remote sensing data, allometric correlations, pattern recognition, satellite images, taxation characteristics

Развитие науки и техники позволяет решать задачи, стоящие перед лесной отраслью, более эффективно, появляется возможность разрабатывать новые методы лесоинвентаризации, основанные на дистанционных методах зондирования земной поверхности. Вторым немаловажным аспектом в этом направлении является использование различных информационных технологий в лесной отрасли. Перспективными выглядят технологии анализа данных при помощи заранее разработанных программных алгоритмов.

Аэрофотосъёмка уже давно является неотъемлемой частью лесного хозяйства в целом, так и лесной таксации в частности. За последние 30 лет многие отечественные ученые рассматривали возможность применения аэроснимков для определения основных таксационных показателей. Развитие техники в области дистанционных методов ознаменовало появление новых средств дистанционного зондирования, таких как лидарная съемка [1, 2] беспилотных летательных аппаратов [3–5], комбинирование различных средств съёмок, так и совершенствование существующих, а также развитие программного обеспечения для их обработки (увеличение числа спектральных каналов, увеличение пространственного разрешения и т.д.). Важным шагом стал переход на цифровую съёмку.

Одной из важных задач лесного хозяйства является определение количественных характеристик лесного фонда. Применение методов дистанционного зондирования Земли в совокупности с разработкой новых методов определения таксационных характеристик насаждения позволит решать данную задачу более эффективно. С программами анализа геопространственных данных на изображениях сокращается время обработки и получения качественной информации о лесном фонде.

Целью работы являлось исследование и разработка методики получения данных о густоте лесных насаждений по снимкам сверхвысокого разрешения, полученных при помощи беспилотных летательных аппаратов, с последующим определением основных таксационных характеристик.

Материалы и методы исследования

Для апробации методики в качестве объекта исследования были выбраны кварталы в Лисинском учебно-опытном лесничестве Ленинградской области.

Одной из наиболее легко определяемых по снимкам характеристик насаждения является его густота, на основании которой появляется возможность определить остальные показатели древостоя. В биологии давно известны различные аллометрические зависимости, связывающие размеры растений от их количества на единице площади. Наиболее известное из них правило – 3/2, открытое Уодой с коллегами [6, 7] и имеющее следующий вид:

$$V = B*N^{-1,5}, \quad (1)$$

где V – объем одного растения на 1 га, м^3/га;
B – множитель, безразмерная величина;
N – число растений на 1 га, шт.

Также представляют интерес аллометрические закономерности, близкие правилу Уоды, но описывающие зависимость между густотой насаждения и средними диаметром и высотой (правило Рейнеке (2) и Хильми (3) соответственно).

$$N = e^{A}*d_m^{-1,605}, \quad (2)$$

где N – количество стволов на 1 га, шт;
A – множитель, безразмерная величина;
d_m – средний диаметр на высоте груди, см.

$$h = a*N^{-0,5}, \quad (3)$$

где h – высота, м;
a – множитель, безразмерная величина;
N – число стволов на 1 га, шт.

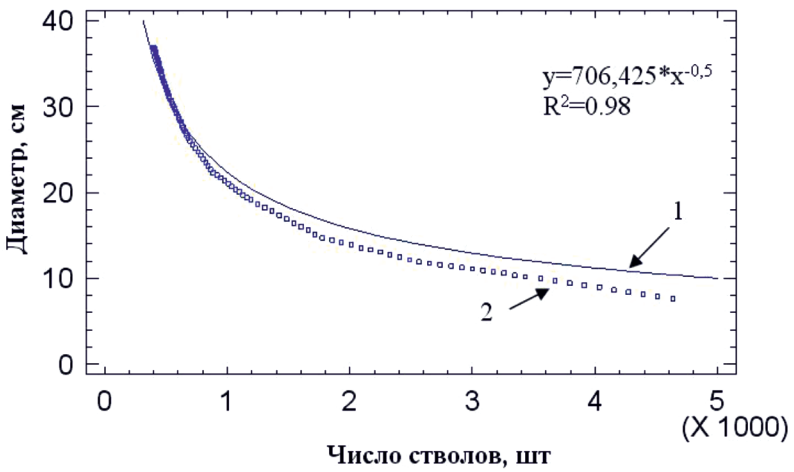


Рис. 1. Зависимость среднего диаметра насаждений сосны 1 класса бонитета от числа стволов на 1 га (1 – аппроксимирующая кривая, 2 – теоретические значения)

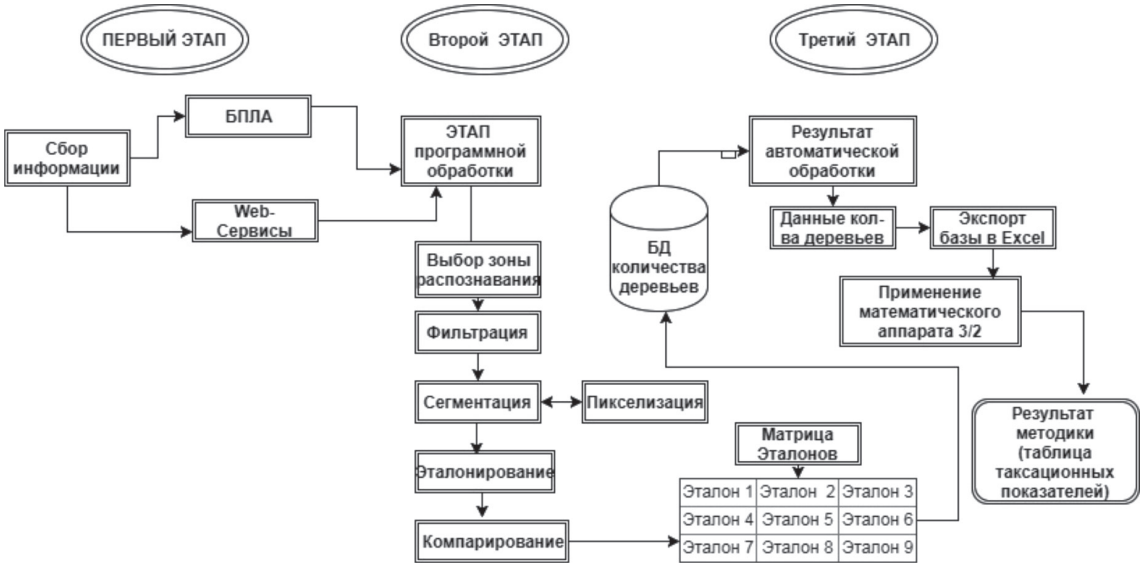


Рис. 2. Полная схема этапов методики, основанная на густоте деревьев

В рамках исследования было необходимо уточнить параметры каждого из аллометрических уравнений. С этой целью в программе StatGraphics был проведён регрессионный анализ таблиц хода роста нормальных сосновых, еловых и берёзовых насаждений для Северо-Запада европейской части России и были построены графики зависимостей основных таксационных показателей от густоты насаждений (рис. 1).

Аналогичные графики были построены для каждой таблицы хода роста, каждой породы и класса бонитета. В результате были получены значения параметров аллометрических уравнений, представленные в ранее опубликованных статьях [4].

Поскольку применение описанных выше аллометрических закономерностей основано на использовании данных о количестве деревьев на единицу площади, необходимым условием являлось определение данного параметра по аэрофотоснимкам.

Технология обработки изображения заключалась в применении специальной методики, основная часть которой была построена, опираясь на широко известную теорию распознавания образов. Так, в задаче определения числа деревьев на единице площади требуется первоначально идентифицировать каждое дерево на анализируемом снимке, для этого предварительно требуется произвести предобработку исследуемого снимка. Полный цикл методики анализа данных представлен на схеме. Он состоит из трёх основных этапов, начиная с получения данных анализируемой местности, заканчивая результатом (таблицей таксационных показателей).

Согласно представленной схеме (рис. 2) после выбора качественного изображения для анализа данных, следующим этапом действий становится загрузка изображения в систему распознавания образов, основная технология анализа данных заключается в переборе цветовых пикселей анализируемого изображения и заготовленной базы эталонов. Стоит отметить, что перед началом процедуры анализа требуется произвести заготовку базы эталонных образцов класса «дерево» [8]. После получения данных программной обработкой, о числе деревьев (густоты насаждений) с анализируемого снимка на единицу площади, согласно методике реализуется третий этап. Ключевым моментом на третьем этапе становится экспорт данных второго этапа и применение математического аппарата основанного на правилах, используемых в теоретической биологии и правилах 3/2 [4]. Результат третьего этапа – полученные таксационные показатели анализируемой местности. Данный подход в определении лесотаксационных показателей насаждений относится к числу дешифровочных.

Второй подход в решении данной задачи – это проведение аналогичных действий, исключая автоматическую обработку, при этом следует отметить, что расчет деревьев производится вручную, что значительно увеличивает время на обработку снимка. Результат ручной обработки при этом не менее точный, он зависит от подготовки де-

шифровщика и практического опыта. Ручной метод не требует заготовки базы эталонов и написания программы сопоставления, он применим в том случае, когда площадь анализа представляет собой небольшую территорию.

Как при автоматической обработке, так и при ручном анализе существуют ошибки обработки, они связаны со следующими особенностями.

При программной обработке не всегда база эталонов способна соотнести все деревья на изображении, перебор пикселей происходит на основе размера матрицы эталонных образцов, следовательно, технически от размера матрицы эталонов будет зависеть точное соотнесение элементов к тому или иному образу. Однако на сегодняшний день данный подход близок по своей сути к нейросетевому анализу, где подобное логическое обучение проходит так называемая нейросеть. В конечном итоге технология распознавания совершенствуется до такой степени, что точность результатов будет применима для широкомасштабного внедрения. На сегодняшний день есть большое число примеров применения данных технологий в других областях науки, где первоначально задачи анализа казались трудновыполнимы, к таким задачам можно отнести распознавание речи и анализ текста с технологией распознавания символов на изображении. Тем не менее на сегодняшний день данные задачи в большинстве случаев хорошо описаны, а результаты данных технологий давно используются во многих областях человеческой деятельности.

При ручной обработке изображений сложность дешифровки заключается в точном определении каждого дерева и выделении границ лесотаксационного выдела.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования была разработана специализированная методика определения густоты насаждения по аэрофотоснимкам сверхвысокого разрешения Лисинского учебно-опытного лесничества Ленинградской области, полученным при помощи беспилотного летательного комплекса, и проведена автоматическая обработка материалов при помощи программного алгоритма, написанного на языке JavaScript.

Результаты определения запаса на 1 га

№ выд.	№ кв.	S, га	Состав	N1га, шт	M1га, м^3/га	Мрасч, м^3/га	Ошибка, %
1	116	3,1	6Е4Б + Е + Ос	600	250	284	13,5
5	116	2,7	6С2Е2Б + Ос	737	270	316	17,2
11	116	3,5	3Е3Е2С2Б + Ос	627	300	242	–19,4
15	116	1,1	8Е2Б + Ос	1051	250	249	–0,4
21	116	1,1	8С2Б + Е + Ос	619	210	236	12,5
22	116	3,8	3Е2Е3С2Б + Ос	600	300	347	–17,6
25	116	4,2	4Е2Е1С3Б + Ос	615	330	285	–13,7
29	116	1,8	7Е2С1Б + Ос + Е	690	360	307	–14,6
36	116	1,4	5С2Е3Б	472	300	355	18,3
37	116	1,9	6Е3Е1С + Ос + Б	418	370	346	–6,6
38	116	3,3	5Е1С4Б + Е	541	330	304	–7,9
39	116	3,4	4С3Е3Б + Е + Ос	433	310	324	4,6
49	116	1,0	6Е2С2Б + Ос	616	260	244	–6,1
18	123	3,1	5Е3Е2Б + С + Ос	315	300	341	13,8
21	123	1,0	5С3Е2Б	433	290	324	11,8
27	123	1,7	4С3Е3Б	571	280	282	0,9
29	123	2,2	10С + Е + Б	562	260	285	9,5
52	123	1,4	8С2Е + Б + Ос	433	290	282	–2,6
53	123	4,3	7С3Е + Б	345	330	365	10,6
6	131	3,0	6С2Е2Б	571	260	282	8,6
9	131	3,7	8С1Е1Б	433	290	324	11,8
13	131	4,0	7С3Б	632	210	184	–12,2
2	132	1,2	6С2Е2Б	433	280	324	15,8
3	132	2,5	5Е1С4Б	700	290	267	–7,9
23	132	2,9	4Е3С3Б + Ос	518	270	266	–1,4
24	132	1,9	7С3Б + Е	420	260	287	10,3
25	132	1,5	4С3Е3Б + С	573	220	242	9,8

Как видно из таблицы, в большинстве случаев расхождения результатов определения запаса с истинными значениями были невелики. Хотя существовали отклонения, которые могли быть вызваны расхождениями в определении преобладающей породы, определении параметров аллометрических уравнений по таблицам хода роста модальных насаждений. Поэтому необходимо было уточнить параметры данных уравнений на таблицах хода роста нормальных насаждений с учетом теоретических степеней.

Для проверки данных и статистического контроля была определена систематическая ошибка, которая составила 3,2%, что является допустимым значением при определении лесотаксационных показателей при нормативе не более 5%. Общий запас на единицу площади по разработанному методу определяется наиболее точно. Отклонения оказались невелики и составляли от 1 до 53 м^3/га или от 0,4 до 18,3%. Отклонения не превышают нормативов точности определения таксационных показателей для дешифровочного способа таксации лесов, установленных лесоустроительной инструкцией 2012 г.

В результате обработки снимка двумя способами (ручным и автоматическим) (24 выдел 123 квартала Лисинского учебно-опытного лесничества), были получены данные о густоте насаждения, которые впоследствии были использованы для расчёта запаса, средних диаметра и высот по аллометрическим закономерностям.

Апробация полученной методики проводилась по данным таблиц хода роста [4] по Ленинградской области для основных лесообразующих пород, а также данных пробных площадей Лисинского учебно-опытного лесничества (СПБГЛТУ им. С.М. Кирова) и Лодейнопольского лесничества Ленинградской области (ЛОГКУ «Ленобллес»). Первое применение разработанной методики дало положительный результат, при этом следует отметить, что требуется дальнейшее развитие данной методики с целью выявления возможности применения на таких объектах, как сложные по составу многоярусные насаждения. Необходимо учитывать возможность совершенствования алгоритмов анализа компьютерной обработки снимков на основе распознания образов. Дальнейшее развитие метода предполагает комбинирование ряда технологий, которые позволят уточнить необходимые данные лесных насаждений. Для более точного определения таксационных показателей, особенно на таких объектах как смешанные по составу древостои естественного происхождения с высокой сомкнутостью древесного полога, дополнительно требуются данные лидарной съёмки. При получении дополнительных данных увеличится точность получения материалов ДЗЗ и снизится ошибка в определении запаса насаждений.

Заключение

Леса, произрастающие на территории Российской Федерации, составляют 20% от общего количества лесных ресурсов планеты. Вследствие огромной значимости данного вида ресурсов, а также обширной территории нашей страны, труднодоступности участков, трудоёмкости, а также больших затрат из-за необходимости обследования обширных территорий возникает необходимость разработки новых методов лесоинвентаризации. Рассмотренная в данной статье, методика определения таксационных показателей древостоев может стать альтернативой для метода актуализации данных лесоустройства, поскольку позволяет ускорить процесс таксации насаждений и повысить ее объективность, достоверность и точность за счет более полного использования информации со снимков. Но в то же время на данный момент существует ряд ограничений для её применения. Так, пока нет возможности применить данный метод для определения таксационных характеристик многоярусных насаждений, поскольку невозможно учесть деревья, расположенные под пологом основного яруса.

Но вместе с тем первое применение данного метода дало обнадеживающие результаты, в будущем планируется его совершенствование и всесторонняя проверка на более обширном материале.

Список литературы

1. Данилин И.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов / И.М. Данилин, Е.М. Медведев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2008. – № 1. – С. 15–23. DOI: 10.17238/issn0536-1036.

2. Данилин А.И. Некоторые результаты научно-исследовательского проекта по использованию лазерной и цифровой аэро- и космической съемки при таксации леса / А.И. Данилин и др. // Лесная таксация и лесоустройство. – 2013. – № 1 (49). – С. 26–33.

3. Алексеев А.С. Анализ производительности съемки участков лесного фонда с помощью беспилотного летательного аппарата Cropcamp (на примере учебно-опытного лесничества Ленинградской области) / А.С. Алексеев, А.А. Никифоров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2013. – Вып. 205. – С. 6–15.

4. Алексеев А.С. Новый метод определения таксационных характеристик насаждений по снимкам сверхвысокого

разрешения с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / А.С. Алексеев, А.А. Никифоров, А.А. Михайлова, М.Р. Вагизов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы научно-технической конференции / Под. ред. В.М. Гедьо. – СПб., 2016. – С. 17–20.

5. Сечин А.Ю. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования / А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева. – 2011. URL: http://www.racurs.ru/?page=699 (дата обращения: 20.03.2018).

6. Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals // Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics. – 1957. – Vol. 8. – P. 161–178.

7. Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI) // Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics. – 1963. – Vol. 14. – P. 107–129.

8. Вагизов М.Р. Применение интерактивного картографического сервиса для определения числа деревьев программно-техническим методом / М.Р. Вагизов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 50–58.

References

1. Danilin I.M., Medvedev E.M. Some results of an international project to investigate the possibilities of laser, radar and digital aerial photography [Nekotorye rezul’taty mezhdunarodnogo proekta po issledovaniiu vozmozhnostei lazernoi, radarnoi i tsifrovoi aeros»emki lesov]. IVUZ Lesnoi zhurnal – IVUZ «Forest Journal», 2008, no. 1, pp. 15–23. DOI: 10.17238/issn0536-1036.

2. Danilin A.I. Some results of the research project on the use of laser and digital aerial and space imagery in the forest taxation. [Nekotorye rezul’taty nauchno-issledovatel’skogo proekta po ispol’zovaniiu lazernoi i tsifrovoi aero- i kosmicheskoi s»emki pri taksatsii lesa.]. Lesnaia taksatsiia i lesoustroistvo – Forest taxation and forest inventory, 2013, no. 1, pp. 26–33.

3. Alekseev A.S., Nikiforov A.A. Analysis of the performance of surveying forest sites with the help of a Cropcamp unmanned aerial vehicle (exemplified by the experimental and experimental forestry of the Leningrad Region) [Analiz proizvoditel’nosti s»emki uchastkov lesnogo fonda s pomoshch’iu bespilotnogo letatel’nogo apparata Kropkam (na primere uchebno-opytnogo lesnichestva Leningradskoi oblasti)]. Izvestiia Lesotekhnicheskoi akademii – Proceedings of the Forestry Academy, 2013, no. 205, pp. 6–15.

4. Alekseev A.S., Nikiforov A.A., Vagizov M.R., Mikhailova A.A. Novyi metod opredeleniia taksatsionnykh kharakteristik nasazhdenii po snimkam sverkh vysokogo razresheniia s bespilotnogo letatel’nogo apparata (BPLA) [A new method for determining the taxation characteristics of plantations from high resolution images from an unmanned aerial vehicle (UAV)]. Lesa Rossii: politika, promyshlennost’, nauka, obrazovanie: materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (g. Sankt-Peterburg, 13–15 aprelia 2016 g.) [Proceedings of Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the scientific and technical conference (St. Petersburg, April 13-15, 2016)], SPBGLTU, SPBGLTU, 2016, vol. 1, pp. 17–20.

5. Sechin A.Iu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. Bespilotnye letatel’nye apparaty: primenenie v tseliakh aerofotos»emki dlia kartografirovaniia [Unmanned aerial vehicles: aerial photography applications for mapping]. Available at: http://www.racurs.ru/?page=699 (accessed 20.03.2018).

6. Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals. Journal of the Institute of Polytechnics, 1957, no. 8, pp. 161–178.

7. Yoda K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI). Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics, 1963, no. 14, pp. 107–129.

8. Vagizov M.R. Application of an interactive mapping service for determining the number of trees by a software-technical method [Primenenie interaktivnogo kartograficheskogo servisa dlia opredeleniia chisla derev’ev programmno-tekhnicheskim metodom]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – The successes of modern natural science, 2016, no. 3, pp. 50–58.

УДК 633.111.1»324»:631.52(470+574)

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СЕТИ КАСИБ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПУНКТАХ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

[1]Потоцкая И.В., [1]Шаманин В.П., [2]Моргунов А.И.

[1]ФГБОУ ВО «Омский ГАУ», Омск, e-mail: iv.pototskaya@omgau.org;
[2]Представительство CIMMYT в Турции, Анкара

В современных селекционных программах оценке исходного материала на адаптивность уделяется первоочередное внимание для создания перспективных сортов с высоким потенциалом продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды. С 2000 г. реализуется уникальная селекционная программа по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ), координируемая Международным центром улучшения кукурузы и пшеницы СИММИТ (Мексика), позволяющая оценить адаптивный потенциал сортов и отобрать генотипы с комплексом хозяйственно ценных признаков. В течение 2005–2016 гг. проведена оценка сортов питомников КАСИБ 6–17, выращенных в двух репродукциях в 10 пунктах сети КАСИБ. Проведен анализ урожайности сортов питомников КАСИБ в различных экологических пунктах сети КАСИБ и выявлены пункты, в которых генетический потенциал урожайности сортов был реализован лишь на 40–50%, что связано в основном с дефицитом влаги, а во влажные годы с ухудшением фитопатологической обстановки. Сравнительный анализ лучших сортов питомников КАСИБ за последние двенадцать лет показал, что в 2013–2016 гг. отмечен рост урожайности среднеспелых и среднепоздних сортов. В процессе селекции урожайность лучших сортов питомников КАСИБ 14–17 выросла на 5% или примерно на 1,3% в год. Выделены наиболее адаптивные генотипы с высокой продуктивностью, представляющие интерес в качестве исходного материала для селекции яровой пшеницы: Эритроспермум 78, Лютесценс 307/97-23, Лютесценс 716, Лютесценс 706, Челяба юбилейная, А-125, Лютесценс 363/96-4, Лютесценс 1599, Лютесценс 290/99-7, Заульбинка, Самгау, Лютесценс 120-03, Экада 113, Линия 241-00-4, Фитон 43, Лютесценс 697, Лютесценс 9-33, Лютесценс 4, Тобольская, Лютесценс 7/04-26, Лютесценс 141/03-2, Лютесценс 1147, Лютесценс 665/1, Лютесценс 1669, Эритроспермум 85-08, Лютесценс 6/04-4, Лютесценс 186/04-61, Лютесценс 248/05-3, ЛД 25, Лютесценс 96-12.

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, Казахстанско-Сибирская сеть, питомник КАСИБ, урожайность

YIELD EVALUATION OF SPRING BREAD WHEAT VARIETIES OF NETWORK KASIB UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL POINTS OF RUSSIA AND KAZAKHSTAN

[1]Pototskaya I.V., [1]Shamanin V.P., [2]Morgunov A.I.

[1]Omsk State Agrarian University, Omsk, e-mail: iv.potorskaya@omgau.org;
[2]CIMMYT-Turkey, Ankara

In modern breeding programs the assessment of initial material for adaptability is given the first priority to create of promising varieties with high potential of productivity and resistance to negative environmental factors. Since 2000, the unique breeding program has been realizing for improvement of spring wheat (KASIB) coordinated by International Wheat and Maize Improvement Center (CIMMYT, Mexico), which assesses the adaptive potential of varieties and selects the genotypes with complex of economically valuable traits. During period 2005-2016 the assessment of varieties of 6-17 KASIB nurseries grown in two reproductions at 10 points of KASIB network was carried out. The analysis of yields of varieties KASIB nurseries at various ecological points of KASIB network was carried out. The points were identified in which the genetic potential of the yields of varieties was realized only on 40-50%, which is mainly due to moisture deficit, and in wet years with deterioration of phytopathological situation were identified. Comparative analysis of the best varieties of KASIB nurseries for the past twelve years has shown that in 2013-2016 the growth of yields of medium maturity and late maturity varieties was noted. So, in the process of breeding, the yield of the best varieties of KASIB 14-17 nurseries grew by 5% or, approximately, by 1,3% per year. The most adaptive genotypes with high productivity have been identified, which are of interest as an initial material for spring wheat breeding: Erythrospermum 78, Lutescens 307 / 97-23, Lutescens 716, Lutescens 706, Chelyaba Jubileinaya, A-125, Lutescens 363 / 96-4 , Lu-tsesens 1599, Lutescens 290/99-7, Zaulbinka, Samgau, Lutescens 120-03, Ekada 113, Line 241-00-4, Fiton 43, Lutescens 697, Lutescens 9-33, Lutescens 4, Tobolskaya, Lutescens 7 / 04-26, Lutescens 141 / 03-2, Lutescens 1147, Lutescens 665/1, Lutescens 1669, Erythrospermum 85-08, Lutescens 6/04-4, Lutescens 186 / 04-61, Lutescens 248 / 05-3, LD 25, Lutescens 96-12.

Keywords: spring wheat, variety, Kazakhstan-Siberian network, nursery KASIB, yield

Резкое снижение генетического разнообразия мягкой пшеницы по устойчивости к биотическим стрессам произошло в результате целенаправленной селекции на повышение урожайности и многовекового возделывания этой культуры [1]. В современных селекционных программах оценке исходного материала на адаптивность уделяется первоочередное внимание для создания перспективных сортов с высоким потенциалом продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды [2].

Совместное экологическое изучение сортов яровой пшеницы в различных научно-исследовательских учреждениях позволяет оценить адаптивный потенциал сортов и отобрать генотипы с комплексом хозяйственно ценных признаков [3, 4].

С 2000 г. реализуется селекционная программа по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ), координируемая Международным центром улучшения кукурузы и пшеницы CIMMYT (Мексика), которая объединила 20 селекционных и научно-исследовательских учреждений России и Казахстана. Омский ГАУ является координатором программы КАСИБ в Российской Федерации. Программа направлена на решение двух основных задач: 1) мультилокационные испытания сортов и линий яровой пшеницы и отбор лучших сортообразцов для включения в гибридизацию; 2) челночная селекция яровой пшеницы между участниками сети КАСИБ и CIMMYT для выделения адаптивного материала в конкретных почвенно-климатических условиях. В настоящее время в Омском ГАУ по программе КАСИБ на основе методов челночной селекции создан высокоурожайный селекционный материал яровой мягкой пшеницы, устойчивый к засухе, болезням, по качеству зерна на уровне мировых стандартов [5, 6].

Цель исследования

Оценка сортов Казахстанско-Сибирской сети улучшения яровой мягкой пшеницы в различных экологических пунктах России и Казахстана по ряду показателей продуктивности зерна, устойчивости к абио- и биострессорам, качества муки и теста.

Материалы и методы исследования

В течение 2005–2016 гг. изучены сорта Казахстанско-Сибирской сети улучшения яровой мягкой пшеницы (КАСИБ 6–17) – 242 генотипа 20 оригинаторов, выращенных в двух репродукциях в 10 пунктах сети КАСИБ: Актюбинская СХОС (г. Актобе), Карабалыкская СХОС (Костанайская обл.), Карагандинский НИИРС (Карагандинская обл.), Павлодарский НИИСХ (Павлодарская обл.), НПФ «Фитон» (Костанайская обл.), Алтайский НИИСХ (г. Барнаул), Курганский НИИСХ (г. Курган), Омский ГАУ (г. Омск), СибНИИСХ (г. Омск) и Челябинский НИИСХ (г. Челябинск).

Оценки, учеты и наблюдения проведены в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания с.-х. культур [7] и с учётом принятой программы Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы. Площадь делянки – 3 м^2, трехкратная повторность. В качестве стандартов использованы местные селекционные сорта среднеранней, среднеспелой и среднепоздней групп спелости (КАСИБ-6, 7), а в последующие годы также межрегиональные стандарты – Памяти Азиева, Астана 2, Терция, Саратовская 29 и Омская 35. Прибавку урожайности питомников КАСИБ рассчитывали на основе отклонений урожайности сортов от региональных стандартов трех групп спелости. Статистическую обработку экспериментальных данных (определение стандартных ошибок, НСР, вариационный анализ) проводили по методике, изложенной в пособии Б.А. Доспехова [8] с использованием программы SPSS версии PASW-Statistics 20.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках данной селекционной программы за 2005–2016 гг. изучено 12 питомников КАСИБ в различных экологических пунктах России и Казахстана, что позволило выявить наиболее адаптивные генотипы с высокой продуктивностью, представляющие интерес в качестве исходного материала для селекции яровой пшеницы (табл. 1).

Наименьшая урожайность сортов сети КАСИБ отмечена в Актюбинской СХОС в 2009–2010 гг. (7,8 ц/га), наибольшая – в Алтайском НИИСХ (45,8 ц/га) в эти же годы. В пунктах Актобе, Павлодарской и Карагандинской областях средняя урожайность изучаемых сортов составила 14,7–17,7 ц/га, при этом генетический потенциал урожайности сортов был реализован лишь на 40–50%, что связано в основном с дефицитом влаги, а во влажные годы с ухудшением фитопатологической обстановки в данных географических пунктах.

В пунктах Карабалык, Барнаул и Челябинск, напротив, средняя урожайность сортов за годы исследований была выше и составила 29,4–34,6 ц/га, что связано, вероятно, с более высоким агрофоном в данных научных учреждениях. В Костанайской области (НПФ «Фитон»), Кургане и Омске средняя урожайность изучаемых сортов составила 20,5–27,7 ц/га. Изменчивость урожайности во всех пунктах сети КАСИБ обусловлена различными условиями вегетации, что существенно влияло на реализацию генетического потенциала изучаемых сортов. Наиболее благоприятные условия

вегетации сложились в 2005–2006 гг. – средняя урожайность питомника КАСИБ-6, 7 составила 25,9 ц/га при слабой вариабельности признака (Cv = 9,9 %) и 2009–2010 гг. – средняя урожайность питомника КАСИБ-10, 11 – 25,2 ц/га (Cv = 11,6 %). Необходимо отметить, что также изменился набор изучаемых линий, что без сомнений (так же как и условия выращивания) повлияло на среднюю урожайность. Варьирование средней урожайности по пунктам изучения за 2005–2016 гг. представлено на рис. 1, 2.

Таблица 1

Характеристика пунктов сети КАСИБ по варьированию средней урожайности, изучаемых питомников яровой мягкой пшеницы

Пункт КАСИБ	Урожайность, ц/га						
	2005–2006 гг.	2007–2008 гг.	2009–2010 гг.	2011–2012 гг.	2013–2014 гг.	2015–2016 гг.	Средняя
1. Актюбинская СХОС	14,2	20,5	7,8	12,0	15,5	18,2	**14,7**
2. Карабалыкская СХОС	36,2	25,2	32,3	30,0	18,7	33,9	**29,4**
3. Кар. НИИРС	13,7	24,8	13,1	20,0	14,8	19,7	**17,7**
4. Павлодарский НИИСХ	19,4	12,4	17,8	14,1	18,7	13,1	**15,9**
5. Фитон	43,0	21,6	22,9	29,4	22,6	26,9	**27,7**
6. Алтайский НИИСХ	28,4	35,8	45,8	18,4	33,4	28,7	**31,8**
7. Курганский НИИСХ	29,8	22,7	13,9	20,4	18,4	17,9	**20,5**
8. Омский ГАУ	–	26,1	25,3	24,9	18,1	13,9	**21,7**
9. СибНИИСХ	27,3	19,2	2241,0	33,1	25,8	18,6	**27,5**
10. ЧНИИСХ	34,8	38,3	36,3	38,3	28,5	31,4	**34,6**
Средняя	**25,9**	**24,7**	**25,2**	**24,1**	**21,4**	**22,2**	
$НСР_{0,05}$	1,09	1,40	1,14	1,12	1,18	1,26	
C_V, %	9,9 ± 1,05	13,5 ± 1,31	11,6 ± 1,14	12,6 ± 1,19	14,3 ± 1,42	12,6 ± 1,22	

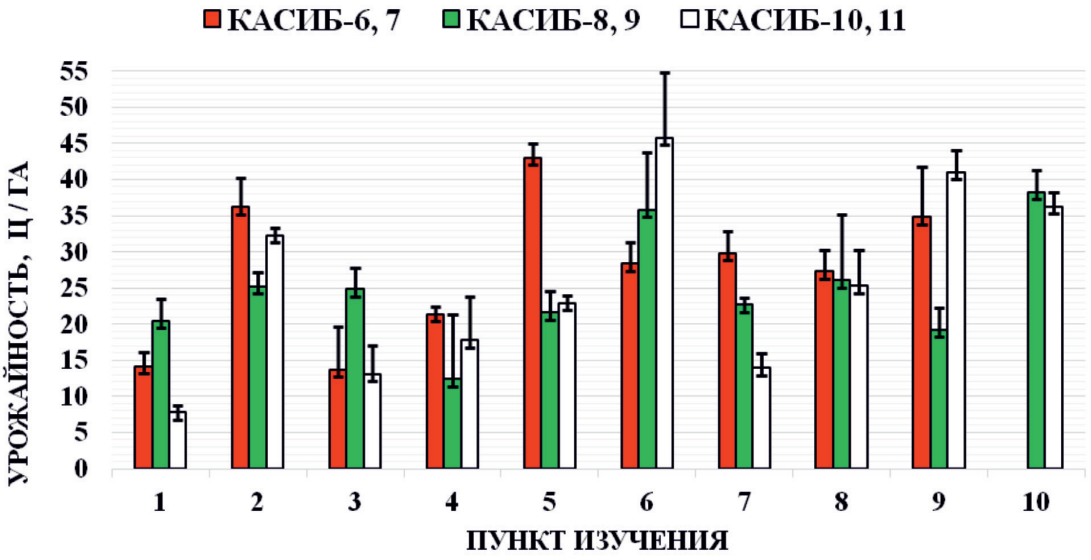


Рис. 1. Изменчивость урожайности сортов пшеницы в зависимости от пункта сети КАСИБ, 2005–2010 гг.

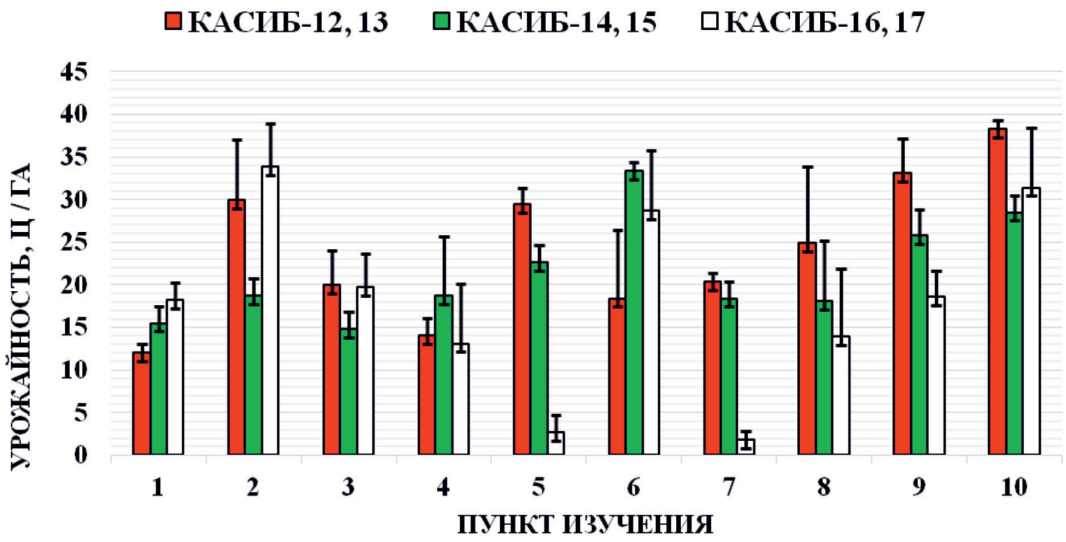


Рис. 2. Изменчивость урожайности сортов пшеницы в зависимости от пункта сети КАСИБ, 2011–2016 гг.

За последние семь лет наблюдается тенденция возрастания степени поражения листовыми патогенами и частоты эпифитотийных лет ржавчинных заболеваний, что приводит к снижению урожайности сортов пшеницы [9]. В 2013–2014 гг. в питомниках КАСИБ-14, 15 средняя урожайность сортов составила 21,4 ц/га (Cv = 14,3%) и в 2015–2016 гг. в питомниках КАСИБ-16, 17–22,2 ц/га (Cv = 12,6%). Таким образом, к низкоурожайным пунктам сети КАСИБ можно отнести экологические пункты Актобе, Карагандинской и Павлодарской областей, к высокоурожайным пунктам – Карабалык, Барнаул и Челябинск. Лучшие сорта и линии питомников КАСИБ, имеющие максимальную урожайность в соответствующей группе спелости, представлены в табл. 2.

В питомниках КАСИБ 8–17 прибавка урожайности сортов на основе отклонений от региональных стандартов составила 2,3–27,2%.

Максимальная прибавка урожайности в среднеспелой группе спелости отмечена в питомнике КАСИБ – 8, 9 – сорта Эритроспермум 78 (24%), Лютесценс 307/97-23 (22,4%), в питомнике КАСИБ – 10, 11 – Лютесценс 363/96-4 (14,5%) и КАСИБ – 14, 15 – Лютесценс 1147 (27,2%), Лютесценс 665/1 (26,9%). В среднепоздней группе спелости наибольший генетический прогресс урожайности отмечен у сортов Экада 113 (13,8%), Тобольская (16,5%), Эритроспермум 85-08 (20,8%). На фоне возрастания инфекционной нагрузки ржавчинных болезней в 2013–2016 гг. сорта, устойчивые к бурой и стеблевой ржавчине, превосходили по урожайности восприимчивые стандарты. В последние годы на фоне возрастания инфекционной нагрузки ржавчинных болезней проводится определенная работа в учреждениях России и Казахстана по созданию устойчивого селекционного материала к бурой и стеблевой ржавчине. Сорта питомника КАСИБ – 14, 15 Лютесценс 141/03-2, Сигма (СибНИИСХ) и питомника КАСИБ – 16, 17 – Эритроспермум 85-08 (в настоящее время сорт Элемент 22, Омский ГАУ), ЛД 25 (НИИСХ Юго-Востока), Лютесценс 6/04-4 и Лютесценс 186/04-61 (СибНИИСХ), устойчивые к бурой и стеблевой ржавчине и превышающие по урожайности стандарты, рекомендуются в качестве исходного материала для селекции пшеницы [10].

Сравнительный анализ лучших сортов питомников КАСИБ за последние десять лет показал, что в 2013–2016 гг. отмечен рост урожайности среднеспелых и среднепоздних сортов. В процессе селекции урожайность лучших сортов питомника выросла на 5% или примерно на 1,3% в год.

Выводы

1. Экологические пункты Актобе, Карагандинская и Павлодарская области характеризовались низкой урожайность сортов питомников КАСИБ (14,7–17,7 ц/га) в связи со схожими неблагоприятными климатическими факторами в данных географических пунктах. Пункты Карабалык, Барнаул и Че-

лябинск характеризовались более высокой урожайностью (29,4–34,6 ц/га) благодаря высокому агрофону в данных научных учреждениях, что способствовало более полной реализации генетического потенциала по изучаемому признаку.

2. Сравнительный анализ лучших сортов питомников КАСИБ за последние двенадцать лет показал, что в 2013–2016 гг. отмечен рост урожайности среднеспелых и среднепоздних сортов. В процессе селекции урожайность лучших сортов питомников КАСИБ 14–17 выросла на 5 % или, примерно, на 1,3 % в год.

3. Выделены сорта, формирующие повышенную урожайность в большинстве пунктов изучения сети КАСИБ, представляющие интерес при создании сортов яровой пшеницы с высоким потенциалом продуктивности: КАСИБ – 8, 9: Эритроспермум 78, Лютесценс 307/97-23, Лютесценс 716, Лютесценс 706, Челяба юбилейная, А-125;

Таблица 2

Урожайность лучших сортов питомников КАСИБ 8–17 (2007–2016 гг.)

№ п/п	Сорт, линия	Происхождение	Урожайность, ц/га	Ранг	Прибавка урожайности, %
КАСИБ – 8, 9					
Среднеспелые					
1	Астана 2	Региональный стандарт	25,1	14	–
2	Эритроспермум 78	Карабалыкская СХОС	30,6	1	24,0
3	Лютесценс 307/97-23	Фитон	30,2	2	22,4
4	Лютесценс 716	СибНИИСХ	28,4	3	14,9
КАСИБ – 10, 11					
Среднеспелые					
5	Астана 2	Региональный стандарт	25,4	23	–
6	Лютесценс 363/96-4	Курганский НИИСХ	29,1	1	14,5
Среднепоздние					
7	Омская 35	Региональный стандарт	26,0	15	–
8	Лютесценс 1599	Кар.НИИРС	28,5	3	9,3
9	Лютесценс 290/99-7	Кургансемена	28,4	4	9,2
КАСИБ – 12, 13					
Среднепоздние					
10	Омская 35	Региональный стандарт	24,5	24	–
11	Экада 113	Самарский НИИСХ	27,9	1	13,8
12	Линия 241-00-4	Кургансемена	27,7	2	13,0
13	Фитон 43	Фитон	27,2	3	10,9
КАСИБ – 14, 15					
Среднеспелые					
14	Астана 2	Региональный стандарт	18,8	44	–
15	Лютесценс 1147	СибНИИРС	23,9	5	27,2
16	Лютесценс 665/1	Алтайский НИИСХ	23,9	6	26,9
Среднепоздние					
17	Омская 35	Региональный стандарт	21,4	24	–
18	Тобольская	Алтайский НИИСХ	25,0	1	16,5
19	Лютесценс 7/04-26	СибНИИСХ	24,1	3	12,2
20	Лютесценс 141/03-2	СибНИИСХ	24,0	4	12
КАСИБ – 16, 17					
Среднепоздние					
21	Омская 35	Региональный стандарт	25,6	12	–
22	Эритроспермум 85-08	Омский ГАУ	30,9	1	20,7
23	Лютесценс 186/04-61	СибНИИСХ	29,1	2	13,7
24	ЛД 25	НИИСХ Юго-Востока	28,0	3	9,4
25	Лютесценс 6/04-4	СибНИИСХ	27,6	4	7,8

КАСИБ – 10, 11: Лютесценс 363/96-4, Лютесценс 1599, Лютесценс 290/99-7, Заульбинка, Самгау, Лютесценс 120-03;

КАСИБ – 12, 13: Экада 113, Линия 241-00-4, Фитон 43, Лютесценс 697, Лютесценс 9-33, Лютесценс 4;

КАСИБ – 14, 15: Тобольская, Лютесценс 7/04-26, Лютесценс 141/03-2, Лютесценс 1147, Лютесценс 665/1, Лютесценс 1669;

КАСИБ – 16, 17: Эритроспермум 85-08, Лютесценс 6/04-4, ЛД 25, Лютесценс 186/04-61, Лютесценс 248/05-3, Лютесценс 96-12.

Авторы выражают благодарность Международному центру по улучшению кукурузы и пшеницы CIMMYT и всем коллегам – участникам программы Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ).

Список литературы

1. Хромосомная инженерия и селекция с применением ДНК-маркеров – перспективные биотехнологические подходы к улучшению пшеницы / С.В. Осипова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – № 3 (8). – С. 39–52.

2. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 617–626.

3. Иммунологическая оценка материала «КАСИБ» в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И.А. Белан [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10 (96). – С. 39–43.

4. Белан И.А., Россеева Л.П., Зеленский Ю.И. Результативность работы Казахстанско-Сибирской сети по изучению яровой мягкой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 5 (79). – С. 5–9.

5. Шаманин В.П., Потоцкая И.В. Иммунологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы селекционного питомника КАСИБ // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (22). – С. 5–10.

6. Gomez-Becerra H., Morgounov A., Abugalieva A. Evaluation of yield grain stability, reliability and cultivar recommendation in spring wheat (Triticum aestivum) from Kazakhstan and Siberia // Central European Journal of Agriculture. – 2006. – V. 6. – P. 649–660.

7. Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: общая часть. – М.: Колос, 1985. – Вып. 1. – 269 с.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1985. – 321 с.

9. A Thinopyrum intermedium chromosome in bread wheat cultivars as a source of genes conferring resistance to fungal diseases / E.A. Salina [et al.] // Euphytica. – 2015. – No. 1. – V. 204. – P. 91–101. DOI: 10.1007/s10681-014-1344-5.

10. Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Кузьмин О.Г. Скрининг сортов яровой мягкой пшеницы питомника КАСИБ к бурой и стеблевой ржавчине в условиях Западной Сибири // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12, № 2–44. – С. 58–63.

References

1. Osipova S.V., Pshenichnikova T.A., Permiakova M.D., Permiakov A.V., Berner A., Verkhoturov V.V. Chromosomal engineering and breeding with use of DNA-markers – promising biotechnological approaches to wheat improving [Khromosomnaia inzheneriia i selektsiia s primeneniem DNK-markerov – perspektivnye biotekhnologicheskie podkhody k uluchsheniiu pshenitsy]. Izvestiia vuzov. Prikladnaia khimiia i biotekhnologiia. – Proceedings of high schools. Applied chemistry and biotechnology., 2014, vol. 8, no. 3, pp. 39–52.

2. Rybas' I.A. Increase of adaptability in cereals breeding [Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur]. Sel'skokhoziaistvennaia biologiia – Agricultural Biology, 2016, no. 5, pp. 617–626.

3. Belan I.A., Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Shepelev S.S., Zelenskii Iu.I. Immunological evaluation of KASIB material under conditions of southern forest-steppe of Western Siberia [Immunologicheskaia otsenka materiala «KASIB» v usloviiakh iuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri]. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2012, vol. 96, no. 10, pp. 39–43.

4. Zelenskii Iu.I., Rosseeva L.P., Belan I.A. Effectiveness of Kazakhstan-Siberian network for studying spring bread wheat [Rezul'tativnost' raboty Kazakhstansko-Sibirskoi seti po izucheniiu iarovoi miagkoi pshenitsy]. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of Altai State Agrarian University, 2011, vol. 79, no. 5, pp. 5–9.

5. Pototskaia I.V., Shamanin V.P. Immunological evaluation of spring bread wheat varieties of breeding nursery KASIB [Immunologicheskaia otsenka sortov iarovoi miagkoi pshenitsy selektsionnogo pitomnika KASIB]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of Omsk State Agrarian University, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 5–10.

6. Gomez-Becerra H., Morgounov A., Abugalieva A. Evaluation of yield grain stability, reliability and cultivar recommendation in spring wheat (Triticum aestivum) from Kazakhstan and Siberia. Central European Journal of Agriculture, 2006, no. 6, pp. 649–660.

7. Fedin M.A. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniia sel'skokhoziaistvennykh kul'tur [The methodology of State variety trial of agricultural crops]. Vyp.1. Moscow, Kolos, 1985, 269.

8. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta: (S osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methods of field experience: the basics of statistical processing of the research results]. 5-e izd., pererab. i dop. Moscow, Kolos, 1985, 321.

9. Salina E.A., Adonina I.G., Stasyuk A.I., Leonova I.N., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Kroupin P.Y., Divashuk M.G., Starikova E.V., Khuat T.M.L., Karlov G.I., Syukov V.V. A Thinopyrum intermedium chromosome in bread wheat cultivars as a source of genes conferring resistance to fungal diseases. Euphytica, 2015, vol. 204, no. 1, pp. 91–101. DOI: 10.1007/s10681-014-1344-5.

10. Shamanin V.P., Pototskaia I.V., Kuz'min O.G. Screening of spring bread wheat varieties of nursery KASIB to leaf and stem rust under conditions of Western Siberia [Skrining sortov iarovoi miagkoi pshenitsy pitomnika KASIB k buroi i steblevoi rzhavchine v usloviiakh Zapadnoi Sibiri]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of the Kazan State Agrarian University, 2017, vol. 44, no. 2, pp. 58–63.

УДК 630*651.72(571.51)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ВЫРУБКАХ В РАЙОНЕ СРЕДНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

Рунова Е.М., Соловьёва А.А.

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: runova@rambler.ru

Интенсивность освоения лесов района Среднего Приангарья Иркутской области с каждым годом возрастает. Именно поэтому вопросы рационального использования природных ресурсов и их воспроизводства являются очень важными. В статье изложены результаты исследования естественного возобновления сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) на вырубках и под пологом древостоев в преобладающих сосновых типах леса эксплуатационных лесов Среднего Приангарья. Обобщены и систематизированы результаты многолетних натурных исследований на постоянных пробных площадях, заложенных в различных типах леса (бруснично-зеленомошные сосняки, разнотравные сосняки, лишайниковые сосняки). Объектами исследования стали 10–11-летние вырубки сосновых насаждений общей площадью 980 га. Учёт естественного возобновления сосны проводился в период с 2011 по 2016 гг. по общепринятым методикам с закладкой пробных площадей, распределённых по ходовым линиям по всей площади вырубки. Было определено общее количество подроста, встречаемость, а также наличие древесных входов на вырубках. Выявлено соотношение подроста предварительной и последующей генерации. Установлено, что процессы естественного возобновления на вырубках сосновых насаждений, освоенных с соблюдением мер по сохранению подроста, имеют свои особенности, связанные с исходным типом леса. Вырубки бруснично-зеленомошных сосняков возобновляются успешно: численность соснового подроста доходит до 15 тыс. шт/га, а его встречаемость – до 100%. Вырубки разнотравных сосняков характеризуются относительно невысокой численностью соснового подроста – 1,3–3,6 тыс. шт/га. Естественное возобновление на вырубках лишайниковых сосняков на 90–95% представлено сосновым подростом последующей генерации. Здесь формируются чистые сосновые молодняки численностью от 5до 12 тыс. шт/га. Результаты исследований свидетельствуют о хорошем естественном возобновлении сосны обыкновенной на вырубках леса без дополнительных лесных культур.

Ключевые слова: сосновые насаждения, вырубки, естественное возобновление, подрост, предварительная и последующая генерация, тип леса

SPECIAL FEATURES OF THE UNDERGROWTH FORMATION ON THE LOGGING TERRITORIES OF PINE FORESTS ADJACENT TO THE MIDDLE ANGARA REGION

Runova E.M., Soloveva A.A.

Bratsk State University, Bratsk, e-mail: runova0710@mail.ru

The intensity of forest development of the Middle Angara region Irkutsk area increases every year. That is why the issues of rational use of natural resources and their reproduction are very important. The article presents the results of a study of natural regeneration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in clearings and under the canopy of pine stands in the prevailing types of forests commercial forests of the Middle Angara region. The article systematizes the results of long-term field studies on permanent sample plots laid in different forest types (cranberry-wet pine forests, mixed pine forests, lichen pine forests). Objects of the study were 10-11-year-old felling of pine plantations with a total area of 980 hectares. Accounting of natural regeneration of pine was conducted in the period from 2011 to 2016 according to standard techniques laying sample plots distributed across the running lines throughout the area of deforestation. It was determined the total number of undergrowth, occurrence, and the presence of woody inputs clearings. Revealed the ratio of undergrowth pre-and post-generation. It is established that the process of natural regeneration on felled areas of pine plantations, mastered with observance of measures on preservation of the undergrowth, has its own characteristics related to initial forest type. Cutting cranberry-wet pine resume successfully: the number of pine undergrowth reaches 15 thousand pieces/hectares, and its incidence is up to 100%. The renewal is largely due to the pine undergrowth of the next generation, which accounts for 70-80% of the population. Cutting grass pine forests are characterized by a relatively low number of pine undergrowth – 1.3-3.6 thousand PCs./ha. Natural regeneration on cutting areas of lichen pine forests on 90-95% of pine undergrowth of the next generation. It contains pure pine young growths of between 5do 12 thousand pieces/ha. the Results indicate good natural regeneration of pine on felling forests without additional of forest crops.

Keywords: pine stands, clear cuts, natural regeneration, young growth, pre-and post-generation, type of the forest

Жизнестойкость растительных сообществ определяется их способностью поддерживать численность популяций, заменять новыми погибшие экземпляры [1]. Наличие подроста древесных пород под пологом леса является главным фактором его непрерывного существования. Есть мнение, что сохранение достаточного количества подпологового подроста при проведении лесосечных работ и создание благоприятных условий для последующего появления всходов способны не только обеспечить естественное заращивание вырубок, но и свести до минимума затраты на последующие мероприятия по обеспечению успешности их лесовосстановления [2–4]. В районе Среднего Приангарья Иркутской области, где к настоящему времени освоение лесосы-

рьевой базы усложнено значительной удалённостью лесосек от транспортной сети и населённых пунктов, преимущественным способом лесовозобновления является содействие естественному возобновлению [5, 6]. По вырубаемым площадям, а также по объему заготавливаемой древесины лидирующая роль принадлежит насаждениям сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), большой интерес представляет изучение естественного возобновления под пологом леса и на вырубках. Цель проведённых исследований – оценка формирования молодого поколения сосны обыкновенной под пологом леса и на вырубках в зависимости от исходного типа леса в районе Среднего Приангарья.

Материалы и методы исследования

Исследования были проведены в эксплуатационных лесах Среднего Приангарья Иркутской области. Среднее Приангарье относится к Приангарскому лесному району таёжной лесорастительной зоны и является местностью, приравненной к районам Крайнего Севера. Характерным проявлением резко континентального климата в районе исследований служит сочетание продолжительной малоснежной зимы, отличающейся устойчивыми отрицательными температурами, и относительно тёплого короткого лета с обильными осадками. На рост и развитие растительных сообществ негативно влияют суточные и годовые колебания температуры воздуха, затяжной зимний период, длительно сохраняющиеся заморозки, глубокое промерзание грунтов [7]. Установлено, что преимущественная часть спелых и перестойных лесонасаждений в районе исследования имеет естественную природу происхождения, причём на долю сосняков III и IV класса бонитета приходится около 40 % от всей лесопокрытой площади района.

Объектами исследований стали 10–11-летние вырубки сосновых насаждений бруснично-зеленомошной, разнотравной и лишайниковой групп типов леса, а также прилегающие к ним древостои. Исследования проведены на площади 980 га. Учёт естественного возобновления сосны обыкновенной под пологом древостоев и на прилегающих к ним вырубках был проведён по общепринятым методикам с закладкой пробных площадей [8]. В качестве показателей, характеризующих успешность процессов естественного возобновления, были взяты численность соснового подроста, его встречаемость, средняя высота, а также возрастная структура.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам учёта соснового подроста установлено, что процессы динамики количества подроста и характер размещения на вырубках и под пологом сосняков зависят от исходного типа леса. В таблице приведены сведения о численности соснового подроста и его встречаемости.

Численность соснового подроста и его встречаемость под пологом и на вырубках сосняков

	Сосняк бруснично-зеленомошный	Сосняк разнотравный	Сосняк лишайниковый
под пологом материнских древостоев			
Численность подроста, шт/га	16820–23130 ± 25	2430–3720 ± 25	1120–2440 ± 25
Встречаемость, %	50–80	30–50	20–50
на вырубках			
Численность подроста, шт/га	4100–15490 ± 25	1320–3650 ± 25	5730–12120 ± 25
Встречаемость, %	80–100	30–40	90–100

Из таблицы видно, что количество подроста как под пологом бруснично-зеленомошных сосняков, так и на их вырубках достаточно большое и размещение его по площади вырубок равномерное – встречаемость доходит до 100 %.

При сравнении данных о численности соснового подроста в разнотравных сосняках и на вырубках отмечено, что она примерно одинакова и относительно невелика. Плодородные почвы данных лесорастительных условий способствуют бурному развитию живого напочвенного покрова, который препятствует появлению всходов и накоплению подроста. Сосновый подрост чаще расположен куртинами, его встречаемость составляет всего 30–50 %.

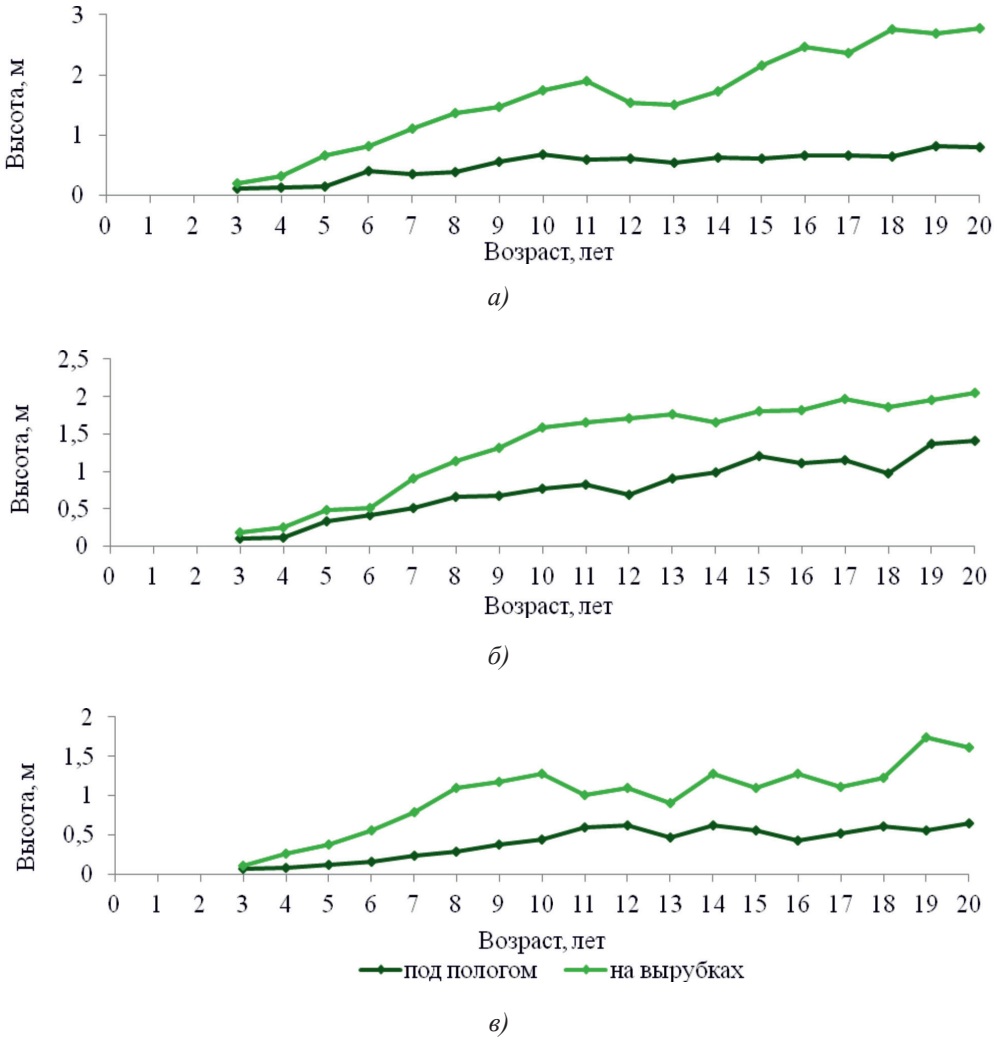


Рис. 1. Зависимость высоты соснового подроста от его возраста:
а) бруснично-зеленомошные сосняки; б) разнотравные сосняки; в) лишайниковые сосняки

При том, что под пологом лишайниковых сосняков выявлено большое количество однолетних всходов сосны – до 30 тыс. шт/га. Самосева сосны возрастом старше трёх лет практически нет. Низкая численность самосева и подроста говорит о том, что в условиях лишайниковых сосняков под пологом древостоев складываются неблагоприятные условия для роста и развития молодого поколения сосны обыкновенной: возобновление здесь оценивается как редкое, а размещение подроста – как крайне неравномерное. На вырубках этого же типа из-за смены микроклиматических условий ситуация меняется кардинально: встречаемость подроста составляет 90–100 %, а его численность увеличивается до 5730–12120 ± 25 шт/га.

Под пологом и на вырубках исследуемых сосняков были определены значения высоты соснового подроста в зависимости от его возраста (рис. 1).

По графику, показанному на рис. 1, а, видно, что под пологом бруснично-зеленомошных сосняков развитие подроста по высоте протекает более медленно, чем на вырубках. Например, высота 10-летнего соснового подроста последующей генерации на вырубке составляет 1,75 м, что в 2,5 раза больше, чем высота подроста аналогичного возраста под пологом. Подрост 12–14 лет данной категории оказался ниже 10-летнего подроста, появившегося непосредственно на вырубке. Всё это может говорить о том, что под пологом бруснично-зеленомошных сосняков создаются неблагоприятные условия для полноценной жизнедеятельности соснового подроста.

Развитие соснового подроста по высоте, как под пологом, так и на вырубках сосняков

разнотравных (рис. 1, б) протекает относительно равномерно, без резкого колебания годичных приростов. По рис. 1, в видно, что под пологом исследуемых лишайниковых сосняков гармоничное развитие подроста по высоте идёт примерно до 12-летнего возраста. Затем его рост в высоту практически прекращается, а большая часть особей выпадает из категории благонадёжных. На вырубках подрост последующей генерации (возраст до 10 лет) отличается прогрессирующим приростом по высоте, чего нельзя сказать о подросте предварительной генерации, который из-за длительного угнетения под пологом древостоя развивается по высоте неравномерно.

На рис. 2 показано распределение на вырубках подроста сосны обыкновенной по возрасту.

Анализ возрастной структуры соснового подроста на вырубках сосняков всех исследуемых групп типов леса (рис. 2) показал, что его распределение по возрасту неоднородно. При этом установлено, что на всех вырубках преобладает подрост, возраст которого на год меньше, чем давность рубки. На вырубках бруснично-зеленомошных сосняков (рис. 2, а) выявлено, что чем меньше возраст подпологового подроста, тем легче его сохранить во время рубки и тем успешнее прошла его адаптация к резко изменившимся условиям. Также при учете распределения соснового подроста по времени его происхождения отмечено, что на вырубках бруснично-зеленомошных сосняков естественное возобновление идет преимущественно за счёт подроста последующей генерации, на долю которого приходится 70–80 % от общей численности.

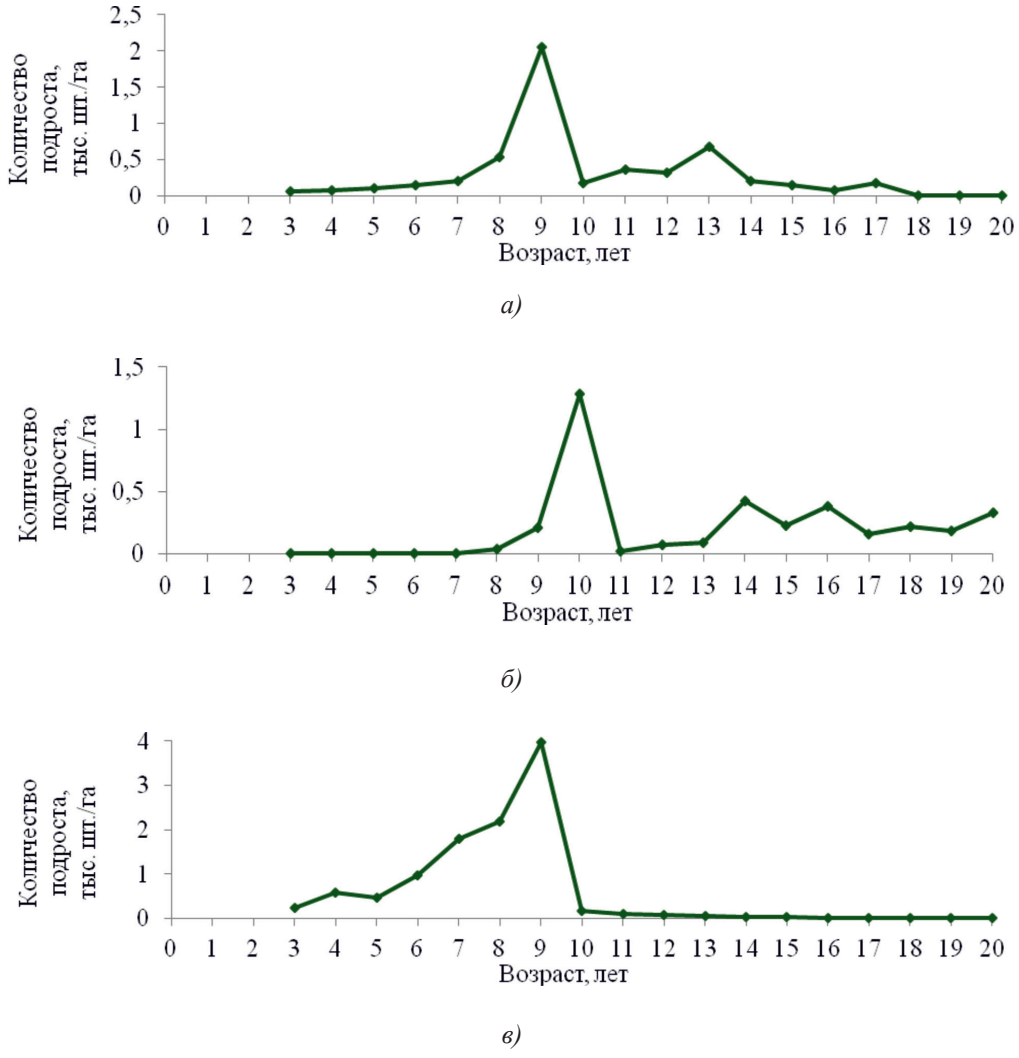


Рис. 2. Распределение на вырубках соснового подроста по возрасту:
а) бруснично-зеленомошные сосняки; б) разнотравные сосняки; в) лишайниковые сосняки

Уже к третьему году после рубки на вырубках разнотравных сосняков (рис. 2, б) из-за интенсивного задернения травами и распространения быстрорастущего подроста лиственных пород увеличение численности соснового подроста практически свелось к нулю. При этом выявлено, что среди сохранённого подроста предварительной генерации меньше всего встречается особей 11–13-летнего возраста, которым на момент рубки должно было быть один-три года. Их отсутствие на вырубках свидетельствует о том, что к моменту рубки под пологом древостоев сосновых всходов и самосева практически не было из-за складывающихся там неблагоприятных условий для прорастания семян и развития всходов. Учитывая низкую численность естественного возобновления сосны обыкновенной на вырубках разнотравных сосняков (1320–3650 ± 25 шт/га) и то, что только 25–35% особей соснового подроста по происхождению относятся к последующей генерации, можно рекомендовать лесозаготовителям применять технологии рубок с сохранением жизнеспособного подроста хвойных древесных пород, а также проводить мероприятия по удалению лиственного подроста.

Отмечено, что на вырубках лишайниковых сосняков даже по истечении 10–11 лет с момента рубки продолжают появляться сосновые всходы (рис. 2, в), а естественное возобновление на 90–95% состоит из подроста последующей генерации. При этом низкое качество подроста предварительной генерации не позволило какой-либо из его возрастных категорий занять лидирующее положение: количество подроста по отдельным категориям возраста стабильно низкое – 0,01–0,07 ± 0,005 тыс. шт/га. Следует отметить, что в районе исследования на вырубках лишайниковых сосняков формируются чистые сосновые молодняки численностью 5730–12120 ± 25 шт/га.

Выводы

1. Численность соснового подроста под пологом материнских древостоев зависит от типа леса. Наибольшее количество подроста сосны обыкновенной обнаружено под пологом бруснично-зеленомошных сосняков (16820–23130 ± 25 шт/га), наименьшее – под пологом лишайниковых сосняков (1120–2440 ± 25 шт/га).

2. В районе исследования протекание процессов естественного возобновления на вырубках сосновых насаждений, освоенных с соблюдением мер по сохранению подроста, имеет свои особенности, связанные с исходным типом леса. Вырубки брусничнo-зеленомошных сосняков возобновляются успешно: численность соснового подроста доходит до 15490 ± 25 шт/га, а его встречаемость – до 100%. При этом возобновление, в основном идёт за счёт соснового подроста последующей генерации, на долю которого приходится 70–80% от общей его численности. Вырубки разнотравных сосняков характеризуются относительно невысокой численностью соснового подроста – 1320–3650 ± 25 шт/га. И так как только 25–35% от этой численности приходится на подрост последующей генерации, успешное возобновление вырубок невозможно без сохранения достаточного количества жизнеспособного подроста. Естественное возобновление на вырубках лишайниковых сосняков на 90–95% представлено сосновым подростом последующей генерации. Здесь формируются чистые сосновые молодняки численностью 5730–12120 ± 25 шт/га.

3. Основное количество подроста последующей генерации на всех исследуемых вырубках появилось в течение одного-двух лет после проведения рубки. При давности рубки 10–11 лет всходы сосны обыкновенной были отмечены только на вырубках лишайниковых сосняков, бедные сухие почвы которых не способствуют развитию живого напочвенного покрова.

4. Рекомендуется при проведении рубок насаждений в разнотравных, брусничнo – зеленомошных и лишайниковых типах леса в районе Среднего Приангарья Иркутской области использовать содействие естественному возобновлению путем сохранения подроста.

Список литературы

1. Казанцева М.Н. Естественное возобновление древесных растений в рекреационных сосняках зеленой зоны г. Тюмени / М.Н. Казанцева, А.Ю. Хайдукова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1, № 2 (2). – С. 111–118.

2. Габдрахимов К.М. Воспроизводство сосняков Южного Урала / К.М. Габдрахимов. – М.: МГУЛ, 2012. – 104 с.

3. Коневина К.С. Методика оценки роли подроста и последующего возобновления в восстановлении лесов после сплошнолесосечных рубок в Приангарье / К.С. Коневина, С.К. Фарбер, Н.С. Кузьмик. – ИНТЕРЭКСПО ГЕОСИБИРЬ. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 230–232.

4. Маркатюк А.А. Особенности лесовосстановления хозяйственно ценных сосновых лесов Приангарья / А.А. Маркатюк, А.А. Маркатюк // Актуальные проблемы мониторинга экосистем антропогенного нарушенных территорий: Сб. материалов Научно-практич. конф. с междунар. Участием (г. Ульяновск, 20–23 октября 2011 г.) / отв. ред. Б.П. Чураков. – Ульяновск: УлГУ, 2011. – С. 55–56.

5. Цветков В.Ф. Самовозобновление леса / В.Ф. Цветков. – 2 изд. доп. – Архангельск: Арханг. гос. ун-т, 2009. – 84 с.

6. Рунова Е.М. Естественное возобновление на вырубках сосняков в районе Среднего Приангарья / Е.М. Рунова, А.А. Соловьёва // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 6. – С. 67–71.

7. Боме Н.А. Почвоведение: учебное пособие / Н.А. Боме, В.Л. Рябикова. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2012. – 216 с.

8. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: ОСТ 56–69–83. – Введ. 01.01.84. – Центральное бюро НТИ Гослесхоза СССР. – 1983. – 14 с.

References

1. Kazantseva M.N, Khaidukova A.Iu. Natural regeneration of woody plants in pine forests of recreational green zone of the city of Tyumen [Vozobnovlenie drevesnykh rastenii v rekreatsionnykh sosniakakh zelenoi zony g. Tiumeni]. Vestnik Tiumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiia i prirodopol'zovanie. – Bulletin of Tyumen state University. Ecology and natural resource management., 2015, vol. 1, no. 2, pp. 111–118.

2. Gabdrakhimov K.M. Vosproizvodstvo sosniakov Iuzhnogo Urala [The reproduction of pine forests of the southern Urals]. MSFU, MGUL, 2012, 104.

3. Konevina K.S., Farber S.K., Kuz'mik S.K. Methods of assessing the role of undergrowth and subsequent renewal in the restoration of forests after solid logging in the Angara region [Metodika otsenki roli podrosta i posleduiushchego vozobnovleniia v vosstanovlenii lesov posle sploshnolesosechnykh rubok v Priangar'e]. INTEREKSPO GEO-SIBIR'' – INTEREXPO GEO-SIBERIA, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 230–232.

4. Markatiuk A.A. Osobennosti lesovosstanovleniia khoziaistvenno-tsennykh sosnovykh lesov Priangar'ia [Peculiarities of regeneration of commercially valuable pine forests of the Angara region]. Aktual'nye problemy monitoringa ekosistem antropogennogo narushennykh territorii (g. Ul'ianovsk, 20–23 oktiabria 2011 g.) [Proceedings of Actual problems of monitoring of ecosystems to anthropogenic disturbed areas (Ulyanovsk, October 20–23, 2011)], Ulyanovsk, Ul'ianovsk, 2011, pp. 55–56.

5. Tsvetkov V.F. Samovozobnovlenie lesa [Self-renewal of the forest]. Arkhangelsk, Arkhangel'skii gosuniversitet, 2009, 84.

6. Runova E.M., Solov'eva A. A. Natural regeneration on felled areas of pine forests in the Middle Angara region [Estestvennoe vozobnovlenie na vyrubkakh sosniakov v raione Srednego Priangar'ia]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Progress of modern natural Sciences, 2017, no. 6, pp. 67–71.

7. Bome N.A. Pochvovedenie [Soil Science]. Tyumen, Tiumenskii gosudarstvennyi universitet, 2012, 216.

8. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki.: OST 56–69–83. – Vved. 01.01.84. – Central'noe byuro NTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 14 p.

УДК 630*279:712.3/.7

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ БИОТОПОВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Севрюгова Ю.Б., Мельничук И.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: j.sevrugova@gmail.com

В результате воздействия чрезмерных антропогенных нагрузок на природную среду в крупных городах ухудшается ее общее состояние, повышается степень загрязнения воздуха и почв, снижается биоразнообразие, повышается дискретность городских ландшафтов, что приводит к ухудшению условий местообитания, снижению устойчивости растительных и животных сообществ в городах. Однако экологическое значение связанности мест обитания в урбанизированной среде изучено недостаточно, отсутствуют универсальные методики оценки дискретности и связности ландшафтов и их влияния на устойчивость городских ландшафтов. Основная цель данной работы заключалась в разработке методики для комплексной оценки связанности биотопов в городских ландшафтах. В основу новой методики лег метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом, которые рассматривают природный каркас города как систему, состоящую из двух основных компонентов – соединительных (линейных) и площадных мест обитания. При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF) – отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта. Разработанный метод основывается на анализе спутниковых снимков. На них выделяются участки размером 1 км×1 км с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств. Выделенные участки используются для дальнейшего анализа. На первом этапе определяется степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы, на втором – оценивается качество связей между биотопами. Разработанная методика позволяет произвести комплексную оценку связанности ландшафтов с минимальным количеством входных данных. При этом методика может быть легко адаптирована к местным условиям за счет изменения критериев для оценки эффективности связей, уменьшения или увеличения размеров и разрешения спутниковых снимков.

Ключевые слова: связанность биотопов, фрагментация ландшафтов, городской ландшафт

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR INTEGRATED ANALYSIS OF HABITAT CONNECTIVITY IN URBAN ENVIRONMENT USING THE EXAMPLE OF ST. PETERSBURG

Sevryugova Yu.B., Melnichuk I.A.

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Saint Petersburg, e-mail: j.sevrugova@gmail.com

Due to excessive anthropogenic impact on urban environment, its general condition deteriorates in a drastic way. Air and soil pollution levels increase, as well as the landscape fragmentation level. These changes reduce habitat quality, which poses a great threat to plant and animal communities and leads to biodiversity loss in urban areas. However, the ecological relevance of habitat connectivity in urban environment has not been adequately studied. There are no sensitive and universal methods suitable for assessing landscape connectivity and fragmentation levels and their influence on ecological resilience in urban ecosystems. The main goal of this paper was to develop a methodology for the integrated assessment of habitat connectivity in urban landscapes. Proposed methodology referred to the method developed by Christopher Young and Peter Jarvis, which considered the relationship between contiguous and connecting habitats. The Biotope Area Factor (BAF) was also used to estimate the ratio of ecologically efficient areas. The developed methodology is based on the analysis of satellite imagery. For further investigation, the areas of 1 km × 1 km are selected such that they represent the most distinctive spatial structure of the given terrain in terms of transport network and buildings configuration, open space ratio. The degree of influence of landscape fragmentation on biotopes is determined at the first step, while the quality of connections between biotopes is estimated at the second one. The methodology allows to carry out complex assessment of landscape connectivity with minimal amount of input data. Moreover, the methodology can easily be adapted to local conditions by changing the criteria for connections effectiveness assessment, reducing or increasing the size and resolution of satellite imagery.

Keywords: habitat connectivity, landscape fragmentation, urban landscape

Высокая степень антропогенного воздействия на биосферу в последние десятилетия привела к фундаментальным изменениям в структуре и конфигурации ландшафтов. Многие ученые отмечают, что разрушение и фрагментация ландшафтов являются важнейшими факторами глобального снижения биоразнообразия [1]. Фрагментация ландшафтов приводит к неоднородности распределения жизненно важных ресурсов, к нарушению энергетического обмена, к серьезным изменениям климатического режима и ряда других факторов. Таким образом, физические преобразования пространствен-

ной структуры ландшафтов влияют на поведение организмов, внутри- и межвидовые взаимодействия, структуру и динамику популяций [1]. При этом результаты эмпирических исследований указывают на то, что фрагментация и изоляция мест обитания негативно сказывается на устойчивости как животных, так и растительных сообществ. Несмотря на то, что наиболее фрагментированные ландшафты находятся именно в городах, экологическое значение связанности мест обитания в урбанизированной среде изучено недостаточно [2]. В некоторой степени это связано с отсутствием универсальных методик для оценки степени связанности и дискретности ландшафтов.

Таким образом, **цель** данной работы заключается в разработке методики для комплексной оценки связанности биотопов в городских ландшафтах.

Материалы и методы исследования

В научной литературе встречается несколько подходов к феномену фрагментации ландшафтов. Различаются они тем, как биотоп рассматривается относительно других элементов ландшафта. Несмотря на то, что существует множество вариаций, можно выделить всего две основные парадигмы, определяющие структуру ландшафта и порядок взаимодействия его компонентов. Первая парадигма – динамическая модель ландшафтной мозаики, где ландшафт воспринимается как сложная система, которую невозможно упростить до дихотомии среды обитания и матрицы [1]. В рамках второй парадигмы, «статической модели островной биогеографии», дискретные фрагменты естественного ландшафта рассматриваются как особые включения в единой матрице, непригодной для обитания [1].

В условиях городской застройки биотопы находятся в относительно статичной матрице. Поэтому для оценки степени связанности мест обитания в городской среде многие ученые используют статическую модель: она позволяет достаточно просто представить структуру ландшафта и позволяет произвести количественную оценку. Многие теоретические методы основываются на теории графов и оценивают структуру ландшафта лишь с математической точки зрения. Ранее в рамках этой теории для оценки степени связанности и фрагментации биотопов использовались только такие показатели, как количество изолированных мест обитания и расстояния между ними. Но с течением времени вводятся новые индексы и показатели, математические вычисления становятся все более сложными, требуется все больше исходных данных. Систематическое усложнение таких методов не только ограничивает их практическое применение [1], но и затрудняет процесс интерпретации результатов [3]. Возникает необходимость в разработке методики для качественного и количественного анализа связанности биотопов, которая не требовала бы большого объема входных данных и сложных математических расчетов и могла бы быть легко адаптирована к местным условиям.

В основу новой методики лег метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом [4]. Авторы рассматривают природный каркас города как систему, состоящую из двух основных компонентов – соединительных и площадных мест обитания. Соединительные – линейные по пространственной конфигурации места обитания (например, озелененные улицы, железнодорожные пути, реки и т.п.). Они объединяют изолированные площадные места обитания и обеспечивают потенциальные маршруты для распространения растений и животных. Анализируя картографические данные для заданного участка, авторы выделяют места обитания различных видов. Затем производят подсчет связей между всеми выявленными биотопами. Под связью авторы подразумевают любой прямой контакт между любыми двумя биотопами. Все связи подразделяют на два типа. К первому типу относят связи между двумя площадными местами обитания, остальные связи относят ко второму типу. Коэффициент фрагментации определяют как отношение количества связей второго типа к количеству связей первого типа на заданном участке. Величина коэффициента фрагментации при этом может принять любое неотрицательное значение, поэтому данный метод можно использовать лишь для сравнительного анализа. Авторы также производят качественную оценку связей, которая основывается на натурном анализе исследуемого участка. При этом не приводится какой-либо шкалы для оценки, что делает результаты анализа крайне субъективными.

При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF) – отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта [5]. В отличие от многих аналогов, при расчете BAF во внимание берутся все площади, которые оказывают положительный эффект на экосистему. Для

расчета BAF разработана таблица весовых коэффициентов для различных элементов городского ландшафта (табл. 1). При этом расчетные веса варьируют в зависимости от эвапотранспирационных качеств, водопроницаемости, возможности задерживать дождевую воду и от степени значимости для растительных и животных сообществ [6].

Экологически эффективная площадь определяется следующим образом:

$$C = \left(A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2 + ... + A_n \bullet B_n\right), \quad (1)$$

где C – экологически эффективная площадь; A_1, A_2, A_n – площади занятые 1, 2, n элементом; B_1, B_2, B_n – весовой коэффициент для 1, 2, n типа элемента, определенный по таблице весовых коэффициентов (табл. 1).

Расчет коэффициента площади биотопа производится следующим образом:

$$BAF = {}^{C}\!/_{Sq} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где Sq – общая площадь рассматриваемого объекта.

Для систематизации и использования экспериментальных данных на этапе определения необходимого количества эффективных связей использовались методы математической статистики [7]. Из элементов выборки выстраивались вариационные ряды, затем производилась оценка математического ожидания и дисперсии. Далее определялись доверительные интервалы распределения случайной величины с уровнем значимости $\gamma = 0{,}95$.

Таблица 1

Весовые коэффициенты для расчета коэффициента площади биотопа

Тип элемента	Вес	Свойства	Примеры
Непроницаемые поверхности	0,0	Участки с водонепроницаемыми покрытиями, не представляют ценности для растений и животных	Бетон, асфальт, плиточное покрытие (на монолитном основании или с залитыми швами), водостойкий пластик
Частично проницаемые	0,3	воздухо- и водопроницаемые поверхности, почти не представляют ценности для растений и животных	Клинкер, плиточное покрытие, брусчатка, уплотненный грунт
Полупроницаемые	0,5	воздухо- и водопроницаемые поверхности, плохие инфильтрационные свойства, пригодны для жизни растений и животных	Газонная решетка (с развитым травяным покровом)
Участки озеленения на искусственных основаниях, с почвенным слоем толщиной менее 80 см	0,5	Средние или хорошие эвапотранспирационные свойства, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	Насаждения на кровле подземной автостоянки (с толщиной почвенного слоя менее 80 см), приподнятые гряды и цветники
Участки озеленения на искусственных основаниях, с почвенным слоем толщиной более 80 см	0,7	Средние или хорошие эвапотранспирационные, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	Насаждения на кровле подземной автостоянки (с толщиной почвенного слоя более 80 см)
Участки озеленения на естественном основании	1	Хорошие эвапотранспирационные и инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, создают благоприятные условия для жизни растений и животных	
Участки, с которых дождевой сток направляется на растительный покров	0,2	Способствуют восстановлению грунтовых вод	Кровли
Элементы вертикального озеленения	0,5	Выполняют пылезащитную функцию, создают благоприятные условия для жизни растений и животных	
Кровельное озеленение	0,7	Хорошие эвапотранспирационные, плохие инфильтрационные свойства, выполняют пылезащитную функцию, пригодны для жизни растений и животных	

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанный метод основывается на анализе спутниковых снимков. На них выделяются участки размером 1 км×1 км с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств. Выделенные участки используются для дальнейшего анализа. На первом этапе определяется степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы, на втором – оценивается качество связей между биотопами.

Первый этап. В последнее время научные дебаты относительно фрагментации ландшафтов в основном сосредоточены на вопросе: «Когда последствия фрагментации среды становятся значимыми?». Или, наоборот: «Какая площадь необходима для поддержания жизнеспособности популяций целевых видов?». Некоторые эмпирические исследования показывают, что последствия фрагментации становятся ощутимыми только, когда площадь биотопов уменьшается до 20–30% [1]. Большинство этих исследований были сфокусированы главным образом на сельскохозяйственных или лесных ландшафтах. Принимая во внимание то, что в агрессивной городской среде большинство организмов уже находится в ослабленном состоянии, негативные эффекты фрагментации ландшафтов, вероятно, имеют здесь более серьезные последствия для организмов даже при больших площадях биотопов. Поэтому для данной методики минимальное значение коэффициента площади биотопов, необходимое для поддержания биоразнообразия, принимается равным 30%.

В ходе дешифрирования на каждом спутниковом снимке определяются различные типы покрытий и высчитывается общая площадь для каждого из них. Далее определяется коэффициент площади биотопа (2).

Многие ученые считают, что разного рода коридоры между изолированными местами обитания способны смягчить негативные эффекты фрагментации [8; 9]. Однако тот факт, что коридор существует, не говорит о том, что он используется. В некоторых случаях коридоры могут даже служить барьером. Поэтому при низких значениях BAF (менее 30%) необходимо выяснить, существуют ли связи между фрагментами ландшафта и насколько эффективно эти связи функционируют. Для этого переходят ко второму этапу анализа.

Второй этап. Для качественной оценки связей между фрагментами ландшафта по снимкам определяются различные виды местообитаний (по методу Янга и Джарвиса). Каждая связь между биотопами рассматривается индивидуально и признается либо эффективной, либо неэффективной (рис. 1). Так как свойства местообитаний могут быть неоднородными по площади, при оценке качества связи следует анализировать участки, прилегающие непосредственно к месту контакта. Для оценки эффективности связи используется балльная система (табл. 2). Для каждой связи рассчитывается общий балл, находящийся в диапазоне от 0 до 11. Если общий балл меньше или равен 5, связь признается эффективной.

Таблица 2

Критерии для оценки эффективности связи между биотопами в Санкт-Петербурге

Критерий	Балл
Интенсивное движение автотранспорта	2
Плохая циркуляция воздуха	2
Значение BAF ниже 10%	2
Наличие физических барьеров	2
Высокая механическая нагрузка	2
Нарушение светового режима	1

Необходимое количество эффективных связей. Для определения необходимого количества эффективных связей каждого типа были проанализированы другие 77 снимков площадью 1 км^2. Для этого на каждом снимке выделялись площадные (А) и соединительные (Б) биотопы. Затем для каждого снимка составлялась схема, на которой отображались выявленные биотопы (рис. 2). На схеме графическим путем определялось минимальное количество связей каждого типа, необходимое для того, чтобы сформировать из биотопов единую систему (рис. 2). Далее вычислялось отношение минимально необходимого количества связей каждого типа к общему числу связей этого типа для каждого из снимков. В результате статистического анализа данных, полученных при исследовании 76 снимков, выяснилось, что в 95% случаев для формирования единой системы биотопов необходимо, чтобы не менее 69,5–78,8% связей типа Б-Б и не менее 40,3–43,1% связей типа А-Б были эффективными (табл. 3). При этом эффективность связей типа А-А не влияет на общую ситуацию.

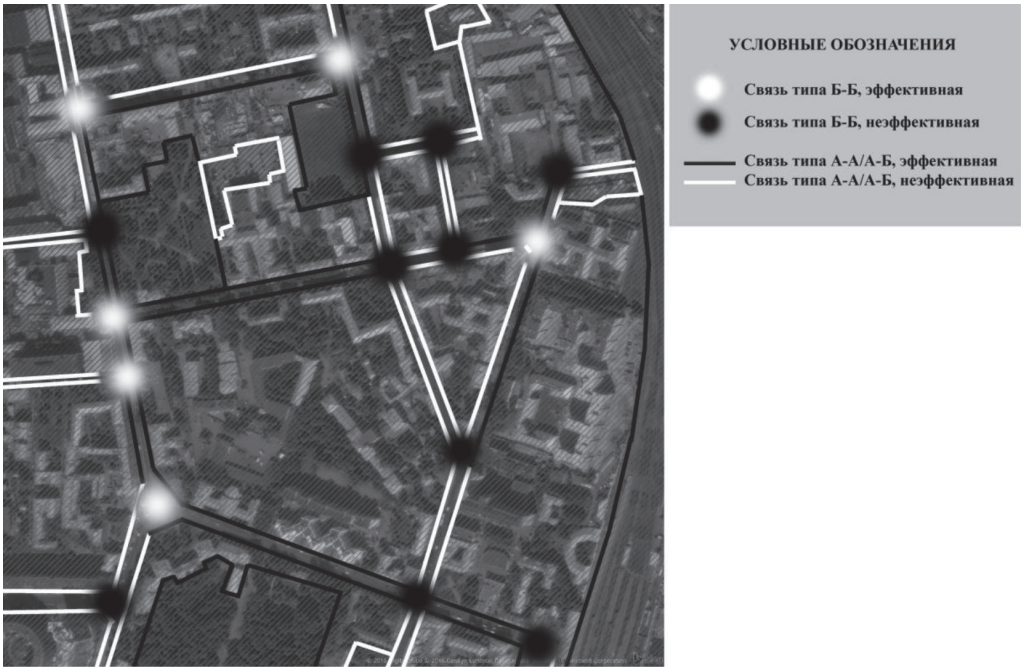


Рис. 1. Выделение различных видов биотопов и оценка качества связей между ними

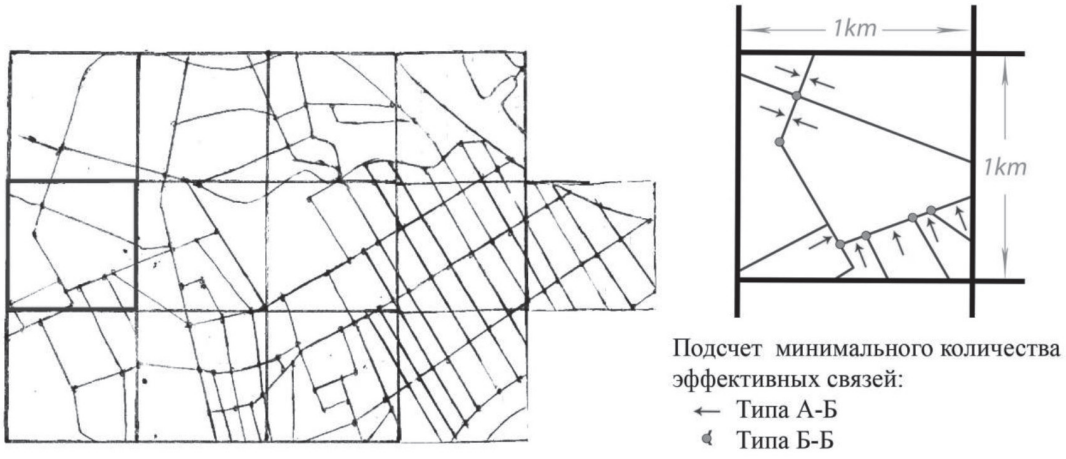


Рис. 2. Анализ снимков для определения необходимого количества эффективных связей каждого типа

Таким образом, если на втором этапе анализа выясняется, что доля эффективных связей типа Б-Б ниже 69,5 %, и/или доля эффективных связей типа А-Б ниже 40,3 %, делается вывод о том, что степень связанности ландшафтов низкая. В таком случае существующих связей недостаточно, чтобы поддержать нормальное функционирование биотопов на заданном участке.

Методика была апробирована на примере города Санкт-Петербурга [10] и доказала простоту и эффективность использования.

Выводы

Основой предлагаемой авторами методики является метод, разработанный Кристофером Янгом и Питером Джарвисом, которые рассматривают зеленую инфраструктуру города как систему, состоящую из двух основных элементов – площадных и линейных (соединительных) объектов. При разработке новой методики также использовался коэффициент площади биотопа (BAF): отношение экологически эффективных площадей к общей площади объекта.

Таблица 3

Расчет необходимого количества эффективных связей

Снимок, № п/п	Кол-во биотопов		Кол-во связей				Минимальное кол-во эффективных связей			Доля необходимых эффективных связей от общего числа связей,%			Доля всех необходимых эффективных связей от общего числа связей,%
	Тип А	Тип Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Всего	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	
1	6	5	0	4	14	18	0	3	7	0,0	75,0	50,0	55,6
2	5	4	0	3	10	13	0	3	5	0,0	100,0	50,0	61,5
3	6	5	0	3	11	14	0	3	5	0,0	100,0	45,5	57,1
4	6	5	0	3	13	16	0	2	6	0,0	66,7	46,2	50,0
5	6	4	0	3	14	17	0	2	6	0,0	66,7	42,9	47,1
6	7	6	0	4	17	21	0	4	8	0,0	100,0	47,1	57,1
7	6	4	0	3	14	17	0	3	6	0,0	100,0	42,9	52,9
8	7	5	0	4	14	18	0	3	8	0,0	75,0	57,1	61,1
9	4	3	0	2	16	18	0	2	4	0,0	100,0	25,0	33,3
10	7	4	1	2	13	16	0	2	7	0,0	100,0	53,8	56,3
11	5	5	0	4	12	16	0	2	5	0,0	50,0	41,7	43,8
12	6	5	0	3	15	18	0	3	6	0,0	100,0	40,0	50,0
13	11	9	0	10	28	38	0	6	11	0,0	60,0	39,3	44,7
14	10	7	2	3	17	22	0	2	10	0,0	66,7	58,8	54,5
15	10	8	0	9	26	35	0	4	12	0,0	44,4	46,2	45,7
16	10	7	0	9	29	38	0	4	9	0,0	44,4	31,0	34,2
17	15	11	0	9	46	55	0	9	15	0,0	100,0	32,6	43,6
18	13	10	0	11	39	50	0	8	14	0,0	72,7	35,9	44,0
19	7	4	0	4	17	21	0	4	7	0,0	100,0	41,2	52,4
20	7	4	0	4	16	20	0	4	6	0,0	100,0	37,5	50,0
21	10	5	0	5	26	31	0	5	10	0,0	100,0	38,5	48,4
22	8	6	0	5	23	28	0	5	8	0,0	100,0	34,8	46,4
23	10	9	0	7	29	36	0	7	10	0,0	100,0	34,5	47,2
24	7	4	0	4	14	18	0	4	7	0,0	100,0	50,0	61,1
25	8	4	0	4	26	30	0	3	9	0,0	75,0	34,6	40,0
26	12	7	0	10	33	43	0	6	12	0,0	60,0	36,4	41,9
27	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
28	4	3	0	2	8	10	0	2	4	0,0	100,0	50,0	60,0
29	10	6	0	6	25	31	0	4	11	0,0	66,7	44,0	48,4
30	12	9	0	10	31	41	0	6	12	0,0	60,0	38,7	43,9
31	14	9	3	10	34	47	0	6	16	0,0	60,0	47,1	46,8
32	9	9	0	9	26	35	0	5	10	0,0	55,6	38,5	42,9
33	10	9	0	9	25	34	0	6	13	0,0	66,7	52,0	55,9
34	11	9	0	10	27	37	0	6	10	0,0	60,0	37,0	43,2
35	18	10	0	13	56	69	0	8	26	0,0	61,5	46,4	49,3
36	16	9	0	13	47	60	0	6	22	0,0	46,2	46,8	46,7
37	8	6	0	5	18	23	0	4	8	0,0	80,0	44,4	52,2
38	16	8	0	13	48	61	0	8	18	0,0	61,5	37,5	42,6
39	17	13	0	18	54	72	0	11	19	0,0	61,1	35,2	41,7
40	17	10	0	12	50	62	0	7	24	0,0	58,3	48,0	50,0
41	10	8	0	8	28	36	0	5	12	0,0	62,5	42,9	47,2
42	6	5	0	5	13	18	0	3	5	0,0	60,0	38,5	44,4
43	11	7	0	8	29	37	0	5	12	0,0	62,5	41,4	45,9
44	10	7	0	10	27	37	0	4	12	0,0	40,0	44,4	43,2
45	9	8	0	8	26	34	0	6	10	0,0	75,0	38,5	47,1
46	9	8	0	7	25	32	0	6	9	0,0	85,7	36,0	46,9

Окончание табл. 3

Снимок, № п/п	Кол-во биотопов		Кол-во связей				Минимальное кол-во эффективных связей			Доля необходимых эффективных связей от общего числа связей, %			Доля всех необходимых эффективных связей от общего числа связей, %
	Тип А	Тип Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Всего	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	Тип А-А	Тип Б-Б	Тип А-Б	
47	11	7	0	6	29	35	0	5	11	0,0	83,3	37,9	45,7
48	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
49	6	4	0	5	12	17	0	2	6	0,0	40,0	50,0	47,1
50	22	14	0	22	72	94	0	12	25	0,0	54,5	34,7	39,4
51	11	9	0	10	35	45	0	5	12	0,0	50,0	34,3	37,8
52	6	4	0	3	13	16	0	3	6	0,0	100,0	46,2	56,3
53	26	12	0	21	84	105	0	13	30	0,0	61,9	35,7	41,0
54	6	5	0	7	17	24	0	3	6	0,0	42,9	35,3	37,5
55	6	6	0	4	16	20	0	2	6	0,0	50,0	37,5	40,0
56	14	8	0	12	37	49	0	6	17	0,0	50,0	45,9	46,9
57	7	7	0	6	14	20	0	2	5	0,0	33,3	35,7	35,0
58	9	5	0	5	24	29	0	4	10	0,0	80,0	41,7	48,3
59	6	4	0	2	12	14	0	2	5	0,0	100,0	41,7	50,0
60	7	6	0	6	16	22	0	4	6	0,0	66,7	37,5	45,5
61	6	5	0	5	15	20	0	3	6	0,0	60,0	40,0	45,0
62	8	5	0	5	19	24	0	3	9	0,0	60,0	47,4	50,0
63	5	6	0	4	13	17	0	2	6	0,0	50,0	46,2	47,1
64	5	3	0	2	11	13	0	2	5	0,0	100,0	45,5	53,8
65	9	7	0	7	24	31	0	4	10	0,0	57,1	41,7	45,2
66	6	4	0	1	11	12	0	1	4	0,0	100,0	36,4	41,7
67	8	6	0	6	21	27	0	4	8	0,0	66,7	38,1	44,4
68	5	3	0	1	10	11	0	1	4	0,0	100,0	40,0	45,5
69	8	5	0	4	19	23	0	3	8	0,0	75,0	42,1	47,8
70	7	4	0	4	18	22	0	3	8	0,0	75,0	44,4	50,0
71	9	9	0	8	30	38	0	5	10	0,0	62,5	33,3	39,5
72	9	7	0	6	22	28	0	6	9	0,0	100,0	40,9	53,6
73	9	6	0	6	24	30	0	5	10	0,0	83,3	41,7	50,0
74	3	2	0	1	4	5	0	1	2	0,0	100,0	50,0	60,0
75	8	6	0	9	20	29	0	5	8	0,0	55,6	40,0	44,8
76	7	3	0	3	16	19	0	3	6	0,0	100,0	37,5	47,4
Выборочное среднее										–	74,2	41,7	47,7
Выборочная дисперсия										–	429,1	37,9	40,1
Верхняя граница доверительного интервала										–	78,8	43,1	49,1
Нижняя граница доверительного интервала										–	69,5	40,3	46,2

На спутниковых снимках с наиболее характерной для заданной местности пространственной структурой, конфигурацией дорожно-транспортной сети и застройки, долей открытых пространств выделялись участки размером 1 км × 1 км. На выделенных участках осуществлялся двухэтапный анализ. Степень влияния фрагментации ландшафтов на биотопы оценивалась на первом этапе, качество связей между биотопами анализировалась на втором.

В результате разработанная методика позволяет провести комплексную оценку связанности ландшафтов с минимальным количеством исходных данных, что облегчает интерпретацию результатов и расширяет возможности практического применения. При этом методика может быть легко адаптирована к местным условиям за счет изменения критериев для оценки эффективности связей, уменьшения или увеличения размеров и разрешения спутниковых сним-

ков. Для увеличения точности вычислений спутниковые снимки можно заменить материалами топографической съемки.

Список литературы

1. McGarigal K., Cushman S., Regan C. Quantifying Terrestrial Habitat Loss and Fragmentation: A Protocol. Amherst: Department of Natural Resources Conservation, University of Massachusetts, 2005. – 113 c.

2. Braaker S., Obrist M.K., Bontadina F., Moretti M. Urban connectivity. ENHANCE. Enhancing ecosystem connectivity through intervention – benefits for nature and society? Final Report. Swiss Federal Research Institute WSL. Birmensdorf. – 2012. – P. 57–62.

3. Llausàs A., Nogué J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach // Ecological Indicators. – 2012. – vol. 15. no. 1. – P. 85–91.

4. Young C.H., Jarvis P.J. Measuring urban habitat fragmentation: an example from the Black Country, UK. Landscape Ecology. – 2001. – vol. 16. – P. 643–658.

5. Landschaft: Planen & Bauen + Becker Giseke Mohren Richard. The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter. Berlin, 1990. https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BFF_Gutachten_1990_eng.pdf (дата обращения: 30.01.2018).

6. Kopetzki S. Berlin: The Biotope Area Factor. Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies / ed. by Kazmierczak A., Carter J. Manchester: University of Manchester; 2010. http://orca.cf.ac.uk/64906/1/Database_Final_no_hyperlinks.pdf (дата обращения: 30.01.2018).

7. Шорохова И.С. Статистические методы анализа / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. – 300 с.

8. Ignatieva M., Stewart G.H., Meurk C., Planning and design of ecological networks in urban areas // Landscape Ecol Eng. – 2011. – № 7. – P. 17–25.

9. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation // Ecology Letters. – 2015. – vol. 18, № 6. – P. 581–592.

10. Sevrugova J. Estimating the landscape connectivity in urban areas: an example from St Petersburg, Russia // Conference proceedings. Innovation School Sprungbrett International Students Conference; 2016 May 9–10. – Ljubljana, 2016. – P. 122–127.

References

1. McGarigal K., Cushman S., Regan C. Quantifying Terrestrial Habitat Loss and Fragmentation: A Protocol. Amherst: Department of Natural Resources Conservation, University of Massachusetts, 2005, 113.

2. Braaker S., Obrist M.K., Bontadina F., Moretti M. Urban connectivity. ENHANCE. Enhancing ecosystem connectivity through intervention – benefits for nature and society? Final Report. Swiss Federal Research Institute WSL. Birmensdorf, 2012, pp. 57–62.

3. Llausas A., Nogue J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. . Ecological Indicators, 2012, vol. 1, no. 15, pp. 85–91.

4. Young C.H., Jarvis P.J. Measuring urban habitat fragmentation: an example from the Black Country, UK. Landscape Ecology, 2001, no. 16, pp. 643—658.

5. Landschaft: Planen & Bauen + Becker Giseke Mohren Richard. The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter. Berlin, 1990. https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BFF_Gutachten_1990_eng.pdf (accessed 30.01.2018).

6. Kopetzki S. Berlin: The Biotope Area Factor In: Kazmierczak A., Carter J. editors. Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies. University of Man-chester; 2010, p. 79–87. http://orca.cf.ac.uk/64906/1/Database_Final_no_hyperlinks.pdf (accessed 30.01.2018).

7. Sevrugova J. Estimating the landscape connectivity in urban areas: an example from St Petersburg, Russia . Proceedings of the Innovation School Sprungbrett International Students Conference (Ljubljana, May 9–10, 2016), University of Ljubljana, 2016, pp. 122–127.

8. Shorokhova I.S., Kisliak N.V., Mariev O.S. Statistricheskie metody analiza [Statistical methods of analysis]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2015, 300.

9. Ignatieva M., Stewart G.H., Meurk C. Planning and design of ecological networks in urban areas. Landscape Ecol Eng, 2011, no. 7, pp. 17–25.

10. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. Ecology Letters, 2015, vol. 18, no. 6, pp. 581–592.

УДК 556

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И АРХИТЕКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРСЕПТРОНОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ ОЗЕР

Баклагин В.Н.

Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, e-mail: slava.baklagin@mail.ru

В статье приведен метод прогнозирования ледовитости озер многослойными персептронами на основе исторических данных о ледовитости озер на примере Онежского озера. Данный метод имеет преимущества по сравнению с традиционными методами для определения ледовитости озер, в частности применение термогидродинамических моделей: гибкость в адаптации к конкретным озерам, не требуется сбора большого количества разнообразной исходной информации. В качестве исходных материалов в работе использован суточный ряд ледовитости Онежского озера за период 2004–2017 гг., полученный анализом спутниковых данных о ледовой обстановке северного полушария планеты с пространственным разрешением 4 км. На основе корреляционного анализа данного ряда обоснованы параметры входных сигналов многослойных персептронов для прогнозирования ледовитости озер и сформированы обучающие и контрольные выборки. Результаты обучения многослойных персептронов для прогнозирования ледовитости Онежского озера показали, что наименьшие средние значения среднеквадратических ошибок за последнюю тренировочную эпоху имеют персептроны с архитектурами: 3–2–1 – в фазу замерзания ($\overline{\text{MSE}} = 0{,}0155$), 3–6–1 – в фазу вскрытия ($\overline{\text{MSE}} = 0{,}0105$). Тестированием на контрольных выборках доказано, что многослойные персептроны позволяют осуществлять более адекватное и надежное прогнозирование ледовитости Онежского озера (среднеквадратическая ошибка прогноза: 0,0076) в сравнении со статистическими методами прогнозирования, такими как линейная регрессия, скользящее среднее, авторегрессионные анализы первого и второго порядков. Показано, что абсолютные отклонения прогнозируемых персептронами и фактических значений ледовитости при значительном изменении ледовитости за короткое время (> 0,1/день) также являются не всегда удовлетворительными (Δ > 0,2/день).

Ключевые слова: фаза замерзания, фаза вскрытия, Онежское озеро, обучающая выборка, статистические методы

SELECTION OF PARAMETERS AND ARCHITECTURE OF MULTILAYER PERCEPTRONS FOR PREDICTING ICE COVERAGE OF LAKES

Baklagin V.N.

Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: slava.baklagin@mail.ru

The paper presents a method for predicting ice coverage of lakes by means of multilayer perceptrons. This approach is based on historical data on the ice coverage of lakes taking Lake Onega as an example. This method has advantages over traditional methods for determining ice cover of lakes, in particular, the use of thermohydrodynamic models: flexibility in adaptation to specific lakes, it is not required to collecting of a large amount of diverse input information. The daily time series of ice coverage of Lake Onega for 2004-2017 was collected by means of satellite data analysis of snow and ice cover of the Northern Hemisphere. Input signals parameters for the multilayer perceptrons aimed at predicting ice coverage of lakes are based on the correlation analysis of this time series. The results of training of multilayer perceptrons showed that perceptrons with architectures of 3-2-1 within the Freeze-up phase (arithmetic mean of the mean square errors for training epoch $\overline{\text{MSE}} = 0{,}0155$) and 3-6-1 within the Break-up phase ($\overline{\text{MSE}} = 0{,}0105$) have the least mean-squared error for the last training epoch. Tests within the holdout samples prove that multilayer perceptrons give more adequate and reliable prediction of the ice coverage of Lake Onega (mean-squared prediction error MSPE = 0.0076) comparing with statistical methods such as linear regression, moving average, autoregressive analyses of the first and second order. Therefore the coverage changes significantly within a short period of time (> 0,1/day) the absolute deviations predicted by perceptrons from the actual values of ice coverage are not always satisfactory as well (Δ > 0,2/day).

Keywords: Freeze-up phase, Break-up phase, Lake Onega, training sample, statistical methods

В настоящее время разработаны математические модели, которые широко используются для воспроизведения термогидродинамики озер, такие как POM, NEMO [1], ECOM, ELCOM и другие [2–4], в том числе и для моделирования ледовых явлений. Однако перечисленные модели сложны и не обладают достаточной гибкостью в адаптации к конкретным озерам, а также требуют сбора большого количества разнообразной исходной информации, что затрудняет их использование при моделировании и прогнозировании ледовитости озер.

Для прогнозирования временных рядов, в том числе показателя ледовитости озер, могут применяться статистические методы, основанные на применении вероятностных моделей, таких как регрессионные, авторегрессионные (ARIMAX, ARHCH), экс-

поненциального сглаживания и другие [5]. Данные методы просты, поскольку для их применения не нужно математическое описание происходящих физических процессов в озере. Однако перечисленные методы не предназначены для моделирования нелинейных процессов, поскольку дают большие погрешности. Поэтому они являются непригодными для прогнозирования ледовитости озер.

Для решения задач, связанных с прогнозированием нелинейных процессов, хорошие результаты на основе некоторой обучающей выборки показывают искусственные нейронные сети [6]. Преимуществами данного метода является гибкость, адаптивность, простота применения, высокая точность прогноза.

В связи с этим целью данного исследования является обоснование параметров многослойных персептронов (являются частным случаем искусственной нейронной сети прямого распространения) для прогнозирования ледовитости озер на примере Онежского озера. Основными задачами исследования являются:

1. Формирование обучающих и контрольных выборок на основе суточных рядов показателей ледовитости Онежского озера за периоды 2004–2016 гг. и 2016–2017 гг. соответственно.

2. Выбор оптимальной архитектуры и параметров многослойных персептронов для прогнозирования ледовитости Онежского озера и их обучение.

3. Тестирование обученных персептронов, а также статистических методов прогнозирования на контрольных выборках в сравнении с фактическими значениями ледовитости.

Материалы и методы исследования

Ледовый режим озер, как правило, состоит из трех фаз: замерзание, ледостав, вскрытие, на каждой из которых динамика значений ледовитости имеет свои особенности (рост, снижение или стагнация значений). В данном исследовании рассматривались две фазы ледового режима: замерзание и вскрытие, поскольку в фазу ледостава площадь ледовых образований практически не изменяется. Причем обоснование параметров персептронов для прогнозирования ледовитости осуществлялось отдельно для каждой рассматриваемой фазы ледового режима. Это позволило существенно оптимизировать процесс обучение каждого персептрона.

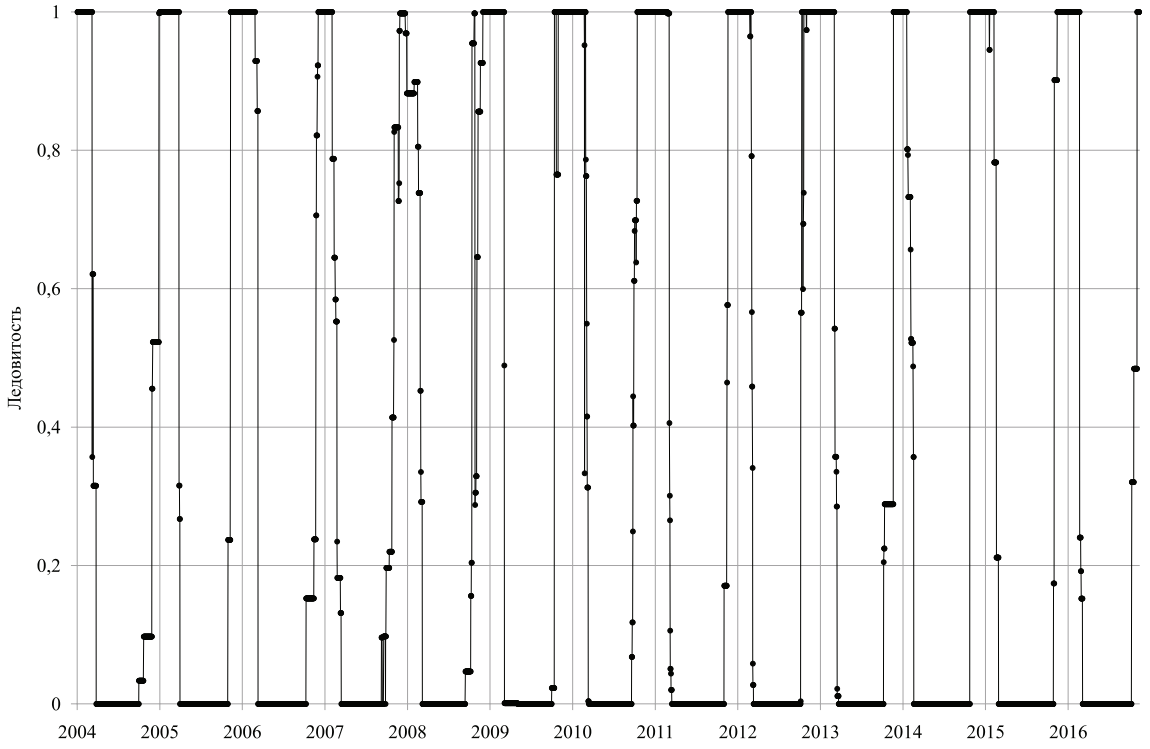


Рис. 1. Ледовитость Онежского озера по данным спутниковых наблюдений за период 2004–2017 гг.

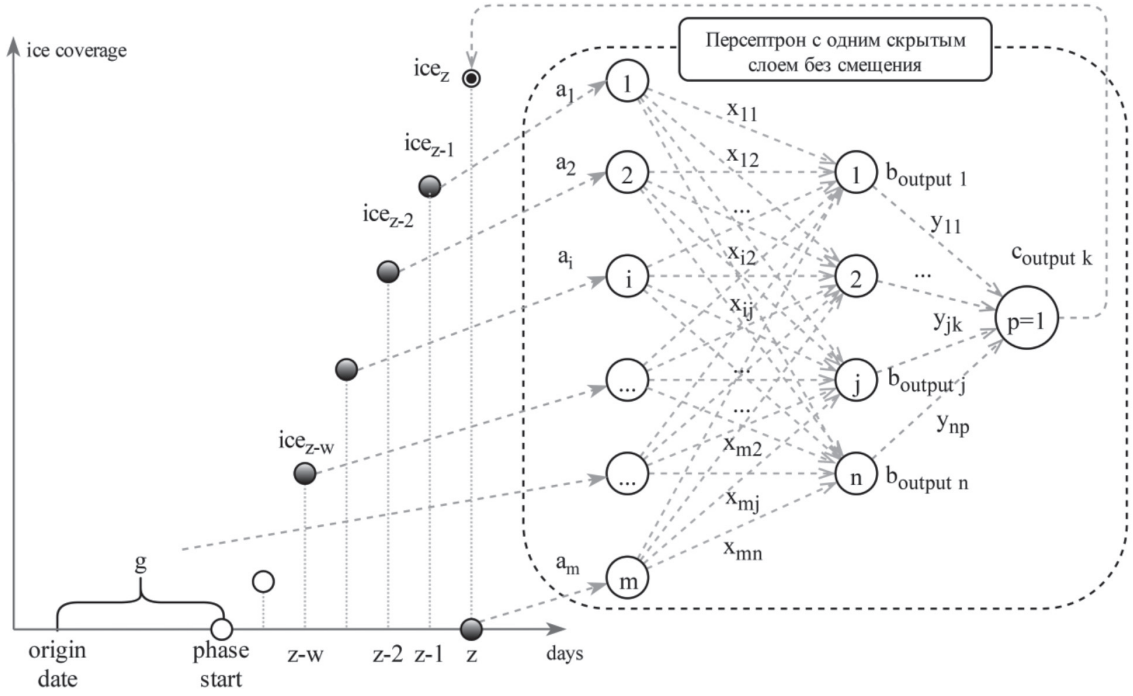


Рис. 2. Схема применения многослойного персептрона для прогнозирования ледовитости озер на основе предшествующих значений

В качестве натурной основы для получения суточных рядов показателей ледовитости Онежского озера использован банк данных спутниковых наблюдений (платформы AQUA, TERRA, NOAA – 14,15,16,17,18, GOES – 9,10,11,13 и др.) о ледовой обстановке северного полушария с пространственным разрешением 4 км. Наблюдения в данном режиме ведутся с 2004 г. по настоящее время с временным шагом – 1 день (http://nsidc.org/data/G02156). В результате автоматизированного анализа [7] используемых спутниковых данных с идентификацией координат акватории Онежского озера рассчитаны значения ледовитости за каждый день периода 2004–2017 гг. (рис. 1), а также разделены по фазам ледового режима.

По рис. 1 можно заключить, что Онежское озеро ежегодно полностью покрывается льдом и полностью освобождается от него, в связи с чем поведение функции ледовитости от времени $f_{ice}(t)$ имеет циклический характер с предельными значениями от 0 до 1. Такое поведение функции $f_{ice}(t)$ позволяет избежать нормирования входных и выходных сигналов персептронов, обусловленных значениями ледовитости озера.

Общий алгоритм работы персептронов для прогнозирования ледовитости озер

В настоящем исследовании использовались многослойные персептроны с одним скрытым слоем без смещения (рис. 2). Архитектура таких персептронов представлена тремя слоями: входной слой с числом нейронов (m), скрытый слой с числом нейронов (n) и выходной слой с числом нейронов (p).

Работа многослойных персептронов заключается в передаче сигналов от нейронов предыдущего слоя к нейронам последующего посредством синаптических связей, которые имеют определенные веса, разные для каждой пары нейронов. Общий алгоритм работы нейронной сети данного типа заключается в следующем (рис. 2):

1. На входные нейроны поступает сигнал $a = [a_1, a_2, \ldots a_i, \ldots a_m]$. Посредством установленных весов синаптических связей сигналы от каждого входного нейрона преобразуются, суммируются и подаются в нейроны скрытого слоя в качестве входного сигнала: $b_{input\ j} = \sum_{i=1}^{m} a_i \cdot x_{ij}$, где x_{ij} – вес синаптической связи между i-м нейроном входного слоя и j-м нейроном скрытого слоя, $i = 1..m$, $j = 1..n$.

2. В каждом нейроне скрытого слоя сигнал преобразуется посредством активационной функции $b_{output\ j} = f_a\left(b_{input\ j}\right)$. Аналогичным образом сигналы от нейронов скрытого слоя преобразуются, суммируются и подаются нейронам последующего (выходного) слоя: $c_{input\ k} = \sum_{j=1}^{n} b_{output\ j} \cdot y_{jk}$, где y_{jk} – вес синаптической связи между *j*-м нейроном скрытого слоя и *k*-м нейроном выходного слоя, $k = 1..p$.

3. В каждом нейроне выходного слоя сигнал преобразуется активационной функцией: $c_{output\ k} = f_a\left(c_{input\ k}\right)$. Далее результат интерпретируется.

Алгоритм и параметры обучения многослойных персептронов для прогнозирования ледовитости озер

Обучение многослойных персептронов в данном исследовании осуществлялось методом обратного распространения ошибки с использованием учителя [8]. Метод обратного распространения ошибки предполагает использование некоторой обучающей выборки, состоящей из набора тренировочных сетов (входных и соответствующих им выходных сигналов). При этом для обучения формируются тренировочные эпохи, которые включают тренировочные сеты данной выборки, перемешанные случайным образом для каждой эпохи. Процесс обучения персептронов осуществляется в несколько тренировочных эпох, для каждой из которых выполняется несколько итераций. Число итераций соответствует числу тренировочных сетов, входящих в состав тренировочной эпохи. Каждая итерация включает в себя следующие процедуры:

1. Из тренировочной эпохи выбирается тренировочный сет, который состоит из массива входных сигналов $a = \left[a_1, a_2, \ldots a_i, \ldots a_m\right]$ и массива целевых значений (учителя) $t = \left[t_1, t_2, \ldots t_k, \ldots t_p\right]$.

2. Для каждого нейрона выходного слоя рассчитываются значения выходного сигнала $c_{output\ k}$, а также локальный градиент по формуле $\sigma_k = e_k \cdot f_a^{'}\left(c_{input\ k}\right)$, где e_k – сигнал ошибки, вычисляется по формуле: $e_k = t_k - c_{output\ k}$. Помимо этого вычисляется величина корректировки веса синаптической связи: $\delta y_{jk} = \alpha \cdot \sigma_k \cdot b_{output\ j}$, где α – скорость обучения персептрона.

3. Для каждого нейрона скрытого слоя рассчитывается локальный градиент по формуле: $\sigma_j = f_a^{'}\left(b_{input\ j}\right) \cdot \sum_{k=1}^{p} \sigma_k \cdot y_{jk}$, а также величина корректировки веса синаптической связи: $\delta x_{ij} = \alpha \cdot \sigma_j \cdot a_{output\ i}$.

4. Вес каждой синаптической связи персептрона изменяется за счет прибавления соответствующего корректировочного значения: $x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \delta x_{ij}$, $y_{ij}^{new} = y_{ij}^{old} + \delta y_{ij}$.

После прохождения каждого тренировочного сета в процессе обучения персептрона рассчитывалась среднеквадратическая ошибка отклика по отношению к учителю *MSE*. Для каждой тренировочной эпохи рассчитывалось среднее арифметическое значение среднеквадратических ошибок $\overline{MSE}$. Критерием останова обучения являлось условие [6]:

$$\frac{\left|\overline{MSE}_{ep} - \overline{MSE}_{ep-1}\right|}{\overline{MSE}_{ep-1}} \cdot 100\% \le 0{,}01\%,$$

где *ep* – номер текущей тренировочной эпохи.

Скорость обучения α выбрана опытным путем: α = 0,001.

Начальные веса синаптических связей нейронов выбирались случайным образом из равномерного распределения с математическим ожиданием, равным 0, и дисперсией, которая определяется формулой [8]: $D = \frac{1}{\sqrt{s}}$, где *s* – количество синаптических связей нейрона. С учетом формулы дисперсии равномерного распределения: $D = \frac{(u-v)^2}{12}$, где *u*, *v* – соответственно верхняя и нижняя границы интервала, а также с учетом того, что математическое ожидание равно 0, интервал имеет следующий вид: $\left[-\sqrt{\frac{3}{\sqrt{s}}}; +\sqrt{\frac{3}{\sqrt{s}}}\right]$.

Формирование обучающих и контрольных выборок

Тренировочные сеты в виде входных и соответствующих им выходных сигналов формировались в обучающие выборки отдельно для фаз замерзания и вскрытия на основе суточного ряда показателя ледовитости Онежского озера за период 2004–2016 гг.

Наряду с обучающими выборками формировались контрольные выборки отдельно для фаз замерзания и вскрытия, которые также включали входные и соответствующие им выходные сигналы, основанные на суточном ряде показателя ледовитости Онежского озера за период 2016–2017 гг.

В настоящем исследовании в качестве входных сигналов принимались значения

ледовитости, предшествующие прогнозируемому значению ice_z, где z – порядковый номер дня с момента начала рассматриваемой фазы ледового режима, на который выполняется прогноз (рис. 2). Корреляционный анализ суточного ряда показателя ледовитости Онежского озера за период 2004–2016 гг. показал сильную связь (коэффициент парной корреляции $r = 0{,}7–0{,}92$) между значениями ice_{z-d} и ice_z, где d – число дней, предшествующее прогнозируемому дню ($d = 1–9$). Также установлено, что порядковый номер дня с момента начала рассматриваемой фазы ледового режима является так же значимым фактором (сила корреляционной связи составляет: в фазу замерзания $r = 0{,}32...0{,}9$, в фазу вскрытия $r = –0{,}55…–0{,}96$). Помимо этого установлено, что длительность временного интервала g между некой фиксированной датой *origin date* и началом фазы *phase start* (рис. 2) имеет значимую корреляционную связь с длительностью фазы: для фазы замерзания $r = –0{,}56$, для фазы вскрытия $r = –0{,}94$. В данном исследовании фиксированная дата *origin date* соответствует самому раннему за период 2004–2016 гг. началу фазы ледового режима Онежского озера: для фазы замерзания – 9 ноября, для фазы вскрытия – 28 февраля.

При этом для оптимальной работы персептронов все входные сигналы должны быть нормализованы в промежутке [0; 1]. Значения ледовитости удовлетворяют условию нормализации, а входной сигнал, соответствующий порядковому номеру дня от момента начала рассматриваемой фазы ледового режима z, в данном исследовании нормировался соотношением

$$h_z = \begin{cases} \dfrac{z}{l}, z \le l \\ 1, z > l \end{cases},$$

где l – максимальное значение длительности рассматриваемой фазы ледового режима за имеющийся временной период, в днях (для фаз замерзания и вскрытия Онежского озера за период 2004–2016 гг. составляет 80 и 71 день соответственно).

Входной сигнал, соответствующий длительности временного интервала g, также нормировался соотношением

$$h_g = \begin{cases} \dfrac{g}{l}, g \le q \\ 1, g > q \\ 0, g < 0 \end{cases},$$

где q – максимальное значение длительности временного интервала g для рассматриваемой фазы за имеющийся временной период (для фаз замерзания и вскрытия Онежского озера за период 2004–2016 гг. составляет 56 и 81 день соответственно).

Таким образом, массив входных сигналов имеет вид

$$a_z = \left[ice_{z-w}, \ldots, ice_{z-2}, ice_{z-1}, h_z, h_g \right],$$

где ice – значение ледовитости озера; w – количество значений ледовитости, предшествующих прогнозируемому значению и подаваемых на вход искусственной нейронной сети (рис. 2). В данном исследовании w принималось равным 1, поскольку согласно эвристическим рекомендациям по улучшению работы сети, входные переменные должны быть не коррелированы [8]. В случае же с предшествующими значениями присутствует сильная корреляционная связь между значениями ice_{z-d-1} и ice_{z-d} ($r > 0{,}9$).

Массив выходных сигналов содержит прогнозируемое значение ледовитости на соответствующий день с момента начала фазы z и имеет вид

$$c_z = \left[ice_z \right].$$

Выбор параметров и архитектуры многослойных персептронов

Активационная функция подбиралась опытным путем. Наилучшие результаты при обучении персептронов показала функция гиперболического тангенса $f_a = \varphi \cdot tanh(\beta x)$ с параметрами $\varphi = 1{,}7159$, $\beta = 2/3$.

Количество нейронов входного слоя в данном исследовании определялось соотношением: $m = w + 2 = 3$. Количество нейронов выходного слоя обусловлено одним прогнозируемым значением ледовитости: $p = 1$. Количество нейронов скрытого слоя устанавливалось экспериментально в несколько шагов. На первом шаге обучался персептрон с наиболее простой архитектурой (3–2–1). На каждом последующем шаге обучался персептрон, который имел на один скрытый нейрон больше, чем персептрон на предыдущем шаге. При этом на каждом шаге рассчитывалось значение $\overline{MSE}$ для последней тренировочной эпохи. Если на текущем шаге данное значение было меньше, чем на предыдущем шаге, то выполнялся следующий шаг, в противном случае – процедура выбора оптимальной архитектуры персептрона заканчивалась, при этом выбирался

персептрон, обучавшийся на предыдущем шаге. На рис. 3 представлены графики зависимости $\overline{MSE}$ от номера тренировочной эпохи для персептронов с разным количеством нейронов в скрытом слое.

Наименьшие значения $\overline{MSE}$ в последней тренировочной эпохе при обучении показали персептроны с архитектурами: 3–2–1 – в фазу замерзания ($\overline{MSE} = 0,0155$), 3–6–1 – в фазу вскрытия ($\overline{MSE} = 0,0105$). Данные персептроны были выбраны для тестирования на контрольных выборках.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты тестирования персептронов с архитектурами 3–2–1 и 3–6–1 на контрольных выборках в сравнении с фактическими значениями представлены на рис. 4, а также показаны результаты прогнозирования различными статистическими методами: линейная регрессия, скользящее среднее, авторегрессии первого и второго порядков.

Статистический анализ результатов тестирования (среднеквадратическая ошибка прогнозируемых и фактических значений *MSE*, среднее значение абсолютных отклонений прогнозируемых и фактических значений *MAD*, максимальное абсолютное отклонение прогнозируемых и фактических значений Δ_{max}) различных методов прогнозирования ледовитости на контрольных выборках представлен в таблице.

Более достоверный прогноз ледовитости персептронов на обеих контрольных выборках по отношению к статистическим методам подтверждается наименьшим значением *MSE* (таблица). Однако следует отметить, что на обеих контрольных выборках значения *MAD* у статистических методов ниже, чем для персептронов. Это связано с тем, что на интервалах линейного поведения функции ледовитости от времени $f_{ice}(t)$ статистические методы могут давать более точный прогноз, чем персептроны (абсолютные отклонения прогнозируемых статистическими методами от фактических значений $\Delta \approx 0$). В особенности это актуально в случае, когда площадь ледовых образований остается постоянной. Однако на интервалах нелинейного поведения функции $f_{ice}(t)$ на обеих контрольных выборках статистические методы давали гораздо большие ошибки, чем персептроны. Об этом свидетельствуют максимальные значения абсолютных отклонений прогнозируемых и фактических значений ледовитости Δ_{max} (таблица).

В целом можно заключить, что многослойные персептроны позволяют осуществить более адекватное и надежное прогнозирование значений ледовитости озер, чем статистические методы, особенно когда функция $f_{ice}(t)$ ведет себя нелинейно, что является типичной ситуацией в большинстве случаев для озер. При этом на интервалах нелинейного поведения функции $f_{ice}(t)$ статистические методы дают неприемлемые ошибки прогноза ($\Delta > 0,3$).

Также следует отметить, что абсолютные отклонения прогнозируемых персептронами и фактических значений ледовитости при значительном изменении ледовитости за короткое время (>0,1/день) также являются не всегда удовлетворительными ($\Delta > 0,2$/день). Для решения этой проблемы необходимо исследовать дополнительные факторы, влияющие на показатель ледовитости озер, такие как, например, температура воздуха, воды, скорость ветра. Включение этих факторов в число входных сигналов персептронов значительно расширит их функционал.

Результаты тестирования методов прогнозирования ледовитости на контрольных выборках

Методы прогнозирования	Фаза замерзания			Фаза вскрытия			Общие MSE
	MSE	MAD	Δ_{max}	MSE	MAD	Δ_{max}	
Персептроны	0,0108	0,065	0,439	0,0015	0,027	0,116	0,0076
Линейная регрессия	0,0117	0,051	0,459	0,0017	0,026	0,123	0,0083
Скользящее среднее	0,0130	0,033	0,516	0,0023	0,024	0,152	0,0094
Авторегрессия первого порядка	0,0136	0,035	0,516	0,0025	0,026	0,152	0,0099
Авторегрессия второго порядка	0,0145	0,038	0,516	0,0028	0,028	0,152	0,0107

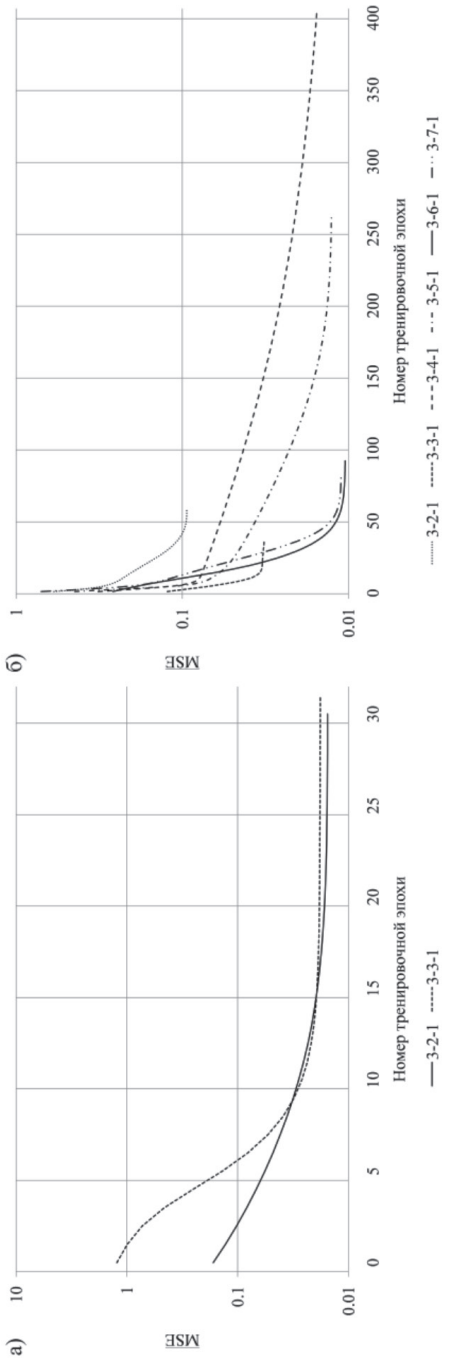


Рис. 3. Графики зависимости $\overline{MSE}$ от номера тренировочной эпохи при обучении для персептронов с разным количеством нейронов в скрытом слое: а) фаза замерзания; б) фаза вскрытия

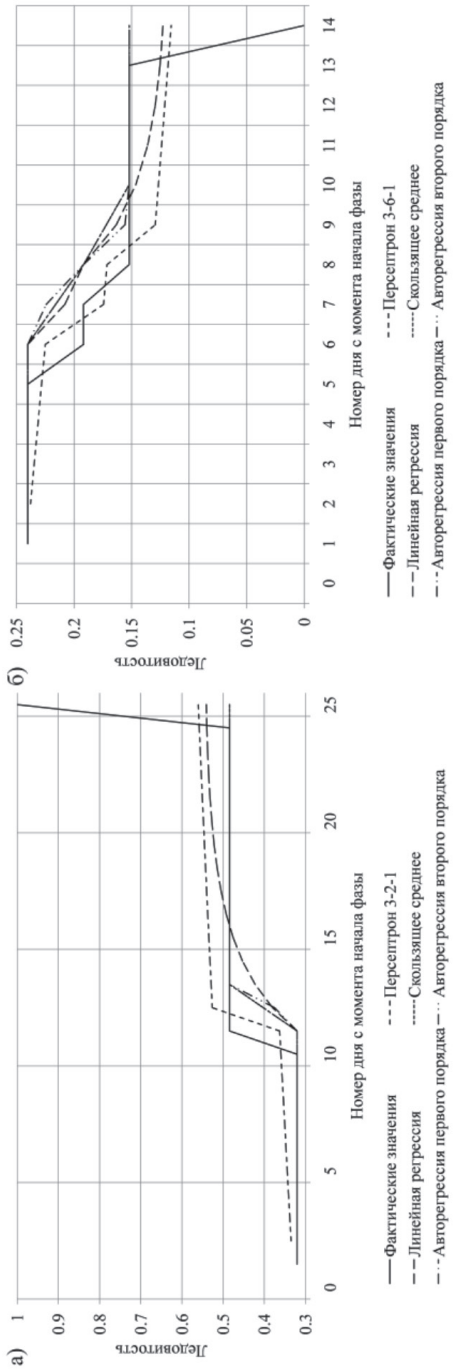


Рис. 4. Прогнозируемые и фактические значения ледовитости Онежского озера за период 2015–2016 гг. (контрольные выборки): а) фаза замерзания; б) фаза вскрытия

Выводы

В данном исследовании обоснованы параметры и архитектура многослойных персептронов для прогнозирования ледовитости Онежского озера в фазы замерзания и вскрытия. Экспериментально показано, что для прогнозирования ледовитости Онежского озера оптимальным является применение персептронов с архитектурами: 3–3–1 – в фазу замерзания и 3–6–1 – в фазу вскрытия. Эти персептроны показали адекватные результаты при тестировании на контрольных выборках: среднеквадратические ошибки составляют 0,0108 и 0,0015 в фазы замерзания и вскрытия соответственно. В результате тестирования в целом по всем контрольным выборкам было установлено, что по сравнению со статистическими методами персептроны имеют меньшее значение среднеквадратической ошибки прогноза ($MSE = 0{,}0076$), а также меньшее значение максимального абсолютного отклонения ($\Delta_{max} = 0{,}439$). В связи с этим можно заключить, что персептроны позволяют более адекватно прогнозировать показатель ледовитости озер, чем статистические методы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых МК-3379.2018.5.

Список литературы

1. Madec G. NEMO ocean engine // Note du Pole de modelisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, 2008. – No 27. – 150 p.

2. Dallimore C., Hodges B.R., Imberger J. Coupling an Underflaw Model to a Three Dimensional Hydrodynamic Model // J. Hydraulic Engineering. – 2003. – P. 748–757.

3. Menshytkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ecosystem modeling of freshwater lakes (Review): 1. Hydrodynamics of lakes // Water Resources. – 2013. – V. 40, Issue 6. – P. 606–620.

4. Menshytkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ecosystem modeling of freshwater lakes (Review): 2. Models of freshwater lake's ecosystem // Water Resources. – 2014. – V. 41, Issue 1. – P. 32–45.

5. George E.P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, Greta M. Ljung. Time series analysis: Forecasting and Control (5th Edition). – John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, 2015. – 712 p.

6. Howard B. Demuth, Mark H. Beale, Orlando De Jess, Martin T. Hagan. Neural Network Design (2nd Edition). – Martin T. Hagan, Oklahoma, 2014. – 800 p.

7. Баклагин В.Н. Совершенствование метода дешифрирования космических снимков больших озер на классы «вода» – «лед» // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23900 (дата обращения: 15.03.2018).

8. Simpn Haykin. Nueral Network: A Comprehensive Foundation (2nd Edition) – Pearson Education, Inc., London, 1999. – 823 p.

References

1. Madec G NEMO ocean engine. France, Note du Pole de modelisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), 2008, 150 p.

2. Dallimore C., Hodges B.R., Imberger J. Coupling an Underflaw Model to a Three Dimensional Hydrodynamic Model. J. Hydraulic Engineering, 2003, no. 10, pp. 748–757.

3. Menshytkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ecosystem modeling of freshwater lakes (Review): 1. Hydrodynamics of lakes. Water Resources, 2013, no. 6, pp. 606-620.

4. Menshytkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ecosystem modeling of freshwater lakes (Review): 2. Models of freshwater lake's ecosystem. Water Resources, 2014, no. 1, pp. 32-45.

5. George E.P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel Time series analysis: Forecasting and Control. Indianapolis, John Wiley and Sons, Inc., 2015, 712 p.

6. Howard B. Demuth, Mark H. Beale, Orlando De Jess, Martin T. Hagan Neural Network Design. Oklahoma, Martin T. Hagan, 2014, 800 p.

7. Baklagin V.N. Improvement of methods of satellite image interpretation large lakes in «water»-«ice» classes [Sovershenstvovanie metoda deshifrirovaniia kosmicheskikh snimkov bol'shikh ozer na klassy «voda»-«led»]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education, 2015, vol. 3, no. 2. available at: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23900. (accessed 15.03.2018).

8. Simpn Haykin Nueral Network: A Comprehensive Foundation. London, Pearson Education, Inc., 1999, 823 p.

УДК 550.424:551.464(470.11)

ЧЕТНЫЕ ИЗОТОПЫ УРАНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГРУППЫ МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: elenazy@yandex.ru

Целью исследования являлось изучение активности четных изотопов урана в поверхностных водах группы малых озер северо-запада Архангельской области. Задачами работы являлись: исследование пространственного распределения изотопов, выявление максимальных и минимальных значений активности радионуклидов, расчет соотношения активности изотопов и определение валовой концентрации урана в воде. Поскольку данные озера никогда не исследовались на содержание в них изотопов урана, впервые были получены уникальные данные о содержании ^{234}U и ^{238}U в поверхностных водах Кудьмозера, оз. Каменное, оз. Белое и оз. Кородское. Прикладным аспектом исследования является оценка базовой экологической ситуации в районе прилежащем к потенциальному источнику техногенной опасности в виде Северодвинского промышленного района. Для выполнения исследований была использована радиохимическая методика выполнения объемной активности изотопов урана ^{234}U и ^{238}U в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением, разработанная ВИМС им. Н.М. Федоровского. С помощью данной методики были определены активности изотопов урана в поверхностных водах озер. В результате данного исследования были выявлены различия в уровнях природной активности изотопов урана ^{234}U и ^{238}U, оценен уровень наличия ^{235}U и валовая концентрация изотопов урана в водах четырех малых озер. Для оз. Кудьмозеро на основе 17 точек отбора проб была построена карта распределения активности естественных изотопов урана и их концентрация. Были выявлены предполагаемые места разгрузки подземных вод. Определены максимальные и минимальные значения активности изотопов урана, характерные для каждого исследуемого озера. Дана оценка безопасности каждого озера по уровню альфа активности изотопов урана. В целом в ходе исследований получен интересный материал о содержании и активности изотопов урана в поверхностных водах.

Ключевые слова: изотопы урана, геоэкология, экологический мониторинг, изотопы в водах, радиохимические методы

EVOLUTIONARY ISOTOPES OF URANIUM IN SURFACE WATERS OF THE GROUP OF SMALL LAKES OF THE NORTHWEST OF THE ARKHANGELSK REGION

Zykova E.N., Zykov S.B., Yakovlev E.Yu., Larionov N.S.

Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS, Archangelsk, e-mail: elenazy@yandex.ru

The aim of the study was to study the activity of even uranium isotopes in surface waters of a group of small lakes in the northwest of the Arkhangelsk region. The objectives of the work were: the study of the spatial distribution of isotopes, the identification of maximum and minimum values of radionuclide activity, the calculation of the ratio of isotope activity and the determination of the total concentration of uranium in water. Since these lakes have never been investigated for the content of uranium isotopes in them, unique data on the content of ^{234}U and ^{238}U in the surface waters of lake Kudmozero, Kamennoye, Beloe and lake Korodskoe. An applied aspect of the study is the assessment of the basic ecological situation in the area of an industrial hazard adjacent to a potential source in the form of the Severodvinsk industrial region. To perform the studies, a radiochemical technique was used to perform the volumetric activity of uranium isotopes ^{234}U and ^{238}U in samples of natural waters by alpha spectrometric method with radiochemical isolation developed by VIMS them. N.M. Fedorovsky. Using this technique, the activity of uranium isotopes in surface waters of lakes was determined. As a result of this study, differences in the levels of natural activity of uranium isotopes ^{234}U and ^{238}U were detected, the level of ^{235}U and the total concentration of uranium isotopes in the waters of four small lakes were estimated. For the lake Kudmozero based on 17 sampling points, a map was constructed for the distribution of activity of natural uranium isotopes and their concentration. The all eged places of ground water discharge were identified. The maximum and minimum values of uranium isotope activity characteristic for each investigated lake are determined. An estimation of the safety of each lake in terms of the level of alpha activity of uranium isotopes In general, an interesting material on the content and activity of uranium isotopes in surface waters has been obtained in the course of research.

Keywords: uranium isotopes, geo-ecology, ecological monitoring, isotopes in waters, radiochemical methods

Материалы и методы исследования

Цели данной работы – изучить распределение, соотношение и концентрацию изотопов урана в поверхностных водах группы малых озер, находящихся на территории южнее Белого моря, сделать основу для дальнейшего мониторинга изменений активности изотопов урана в водах, выявления природных аномалий и мест разгрузки подземных вод. Большинство исследователей уделяют внимание крупным озерам, оказывающим значительное влияние на окружающую среду. Большие озера, такие как Байкал, Ладожское, Иссык-Куль,

являются центрами больших экосистем, источником воды для огромной территории тщательно изучаются и контролируются по многим показателям. Однако небольшие озера не менее интересны с точки зрения гидрологии, радиологии и геоэкологии. Малые озера также активно участвуют в геологических процессах, формировании и пространственном распределении концентраций урана и его изотопного состава. Все эти факторы озерной воды должны учитываться при прогнозе возможного изменения геологической среды, в том числе и под действием антропогенных факторов, тем более что данные озера находятся в непосредственной близости от центра атомного подводного судостроения в г. Северодвинске. Небольшие озера в меньшей степени изучены на предмет наличия четных изотопов урана и в особенности равновесия между ^{234}U и ^{238}U. Поскольку изотопные исследования такого рода никогда не проводились на данных озерах, они и были выбраны в качестве объекта для изучения.

Географически группа малых озер расположена на северо-западе Архангельской области, в 11 километрах от Двинского залива Белого моря и входит в водосбор беломорского бассейна. Группа озер включает в себя 4 озера и по площади поверхности они убывают в следующем порядке: озеро Кудьмозеро, Кородское, Белое и Каменное. Наиболее крупным среди них является озеро Кудьмозеро, которое имеет длину 4,5 км, а в ширину достигает 3,2 км, максимальная глубина до 6 м. Основанием озер служит север Русской плиты. Осадочный чехол в основном сформирован усть-пинежской свитой венда и имеет мощность от 20 до 100 м [1; 2]. Климат в районе озер умеренный морской, который формируется под воздействием воздушных масс Баренцева и Белого морей. За год выпадает 600–680 мм осадков. Для этой территории характерны высокая влажность воздуха и большое количество дней с осадками.

В течение двух лет, с 2016 по 2017 гг., в летний период было отобрано 34 пробы поверхностных природных вод с целью определения в них активности изотопов урана (рис. 1).

Первичная подготовка проб заключалась в отборе вод с поверхности озера, определении минерализации и консервации кислотами. В лабораторных условиях пробу объемом 10 л упаривали, вводили необходимое количество изотопной метки ^{232}U. Окрашенные гуминовыми веществами воды озер осветляли H_2O_2, концентрацией 32 %.

Радиохимическая обработка проб включала в себя стандартную аттестованную методику для определения объемной активности изотопов урана в водах, разработанную ВИМС им. Н.М. Федоровского, и предусматривала несколько этапов.

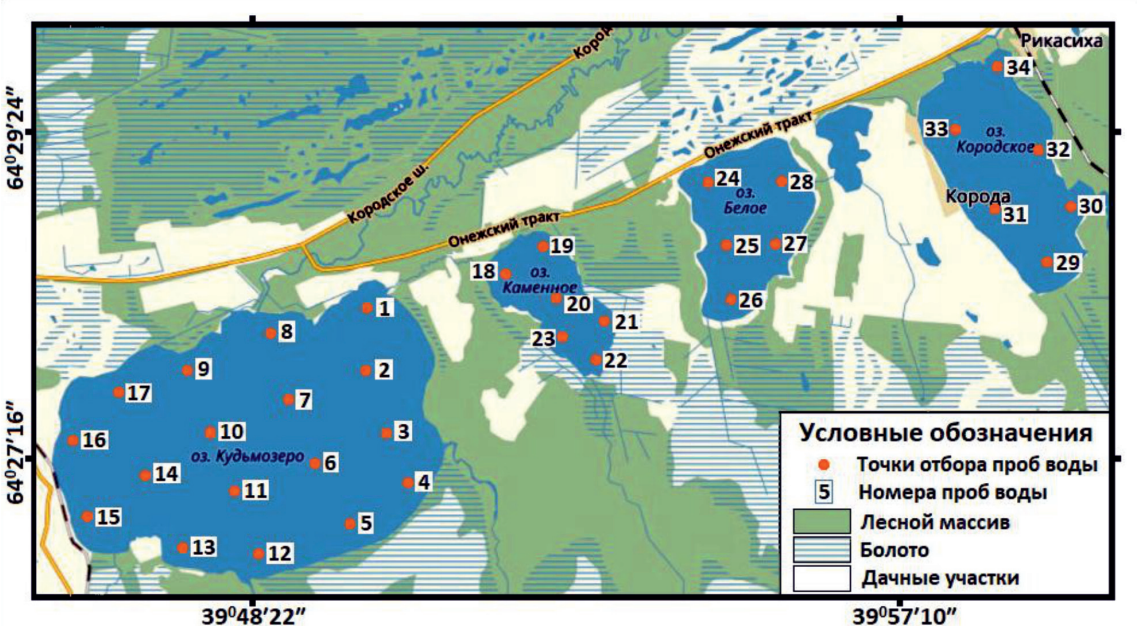


Рис. 1. Карта точек отбора проб воды с поверхности озер

Первично подготовленные пробы упаривались до 1 литра, и с помощью гидроокиси железа изотопы осаждались водным раствором аммиака, одновременно очищаясь от радионуклидов с близкими к урану энергиями распада [3].

Следующим этапом проводили экстракцию изотопов урана. Из полученного ранее азотнокислого раствора, свободного от изотопов ^{210}Po и ^{226}Ra, извлекали изотопы урана 30 % раствором трибутилфосфата в толуоле, одновременно избавляясь от мешающего изотопа ^{230}Th [3]. Следующей ступенью является реэкстракция урана, для чего органическую фазу промывают дистиллированной водой, в которую и переходят изотопы урана. Водный реэкстракт выпаривают досуха, прибавляют 5 мл концентрированной азотной кислоты для удаления следов органических веществ и снова выпаривают досуха [3].

Заключительная часть радиохимической подготовки пробы включает в себя электролитическое осаждение изотопов урана на подложку из нержавеющей стали. Сухой остаток растворяют в 0,5 М HNO_3, добавляют поочередно трилон Б, насыщенный раствор щавелевокислого аммония и 25 % раствор хлористого аммония, устанавливают pH = 9 и переводят в электролитическую ячейку. Осаждение проводят 30 минут на диск при токе 2А [3]. В качестве положительного электрода применяется платина, отрицательным электродом служит диск из нержавеющей стали. По окончании электролиза диск извлекают, промывают дистиллированной водой и сушат. Счетный образец готов к измерению. Измерение активности проводили в течение 60000 секунд на спектрометрическом комплексе «Прогресс альфа». Результаты обрабатывались в программном обеспечении «Progress 3.20».

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований озер и обработки данных проявились некоторые особенности распределения изотопов урана, отраженные на рис. 2. Активность изотопа ^{234}U в целом, по четырем озерам, колеблется от 0,0014 Бк/л до 0,0036 Бк/л. Активность изотопа ^{238}U изменяется в пределах от 0,0010 до 0,0023 Бк/л. Соотношение изотопов урана минимально в озере Белом и составляет 1,1 единиц, достигая максимальных значений в озере Каменном (более 3,3). Активность изотопа ^{235}U во всех пробах не превышает природного соотношения к четным изотопам урана, что указывает на отсутствие поступления его в воду из техногенных источников. Валовая концентрация изотопов урана изменяется в пределах от 0,84 до $1,83*10^{-7}$ г/л по данным масс-спектрометрических исследований.

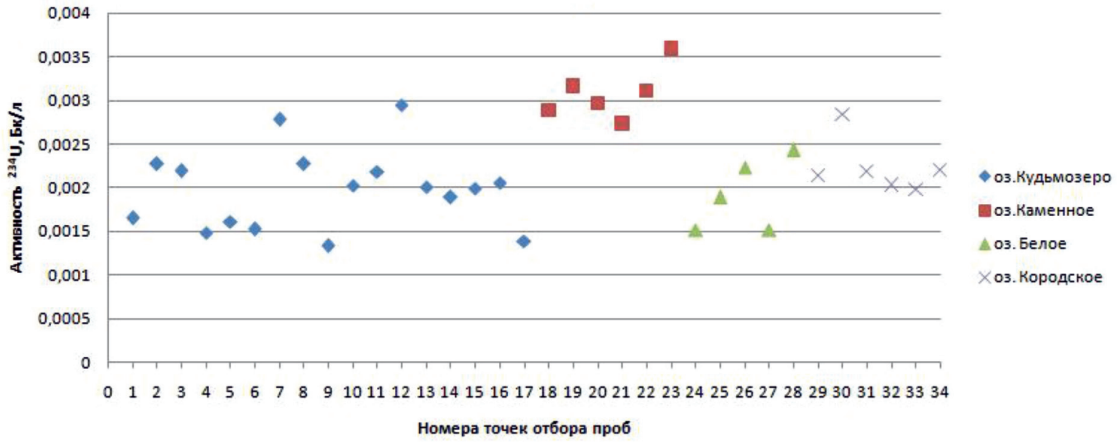
Наиболее интересно распределение активности четных изотопов урана непосредственно по озерам. Каждое из озер отличается друг от друга, хотя в целом не имеет аномальных, очень резких отличий. Особняком стоит оз. Каменное которое имеет достаточно низкие значения ^{238}U (0,00104 Бк/л) и повышенные значения ^{234}U (0,00359 Бк/л).

Соответственно, эти активности обуславливают особенно высокие показатели изотопного соотношения достигающего 2,5–3,3 единиц. Это указывает на то, что вода в этом озере формируется преимущественным образом за счет источников подземных вод с медленной инфильтрацией и поверхностных источников, имеющих большую площадь контакта воды с горной породой, что обогащает ее легким изотопом урана (эффект Чердынцева – Чалова). Два других озера, Белое и Кородское, в целом похожи по изотопному составу и концентрации урана. Однако следует отметить, что если активности ^{238}U в обоих озерах схожие, то активность дочернего изотопа ^{234}U в озере Кородское имеет повышенные значения, что свидетельствует о наличии источников подтока подземных вод.

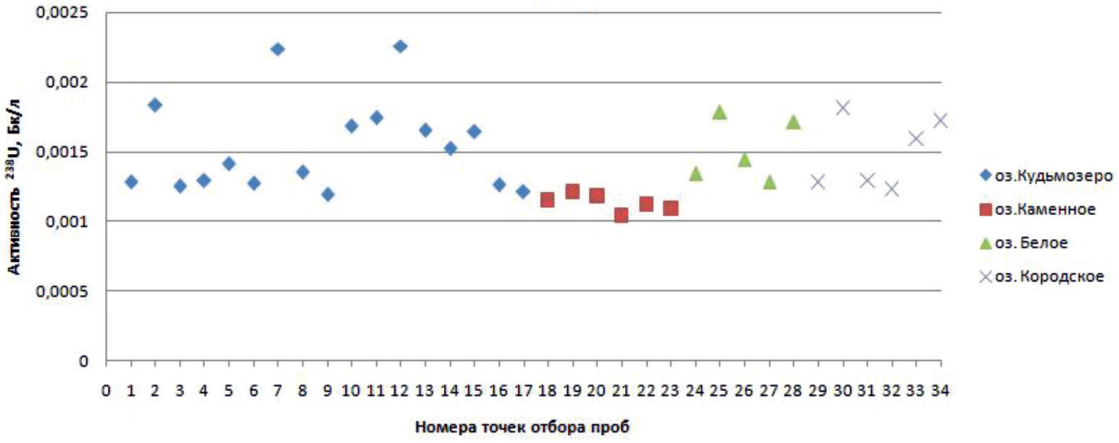
Наиболее детально подверглось изучению крупнейшее из группы малых озер – Кудьмозеро. Здесь было отобрано 17 проб поверхностных вод и построены карты пространственного распределения активности изотопов и валового содержания урана в воде.

Легкий изотоп ^{234}U имеет максимальные значения активности от 0,00235 до 0,00245 Бк/л в западной и северо-восточной частях озера. Это, очевидно, связано с впадением в этих местах рек, имеющих повышенные значения этого изотопа (рис. 3, *а*).

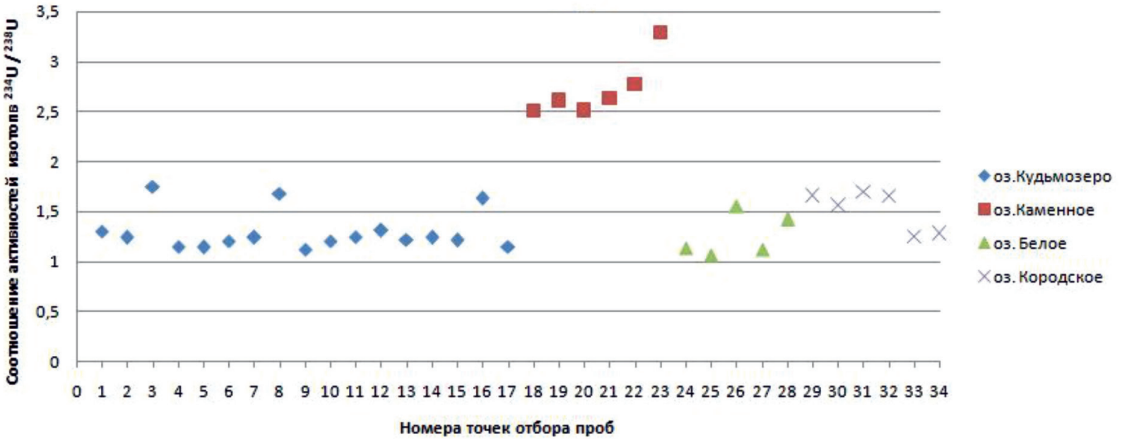
Что касается материнского изотопа ^{238}U, то его активность, напротив, в данных районах минимальная (0,00120–0,00135 Бк/л). Максимальные значения в 0,00175 Бк/л ^{238}U отмечаются в южной части озера, что связано с источниками разгрузки подземных вод на дне и параметрами активностей втекающих в этом месте речных вод (рис. 3, *б*).



а)



б)



в)

Рис. 2. а) активность изотопа ^{234}U, Бк/л; б) активность изотопа ^{238}U, Бк/л; в) соотношение активностей изотопов $^{234}U/^{238}U$

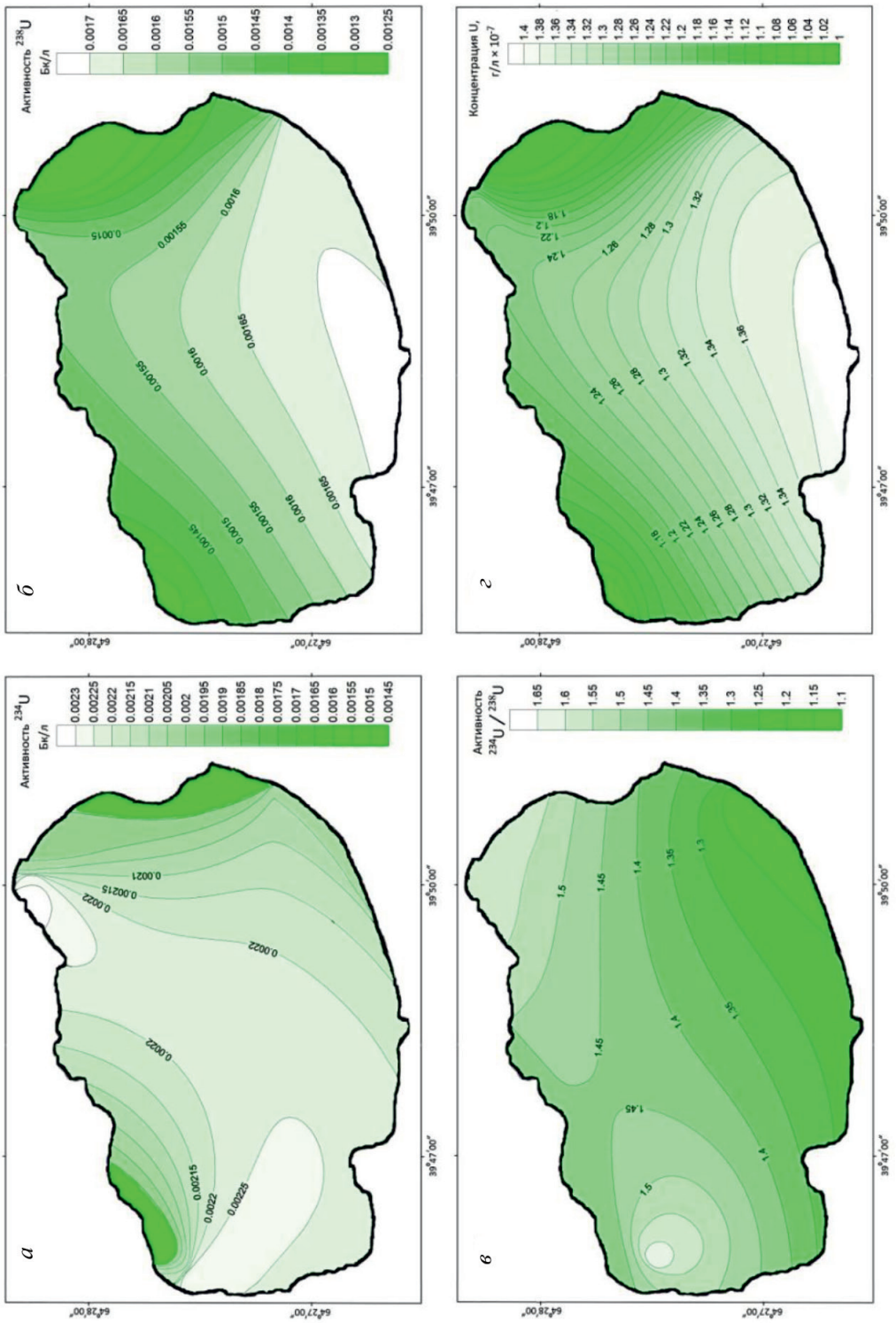


*Рис. 3. а – объемная активность ^{234}U Бк/л; б – объемная активность ^{238}U Бк/л; в – соотношение объемных активностей $^{234}U/^{238}U$; г – валовая концентрация изотопов урана, n*10^{-7}г/л*

Районы озера с относительно высокими значениями соотношения объемных активностей $^{234}U/^{238}U$ (рис. 3, *в*) указывают на то, что формирование поверхностных вод здесь происходит под влиянием втекающих рек с замедленной циркуляцией, приводящей к захвату выведенного из кристаллических решеток и подготовленного для растворения урана (эффект Чердынцева – Чалова) [4]. Кроме того эти реки несут небольшой объем воды, но имеют большую контактную поверхность с вмещающими русло породами. Максимальные обнаруженные значения для этого показателя составляют 1,65–1,70 единиц, минимальные 1,10.

На карте распределения валовой концентрации урана (рис. 3, *г*) видно, что максимальные значения находятся на юге озера и достигают $1{,}4*10^{-7}$г/л. Минимальные значения зафиксированы на северо-западе и на востоке озера, где они составляют $1{,}00–1{,}05*10^{-7}$ г/л. Эти минимальные показатели обусловлены несколькими факторами: 1 – втекающей в него рекой с более высокой скоростью течения, когда вода не успевает обогатиться легким изотопом (эффект Чердынцева – Чалова) [4]; 2 – подтоком подземных источников имеющих высокую концентрацию урана и как следствие низкий коэффициент соотношения $^{234}U/^{238}U$; 3 – небольшой протяженностью втекающей в данном месте реки; 4 – влияние валунно-галечных пород, слагающих речное русло, обогащающих воду ураном;

В целом гумидный климат района исследований оказывает влияние на понижение валовой концентрации урана из-за сильного разбавления речных и поверхностных озерных вод атмосферными осадками, которые имеют на порядок более низкие концентрации изотопов урана. Как правило, для озер с характерными гумидными условиями, где испарение подчинено атмосферным осадкам, концентрация урана не превышает $1{,}0–3{,}0 *10^{-7}$ г/л по сравнению с высокими значениями в аридных районах Земли. Это подтверждают и наши исследования группы малых озер. Помимо четных изотопов урана в их природную смесь входит и ^{235}U, который используется в атомной энергетике. Замеры данного радионуклида не выявили каких либо значений отличных от естественного природного соотношения как в озере Кудьмозеро, так и в остальных, менее крупных.

Выводы

В заключение можно сказать, что в поверхностных водах отсутствуют какие-либо опасные уран-изотопные аномалии, а измеренные значения соответствуют нормам безопасности [5]. Распределение изотопов урана подчинено естественным потокам его поступления и распределения. Аномально высоких или низких значений объемной активности также не зафиксировано. Соотношение активностей изотопов больше единицы и находится в допустимых пределах для озер данного климатического пояса. Однако впервые проведенные, довольно подробные, измерения альфа-активности изотопов урана на данной территории выявили индивидуальные особенности поверхностных вод каждого озера. Наиболее интересным с точки зрения изотопных исследований вод являются два объекта: оз. Каменное и места с повышенным соотношением изотопов $^{234}U/^{238}U$ на оз. Кудьмозеро. Поиск мест разгрузки подземных вод в озерах представляет большой интерес, и данная работа позволяет определить возможные дислокации этих точечных источников. Проделанные исследования логично подталкивают авторов к тому, чтобы отдельно изучить вышеупомянутые зоны с отбором придонных вод для изотопных, химических и масс-спектрометрических исследований. Кроме того, для понимания всей картины поступления и перераспределения изотопов урана необходимо провести отбор донных проб для определения в них изотопного и химического состава, что уже и было начато в 2017 г. на одном из озер данной группы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций (проект № АААА-А16-116052710105-1) и УрО РАН (проект № 18-5-5-26).

Список литературы

1. Малов А.И., Киселев Г.П. Уран в подземных водах Мезенской синеклизы / А.И. Малов, Г.П. Киселев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 237 с.

2. Малов А.И. Экологические функции подземных вод / А.И. Малов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2014. – 167 с.

3. Методика измерений объемной активности изотопов урана (^{238}U, ^{234}U, ^{235}U) в пробах природных (пресных и минерализованных), технологических и сточных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой // Лаборатория изотопных методов анализа ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского». – М., 2013. – 15 с.

4. Andersen M.B., Erel Y., Bourdon B. Experimental evidence for $^{234}U – ^{238}U$ fractionation during granite weathering

with implications for $^{234}U/^{238}U$ in natural waters // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2009. – Vol.73. – P. 4124–4141.

5. Санитарно-эпидемиологические и правила и нормы СанПиН 2.1.4.1116-02 // НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина. – М., 2002. – 40 с.

References

1. Malov A.I., Kiselev G.P. Uran v podzemnyh vodah Mezenskoj sineklizy, Ekaterinburg, UrO RAN, 2008, 237 p.

2. Malov A.I. Jekologicheskie funkcii podzemnyh vod, Ekaterinburg, UrO RAN, 2014, 167 p.

3. Metodika izmerenij ob»emnoj aktivnosti izotopov urana (^{238}U, ^{234}U, ^{235}U) v probah prirodnyh (presnyh i mineralizovannyh), tekhnologicheskih i stochnyh vod al'fa – spektrometricheskim metodom s radiohimicheskoj podgotovkoj. Moscow, VIMS, 2013, 15 p.

4. Andersen, M.B., Erel Y., Bourdon B. Experimental evidence for ^{234}U – ^{238}U fractionation during granite weathering with implications for $^{234}U/^{238}U$ in natural waters, Geochimica et Cosmochimica Acta, 2009, 73, pp. 4124–4141.

5. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.1.4.1116-02, Moscow, NII Jekologii cheloveka i gigieny okruzhajushhej sredy im. A.N. Sysina, 2002, 40 p.

УДК 551.324

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ПУТЕМ ВЫМЫВАНИЯ И СУХОГО ОСАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

[1]Керимов А.М., [2]Татаренко Н.В., [2]Татаренко З.М., [1]Курашева О.А.

[1]Высокогорный геофизический институт, Нальчик, e-mail: kerimov.a.m@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Атмосферные осадки являются важным фактором самоочищения атмосферы от микропримесей как естественного, так и антропогенного происхождения. Находящиеся в атмосфере микрочастицы эффективно удаляются из нее как с атмосферными осадками, так и в виде сухого осаждения. Снежный покров представляет собой естественный планшет-накопитель загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферы в сухом виде и с осадками. Изучение химического состава микропримесей в твердых осадках в зоне аккумуляции ледников открывает существенные возможности в изучении фонового мониторинга загрязнения атмосферы. Высокогорные ледники – уникальные природные объекты, являющиеся надежными индикаторами атмосферных осадков. Поступающие в снежный покров микрочастицы характеризуют первичное загрязнение атмосферы. Снежный покров со временем в процессе метаморфизма переходит в фирн, а затем в лед. Химические примеси, попавшие на ледник с твердыми атмосферными осадками и в виде сухого осаждения, становятся своеобразной летописью. Микроструктурный анализ и химический состав микрочастиц снежно-ледяной толщи высокогорных ледников позволяет определить состав аэрозолей, скорость их поступления, генезис, а также проводить точную датировку слоев по историческому интервалу времени. Определены значения геометрического диаметра и стандартного геометрического отклонения функции распределения водонерастворимых частиц по размеру в пробах одного холодного сезона. Анализ проб свежевыпавшего снега позволил определить функцию распределения по размеру водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых снежинками. Эта функция с хорошей точностью аппроксимируется логарифмически нормальным распределением. 95% частиц аэрозоля приходятся на интервал областей субмикронных размеров аэрозоля и больших размеров. Получены результаты теоретических расчетов и экспериментально определенны концентрации аэрозольных частиц, вымытых снегом. Определены концентрации тяжелых металлов в пробах свежевыпавшего снега в сезонной толще. Установлена связь концентрации тяжелых металлов, вымытых снегом, с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц по интервалам их размеров.

Ключевые слова: аэрозоль, тяжелые металлы, вымывание аэрозольных элементов осадками, сухое осаждение примесей на поверхность ледника, водонерастворимые аэрозольные частицы

FEATURES RECEIPT OF AEROSOL PARTICLES IN SNOW COVER THROUGH LEACHING AND DRY DEPOSITION IN HIGH ALTITUDE CONDITIONS

[1]Kerimov A.M., [2]Tatarenko N.V., [2]Tatarenko Z.M., [1]Kurasheva O.A.

[1]High-Mountain geophysical Institute, Nalchik, e-mail: kerimov.a.m@mail.ru;
[2]The Kabardino-Balkarian university of H.M. Berbekov» Nalchik, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Precipitation is an important factor in the self-purification of the atmosphere from both natural and anthropogenic micro-impurities. Microparticles in the atmosphere are effectively removed from it with both precipitation and dry deposition. Snow cover is a natural tablet – storage of pollutants falling out of the atmosphere in a dry form and with precipitation. The study of the chemical composition of micro-impurities in solid precipitation in the accumulation zone of glaciers opens up significant opportunities in the study of background monitoring of air pollution. Alpine glaciers are unique natural objects, which are reliable indicators of atmospheric precipitation. Incoming microparticles in the snow characterize the primary pollution of the atmosphere. Snow cover over time in the process of metamorphism passes into firn, and then into the ice. Chemical impurities that have fallen on the glacier with solid precipitation and dry deposition, become a kind of chronicle. The microstructure analysis and chemical composition of micro-particles of snow and ice of high mountain glaciers thickness allows to determine the composition of aerosols, the arrival rate, the Genesis and conduct precise Dating of the layers of historical time interval. The values of the geometric diameter and geometric standard deviation of the distribution function of the water-insoluble particle size in the samples of one of the cold season. Analysis of samples of fresh snow allowed to determine the function of distribution of water-soluble aerosol particles washed with snowflakes. This function is approximated with good accuracy by a logarithmically normal distribution. 95% of the aerosol particles have on the interval areas of submicron size aerosol and large sizes. The results of theoretical calculations are obtained and concentrations of aerosol particles washed with snow are determined experimentally. Concentrations of heavy metals in samples of fresh snow in the seasonal thickness were determined. The relationship between the concentration of heavy metals washed with snow and the concentration of water-soluble aerosol particles at intervals of their sizes is established.

Keywords: aerosol, heavy metals, washout of aerosol elements in precipitation, dry deposition of impurities on the glacier surface, the water-insoluble aerosol particles

Основными источниками химических примесей для ледников являются атмосферные аэрозоли. Поступление аэрозольных частиц в снежный покров зависит от различных механизмов их удаления из атмосферы. Находящиеся в атмосфере частицы эффективно удаляются из нее либо с атмосферными осадками, либо путем их сухого

осаждения. Соотношение между сухими и влажными выпадениями примесей из атмосферы определяется взаимодействием различных факторов: длительность холодного периода, в течение которого сохраняется снежный покров, частота снегопадов и их интенсивность, физико-механические свойства загрязняющих веществ, размер аэрозолей.

Осадки являются важным фактором самоочищения атмосферы от примесей естественного и искусственного происхождения. Процессы вымывания примесей из атмосферы осадками включают в себя два типа: «вымывание в облаке» и «вымывание осадками». Оба механизма вместе представляют собой «влажное осаждение» На долю мокрого выпадения аэрозолей приходится около 60% от общего осаждения аэрозольных частиц [1].

Вымывание загрязняющих веществ осадками зависит от формирования осадков в облаке и последующей трансформации при выпадении на земную поверхность. Захват загрязняющих веществ может осуществляться каплями воды и ледяными кристаллами. Процессы «вымывания в облаке» состоят из поглощения микрочастиц в виде ядер конденсации, присоединении неактивных аэрозольных частиц к облачным каплям и реакции газов в облачных элементах. А процессы «вымывания осадками» включают в себя прикрепление аэрозольных частиц к выпадающим осадкам, испарение осадков, растворение и реакция газов в осадках [2].

Основная часть химических примесей в осадках формируется ниже облаков и в приземном слое тропосферы. Эффективность удаления аэрозолей осадками сильно зависит от размера частиц. Мелкие частицы диффундируют быстрее, чем более крупные, и очень быстро присоединяются к облачным элементам, которые в дальнейшем вовлекаются в осадки. С другой стороны, более крупные частицы вымываются осадками значительно быстрее, чем мелкие [3].

Укрупнение капель и ледяных кристаллов приводит к выпадению осадков. За время движения вниз капли или снежинки захватывают аэрозоль, что повышает минерализацию осадков. Капли дождя или кристаллы снега при своем падении захватывают («вымывают») из нижнего слоя атмосферы значительное количество аэрозолей, причем считается [2], что очищение атмосферы от микрочастиц пыли диаметром 0,5–2 мкм кристаллами снега и льда происходит в 4 раза активнее, чем дождевыми каплями.

Поступление аэрозольных частиц в снежный покров за счет сухого осаждения в дни без осадков осуществляется при помощи одновременно взаимодействующих процессов: седиментации, диффузного и инерционного осаждения.

Механизм удаления аэрозольных частиц из атмосферы определяется размером самого аэрозоля. Верхний предел размеров аэрозольных частиц определяется седиментацией. Наиболее крупнодисперсные частицы диаметром более 10 мкм быстро выводятся из атмосферы за счет седиментации. Установлено, что, когда радиус частиц меньше 1 или 2 мкм, процессом седиментации можно пренебречь [1, 4].

Нижний предел размера аэрозольных частиц определяется коагуляцией, вызывающей быстрое присоединение частиц размером 0,005 мкм к более крупным частицам. Очень мелкие частицы довольно быстро удаляются за счет диффузного присоединения или внутриоблачного вымывания. При этом диффузный эффект начинает преобладать в размерном диапазоне частиц с диаметром менее 0,2 мкм [4]. Частицы диаметром 0,1–1 мкм медленно оседают и в меньшей степени подвержены инерционному и диффузному удалению. Эти частицы остаются в атмосфере в течение сравнительно более длительного времени, чем самые крупнодисперсные частицы [3]. В настоящее время огромный интерес к изучению концентрации микрочастиц и химического состава снежно-фирновой толщи Эльбруса проявляют ряд исследователей. Авторами в работах [5, 6] изучена динамика химического состава снежно-фирновой толщи Эльбруса за последние 75 лет. Изучен изотопный состав [7], температурный и радиационный режим [8], толщина и подледный рельеф [9–10] ледников Эльбруса. В работе [11] авторы проводят сравнительный анализ кернов ледников Эльбруса и Казбека.

Цель исследования

В настоящей статье предпринята попытка оценить особенности поступления аэрозольных частиц в снежный покров путем их вымывания и сухого осаждения в условиях высокогорья на примере оледенения южного склона Эльбруса.

Материалы и методы исследования

Оценить вклад атмосферного аэрозоля в снежном покрове за счет сухого осажде-

ния можно следующим образом. Для этого необходимо отбор проб проводить в период без осадков между двумя снегопадами. Причем считается, что чем больше этот промежуток, тем больше происходит накопление аэрозолей за счет сухого осаждения. Отбор проб проводится в неглубоком шурфе из средней его части, отложенного за период последнего снегопада и с поверхности снега (в слое 1–2 см), а также в начале следующего снегопада. Измерив концентрацию примесей, выпавших на его поверхность между двумя снегопадами, и сравнив его с содержанием примесей в средней его части, можно оценить величину сухого выпадения. Проведенные ранее нами исследования, в работах [12–14] показывают, что концентрации микрочастиц на поверхности оказываются в 3–4 раза, более чем в середине слоя.

Содержащие ТМ аэрозольные частицы, имеют размеры от 10^{-3} до 40–60 мкм. Считается, что в аэрозолях доля водорастворимых форм свинца составляет 11–32 %, кадмия 43–82 %, цинка 15–65 %, никеля и мышьяка соответственно 39–50 %, 28–58 %. Частицы растворимых форм аэрозоля, содержащих ТМ, имеют радиус меньше 0,028 мкм.

В настоящей работе проведены расчеты вымывания ТМ на основе экспериментальных данных полученных на южном склоне Эльбруса. Отбор проб производился в снежном покрове (свежевыпавшем и сезонном) по высотному профилю от 3500 м н.у.м. до восточной вершины Эльбруса (высота – 5621 м). Отбор проб свежевыпавшего снега проводился в день снегопада. Пробы в шурфах отбирались из слоев с одинаковыми структурно-стратиграфическими характеристиками. Отсчет слоев в шурфах ведется от световой поверхности.

Результаты исследования и их обсуждение

Обработка и анализ проб свежевыпавшего снега позволили определить функцию распределения по размеру водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых снежинками. Эта функция с хорошей точностью аппроксимируется логарифмически нормальным распределением. В табл. 1 приведены значения геометрического диаметра d_o и стандартного геометрического отклонения σ_0 функции распределения частиц по размеру в пробах одного холодного сезона.

В пятом столбце таблицы приведены значения интервала диаметров частиц аэрозоля в 1 $см^3$ пробы, в котором находятся 95 % частиц. Как видно, интервал, в котором лежат 95 % частиц в основном начинается в области субмикронных размеров аэрозоля и заканчивается в области больших размеров.

В табл. 2 приведены результаты теоретических расчетов и экспериментально определенных концентраций аэрозольных частиц, вымытых снегом в указанном диапазоне размеров.

В табл. 3 приведены значения концентрации ТМ, вымытых свежевыпавшим снегом, в сезонной толще. Прочерки в таблице означают, что концентрация элемента в пробе была ниже порога обнаружения. Обнаружено, что тяжелых металлов в летний период вымывалось больше, чем в зимний.

Таблица 1

Параметры функции распределения водонерастворимых частиц по размеру

Пункт отбора пробы	Номер слоя	d_o, мкм	σ_0	Интервал, мкм
4090	1	0,293	2,645	0,055–1,550
4000	1	0,258	3,045	0,042–1,571
4000	2	0,370	1,857	0,100–1,374
4000	3	0,252	2,864	0,044–1,144
4000	1	0,449	2,668	0,084–2,396
4000	2	0,228	2,650	0,042–1,208
4000	3	0,137	3,598	0,019–0,986
3830	1	0,403	3,023	0,052–2,436
4090	1	0,916	3,889	0,118–7,142
4090	2	0,315	2,941	0,054–1,834
H = 5621 м н.у.м.	1	0,158	2,847	0,128–0,900

Таблица 2

Экспериментальные $n_к$, и вычисленные значения $n_в$, концентрации водонерастворимых аэрозольных частиц

Интервал диаметров, мкм	Проба № 2 Н = 4090 м н.у.м.		Проба № 3 Н = 3500 м н.у.м.	
	do = 0,315 мкм, σ_0= 2,941		do = 0,299 мкм, σ_0 = 2,334	
	$n_к$, см$^{-3}$	$n_в$, см$^{-3}$	$n_к$, см$^{-3}$	$n_в$ см$^{-3}$
0,01–0,08	$1{,}3\cdot10^5$	$1{,}21\cdot10^5$	$2{,}1\cdot10^6$	$1{,}27\cdot10^6$
0,08–0,20	$5{,}8\cdot10^5$	$5{,}8\cdot10^5$	$2{,}8\cdot10^6$	$5{,}49\cdot10^6$
0,20–0,40	$5{,}8\cdot10^5$	$7{,}62\cdot10^5$	$8{,}4\cdot10^6$	$6{,}74\cdot10^6$
0,40–0,60	$5{,}8\cdot10^5$	$5{,}00\cdot10^5$	$4{,}9\cdot10^6$	$3{,}41\cdot10^6$
0,60–0,80	$4{,}5\cdot10^5$	$3{,}24\cdot10^5$	$2{,}8\cdot10^6$	$2{,}73\cdot10^6$
0,80–2,0	$6{,}4\cdot10^5$	$6{,}57\cdot10^5$	$1{,}2\cdot10^6$	$2{,}34\cdot10^6$
2,0–4,0	$9{,}6\cdot10^4$	$1{,}56\cdot10^5$	$1{,}3\cdot10^5$	$2{,}40\cdot10^6$
4,0–8,0	$6{,}0\cdot10^3$	$3{,}44\cdot10^5$	$2{,}8\cdot10^4$	$2{,}22\cdot10^6$
8,0–20,0	$4{,}9\cdot10^3$	$4{,}93\cdot10^3$	$4{,}0\cdot10^3$	$1\cdot10\cdot10^3$

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов в пробах свежевыпавшего снега

Пункт отбора пробы	Номер слоя	Концентрация элементов, мкг л $^{-1}$				
		Ag	Cr	Ni	Mn	Pb
3500	1	0,021	1,70	1,30	1,41	1,49
4090	1	–	–	0,73	0,81	0,92
4000	1	–	3,10	1,51	2,01	–
4000	2	0,012	1,34	1,25	3,69	5,67
4000	3	0,035	1,38	0,73	0,94	0,92
4000	4	0,015	0,96	0,73	3,43	1,62
3830	1	0,046	6,41	1,63	4,75	2,52

Таблица 4

Экспериментальные и вычисленные значения концентрации ТМ, мкг·л $^{-1}$

Высота отбора пробы, н.у.м.	Cr		Ni		Mn	
	Сэ	Св	Сэ	Св	Сэ	Св
Н = 3500 м	7,31	7,308	2,24	2,240	10,73	10,731
Н = 3700 м	44,34	44,340	12,75	12,750	84,15	84,150
Н = 4000 м	14,99	14,991	7,58	7,939	35,11	33,852
Н = 4020 м	16,45	18,469	5,46	5,462	32,60	33,852
Н = 4300 м	20,49	18,469	8,30	7,939	20,86	20,867

Различные фракции аэрозоля тесно связаны с их химическим составом. Средне- и грубодисперсный аэрозоль в основном состоит из вещества, характерного для частичек почвы. Они представляют такие элементы, как алюминий, кремний, магний, марганец, никель, титан, железо. С учетом этого была исследована связь концентрации водонерастворимого аэрозоля, вымытого из облаков и подоблачного слоя, с концентрацией ТМ. Корреляция между ТМ и концентрацией водонерастворимых аэрозолей по спектру их размеров является нелинейной. В табл. 4 приведены значения концентрации ТМ в пробах свежевыпавшего снега, определенные экспериментально Сэ. и вычисленные Св.

Как видно из табл. 4, для указанных элементов их концентрация почти функционально связана с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц. Коэффициенты детерминации для этих элементов, включая цинк и свинец, выше 0,98.

В пробах свежевыпавшего снега для обнаруженных серебра, хрома, никеля и марганца коэффициенты детерминации превосходили значение 0,97. Полученные результаты, по оценке степени связи концентраций ТМ и водонерастворимых частиц, указывают на то, что вымываемые

микропримеси ТМ довольно тесно связаны как с мелкодисперсной фракцией, так и с крупно- и грубодисперсными фракциями водонерастворимых частиц. Гидрометеоры облаков и осадков интенсивно поглощают аэрозольные частицы и благодаря этому формируют свой химический состав.

Основной захват аэрозольных частиц и преобразование их размера происходит в облаке. Связано это с тем, что частицы находятся в облаке больше времени, чем в осадках. В течение этого времени они могут использовать все механизмы укрупнения и таким образом преобразоваться в частицы осадков. С увеличением размера частицы интенсивно коагулируют с микропримесями. Время пребывания частиц в осадках ограничено из-за малого расстояния между облаком и подстилающей поверхностью и относительно большей скоростью их падения по сравнению с облачными частицами. При этом удаление аэрозольных частиц в подоблачном слое происходит в основном благодаря инерционному захвату их снежинками и каплями.

Облако служит стоком для мелких аэрозольных частиц и источником крупных, в том числе облачных ядер конденсации и ледяных ядер. После образования капли на ядре конденсации в облаке происходит захват ею аэрозольных частиц в процессе диффузии. Замерзание капель дает начало образованию кристаллов, а их коагуляция приводит к образованию снежинок. Таким образом, первичным является образование капель, захват ими аэрозольных частиц, коагуляция и образование частиц осадков в виде дождя или снега.

Заключение

В результате проведенных исследований получены основные выводы:

1. Экспериментальным путем определен спектр размеров водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых свежевыпавшим снегом в сезонном снежном покрове в условиях высокогорья. Спектр размеров частиц подчиняется логарифмически нормальному распределению. По экспериментальным данным определены параметры этого распределения.

2. Установлена связь концентрации тяжелых металлов, вымытых снегом, с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц по интервалам их размера. Коэффициенты детерминации больше 0,97.

Список литературы

1. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Х. Юнге. – М.: Мир, 1965. – 423 с.

2. Котляков В.М. Изотопная и геохимическая гляциология / В.М. Котляков, Ф.Г. Гордиенко. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1982. – 288 с.

3. Химия нижней атмосферы / Под ред. С. Расула. – М.: Мир, 1976. – 408 с.

4. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Изд. 2-е, стер. – М: Изд-во «Химия», 1972. – 428 с.

5. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на западном плато Эльбруса / Кутузов С.С. [и др.] // Лед и снег. – 2014. – № 3(127). – С. 5–15.

6. Кутузов С.С. Изменение концентрации микрочастиц и химического состава фирново-ледяной толщи Эльбруса за последние 75 лет по данным ледниковых кернов / С.С. Кутузов, В.Н. Михаленко // Изменения климата и природной среды северной Евразии: анализ, прогноз, адаптация: материалы междунар. школы-конференции молодых ученых. – М.: Изд-во ГЕОС, 2014. – С. 94–95.

7. Изотопный состав ледяных кернов, полученных на западном плато Эльбруса / А.В. Козачек [и др.] // Лед и снег. – 2015. – Т. 55, № 4.– С. 5–15.

8. Температурный и радиационный режим ледников на склонах Эльбруса в период абляции за последние 65 лет / П.А. Торопов [и др.] // Лед и снег. – 2016. – Т. 56, № 1. – С. 5–19.

9. Гляциологические исследования института географии РАН на Эльбрусе в 2017 г. / В.Н. Михаленко [и др.] // Лед и снег. – 2016. – Т. 57, № 3.– С. 292.

10. Лаврентьев И.И. Толщина льда и подлёдный рельеф западного ледникового плато Эльбруса / И.И. Лаврентьев, В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов // Лед и снег. – 2010. – № 2 (110). – С. 12–18.

11. Хайреди нова А.Г. Сравнительный анализ коротких кернов Казбека и Эльбруса для получения информации об окружающей среде / А.Г. Хайрединова, С.С. Кутузов, П. Жино [и др.] // Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии: материалы конф. – X междунар. молодёжная школа-конференция. Институт географии РАН. – Курск: Изд-во 11-й ФОРМАТ, 2017. – С. 110–121.

12. Керимов А.М. Распределение тяжёлых металлов в поверхностных слоях снежно-фирновой толщи на южном склоне Эльбруса / А.М. Керимов, О.В. Рототаева, И.Ф. Хмелевской // Лед и снег. – 2011. – № 2(114). – С. 24–34.

13. Зависимость накопления тяжелых металлов от баланса массы ледников (на примере южного сектора оледенения Эльбруса / А.М. Керимов [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2012. – № 4. – С. 81–88.

14. Татаренко Н.В. Концентрации тяжелых металлов в снежно-фирновой толще на леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) / Н.В. Татаренко, А.А. Керимов, А.М. Керимов // Перспектива-2010: материалы междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученных. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2010. – Т. 1. – С. 355–361.

References

1. Iunge Kh. Khimicheskii sostav i radiaktivnost' atmosfery [Chemical composition and radioactivity of the atmosphere]. Moscow, MIR, 1965, 423.

2. Kotliakov V.M., Gordienko F.G. Izotopnaia i geokhimicheskaia gliatsiologiia [Isotope and geochemical glaciology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982, 288.

3. Rasula S. Khimiia nizhnei atmosfery [Chemistry of the lower atmosphere]. Moscow, MIR, 1976, 408.

4. Grin Kh., Lein V. Aerozoli – pyli, dymy i tumany [Aerosols-dust, smoke and fog]. Izd. 2-e, ster.. Moscow, Khimiia, 1972, 428.

5. Kutuzov S.S. The way the long-range transport of dust to the glaciers of the Caucasus and the chemical composition of snow on the Western plateau of Elbrus [Puti dal'nego perenosa pyli na ledniki Kavkaza i khimicheskii sostav snega na zapadnom plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2014, no. 3, pp. 5–15.

6. Kutuzov S.S., Mikhalenko V.N. Izmenenie kontsentratsii mikrochastits i khimicheskogo sostava firnovo-ledianoi tolshchi El'brusa za poslednie 75 let po dannym lednikovykh kernov [Climate change and natural environment of Northern Eurasia: analysis, prediction, adaptation: proceedings of the international. school-conference of young scientists]. Izmeneniia klimata i prirodnoi sredy severnoi Evrazii: analiz, prognoz, adaptatsiia: materialy mezhdunar. shkoly-konferentsii molodykh uchenykh (g. Moskva, 14–20 sentiabria 2014 g.) [Proceedings of Climate and environmental changes in Northern Eurasia: analysis, forecast, adaptation (Moscow, September 14–20, 2014)], Moscow, GEOS, 2014, pp. 94–95.

7. Kozachek A.V. Isotope composition of ice cores obtained on the Western plateau of Elbrus [Izotopnyi sostav lediankykh kernov, poluchennykh na zapadnom plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2015, no. 4, pp. 5–15.

8. Toropov P.A. Radiation and temperature regime of the glaciers on the slopes of mount Elbrus in the ablation period over the past 65 years [Temperaturnyi i radiatsionnyi rezhim lednikov na sklonakh El'brusa v period abliatsii za poslednie 65 let]. Led i sneg – Ice and snow, 2016, no. 1, pp. 5–19.

9. Mikhalenko V.N. Glaciological studies of the Institute of geography of RAS on Elbrus in 2017 [Gliatsiologicheskie issledovaniia instituta geografii RAN na El'bruse v 2017 g.]. Led i sneg – Ice and snow, 2016, no. 3, pp. 292.

10. Lavrent'ev I.I. , Mikhalenko V.N. , Kutuzov S.S. Ice thickness and subglacial relief of the Western Elbrus glacial plateau [Tolshchina l'da i podlednyi rel'ef zapadnogo lednikovogo plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2010, no. 2, pp. 12–18.

11. Khairedinova A.G. , Kutuzov S.S. , Zhino P. Sravnitel'nyi analiz korotkikh kernov Kazbeka i El'brusa dlia polucheniia informatsii ob okruzhaiushchei srede [Comparative analysis of short cores of Kazbek and Elbrus to obtain information about the environment]. Sovremennye podkhody k izucheniiu ekologicheskikh problem v fizicheskoi i sotsial'no-ekonomicheskoi geografii: materialy konf. – X mezhdunar. molodezhnaia shkola-konferentsiia. Institut geografii RAN (g. Kursk, 24–28 maia 2017 g.) [Proceedings of Modern approaches to the study of environmental problems in the physical and socio-economic geography: materials Conf. – X international. youth school-conference. Institute of geography RAS (Kursk, May 24–28, 2017)], Kursk, 11-i FORMAT, 2017, pp. 110–121.

12. Kerimov A.M., Rototaeva O.V., Khmelevskoi I.F. Distribution of heavy metals in the surface layers of the snow-firn layer on the southern slope of Elbrus [Raspredelenie tiazhelykh metallov v poverkhnostnykh sloiakh snezhno-firnovoi tolshchi na iuzhnom sklone El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2011, no. 2, pp. 24–34.

13. Kerimov A.M. The dependence of the accumulation of heavy metals from the mass balance of glaciers (for example, the southern sector of glaciation of Elbrus [Zavisimost' nakopleniia tiazhelykh metallov ot balansa massy lednikov (na primere iuzhnogo sektora oledeneniia El'brusa]. Izvestiia Kabardino-Balkarskogo Nauchnogo Tsentra RAN – News of Kabardino-Balkar Scientific Center of RAS, 2012, no. 4, pp. 81–88.

14. Tatarenko N.V., Kerimov A.A., Kerimov A.M. Kontsentratsii tiazhelykh metallov v snezhno-firnovoi tolshche na lednike Garabashi (iuzhnyi sklon El'brusa) [The concentrations of heavy metals in snow-firn thicker on the Garabashi glacier (South slope of Elbrus)]. Perspektiva-2010: materialy mezhdunar. nauch. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchennykh (g. Nal'chik, 9–12 iiulia 2010 g.) [Proceedings of Perspective-2010: proceedings of the international. science. Conf. students, graduate students and young scientists (Nalchik, July 9–12, 2010)], Nalchik, Kabardino-Balkarskii gosudarstvennyi universitet, 2010, vol. 1, pp. 355–361.

УДК 911.375.5:712.2(470.325)

ПРОЦЕСС УРБАНИЗАЦИИ БЕРЕГОВЫХ ПРОСТРАНСТВ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ)

[1]Королева И.С., [2]Королев А.С.

[1]ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: koroleva_i@bsu.edu.ru;

[2]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

Изучен отечественный и зарубежный опыт реорганизации и благоустройства береговых рекреационных пространств с позиции ландшафтного урбанизма. Родоначальником ландшафтного урбанизма считают Фредерика Олмстеда. В 1990-х гг. в Париже, Барселоне и Канберре появляются первые общественно-рекреационные пространства, спроектированные по принципам ландшафтного урбанизма. В настоящее время ландшафтный урбанизм применяют для реорганизации, реконструкции и рекреационного освоения территорий различного функционального назначения. Начиная с 1980 годов вектор развития ландшафтного урбанизма в Европе был устремлен в сторону формирования береговых пространств, поскольку единственной возможностью горожан на пребывание в комфортной среде с природными приоритетами являются городские набережные. В настоящее время продвижением такого направления в Европе занимается Мишель Девинь. В России ландшафтный урбанизм только начинает развиваться. Исследованиями в области ландшафтного урбанизма в нашей стране занимаются Э.Э. Красильникова, В.А. Нефедов и другие. Выявлены основные направления развития рекреационных пространств при реализации ландшафтно-градостроительного подхода и особенности их формирования на землях неблагоприятных для использования. Определены перспективы применения принципов ландшафтного урбанизма при реконструкции городских набережных. Проанализирована современная функционально-планировочная структура г. Белгорода с определением перспектив ее изменения с учетом принципов ландшафтного урбанизма и формирования единого эколого-рекреационного каркаса. Выявлены достоинства и недостатки проведенной реконструкции набережной реки Везелка и перспективы ее дальнейшей реконструкции с учетом концепций ландшафтного урбанизма и экогорода.

Ключевые слова: рекреационное пространство, ландшафтный урбанизм, озеленение, урбанизация, береговая зона

PROCESS OF URBANIZATION OF COASTAL SPACES OF THE MODERN CITY (ON THE EXAMPLE OF BELGOROD CITY AGGLOMERATION)

[1]Koroleva I.S., [2]Korolev A.S.

[1]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State National Research University», Belgorod, e-mail: koroleva_i@bsu.edu.ru;

[2]National Research University «Higher School of Economics», Moscow

Studied domestic and foreign experience of restructuring and improvement of coastal recreational spaces from the perspective of land-amenity and landscape benets of urbanism. The founder of landscape urbanism consider Frederick law Olmsted. In the 90-ies of XX century in Paris, Barcelona and Canberra appear the first public recreational space, constructed according to the principles of landscape urbanism. Currently, landscape urbanism applied to the reorganization, redevelopment and recreational use of territories of different functional purpose. Since 80 years the vector of development of landscape urbanism in Europe, was directed to the formation of coastal spaces, since the only ability of citizens to stay in a comfortable environment with the natural priorities are urban embankments. Currently, the promotion of such areas in Europe have been Michelle Devine. In Russia, the landscape urbanism only begins to develop. Research in the field of landscape urbanism in our country do E.E. Krasil'nikova, V.A. Nefedov and others. The main trends in the development of recreational spaces in the implementation of landscape and urban planning approach and the peculiarities of their formation on the lands are not favorable for use. The prospects for applying the principles of landscape urbanism in the reconstruction of urban waterfronts. Analyzed modern functional and planning structure of the city of Belgorod with determining the prospects for change based on the principles of landscape urbanism and the formation of a unified ecological and recreational framework. Identified the advantages and disadvantages of the reconstruction of the embankment of the river Veselka and prospects of its further reconstruction with the concepts of landscape urbanism and eco-city.

Keywords: landscape urbanism, recreational space, urban landscape, coastal complexes, attractors

В конце 1960 гг. человечество переосмыслило роль урбанизации в преобразовании пространства и ухудшении состояния здоровья людей. Это стало ядром, зародившим экологические направления в концептуальном виденье пространства городов. Их популяризация способствовала изменению облика европейских городов – около 50% территории были преобразованы в зеленые зоны. В настоящее время европейские сообщества, по мнению Т. Битли, предпочитают жить в городских районах «фундаментально встроенных в природную среду» [1, 2].

Одним из таких подходов в современном мире является ландшафтный урбанизм, направленный на создание экологически

безопасной территории, включенной в природную среду, в которой сбалансированы и взаимосвязаны социальная, экономическая и экологическая сферы. В нем в качестве связующего звена всех сфер выступает система озеленения, создающая сложные функциональные связи между системами озелененных транспортных пространств, городскими рекреационными зонами и озелененным пространством жилых комплексов и архитектурных объектов. Ранее, согласно теории Ф.Л. Олмстеда, в качестве озелененного пространства, обеспечивающего комфортность среды, был парк, теперь – это крупные природные элементы, как правило, реки – способные обеспечить дальнейшее спонтанное развитие пространства и включенные в природную среду.

Цель исследования – изучение современного уровня формирования и развития городских набережных в условиях ландшафтного урбанизма (на примере г. Белгорода). Основные задачи исследования: изучение отечественного и зарубежного опыта реорганизации и реконструкции береговых рекреационных пространств с позиции ландшафтного урбанизма, оценка современного состояния развития рекреационных пространств Белгородской агломерации и функционально-планировочной структуры г. Белгорода с определением перспектив ее изменения и создания, реконструкции городских набережных в г. Белгороде с применением принципов ландшафтного урбанизма.

Методы исследования: ландшафтный урбанизм и ландшафтно-рекреационное проектирование, способствующие единению человека с природой посредством формирования рекреационно-комфортного ландшафта.

Родоначальником ландшафтного урбанизма считают Ф. Олмстеда. Его идеи и концепции до сих пор являются основополагающими в рекреационном проектировании и ландшафтном дизайне. К принципам ландшафтного урбанизма относят: единство ландшафта и архитектуры, функциональную двойственность, подземную интеграцию, толерантность к окружающей среде, изменчивость во времени. Наиболее широкое распространение ландшафтный урбанизм получил в начале XXI века в европейских городах. В этот период его развитием занимались C. Waldheim, J. Corner и M. Mostafavi [3], Б. Чуми, Р. Коолхааса. В 90-х годах XX века в Париже, Барселоне и Канберре появляются первые общественно-рекреационные пространства, спроектированные по принципам ландшафтного урбанизма.

Начиная с 1980 гг. вектор развития ландшафтного урбанизма, в Европе, был устремлен в сторону формирования береговых пространств, поскольку единственной возможностью горожан на пребывание в комфортной среде с природными приоритетами являются городские набережные. В настоящее время продвижением такого направления в Европе занимается М. Девиня. Исследованиями в области ландшафтного урбанизма в России занимаются Э.Э. Красильникова, В.А. Нефедов и другие [4].

Учитывая зарубежный и отечественный опыт формирования береговых пространств, основанный на концепции ландшафтного урбанизма, можно выделить следующие направления повышения качества среды: озеленение прибрежных территорий с целью эстетической гармонизации пространства и регулирования климата, экореконструкция городских набережных и регенерация прибрежных постпромышленных территорий с применением натуральных материалов, расширение береговой и аквальной инфраструктур (мест досуга, публичных пространств, стоянок для водного транспорта), создание среды с «контактной» водой и мобильных компонентов в водной среде с привлечением инвестиций, энергоэффективность зданий и создание условий для использования набережных в темное время суток, сбалансированное развитие пешеходной, велосипедной и транспортных инфраструктур, восстановление аквальных и береговых комплексов с целью поддержания экологического равновесия. Данные принципы позволяют провести функциональную и ландшафтную оптимизацию структур береговых территорий, сформировать единый водно-зеленый каркаса города и достичь идентичности набережных [5].

Д. Парамонова отмечает, что в настоящее время принципы ландшафтного урбанизма применяются в 40 городах Российской Федерации. Одним из таких городов является г. Белгород.

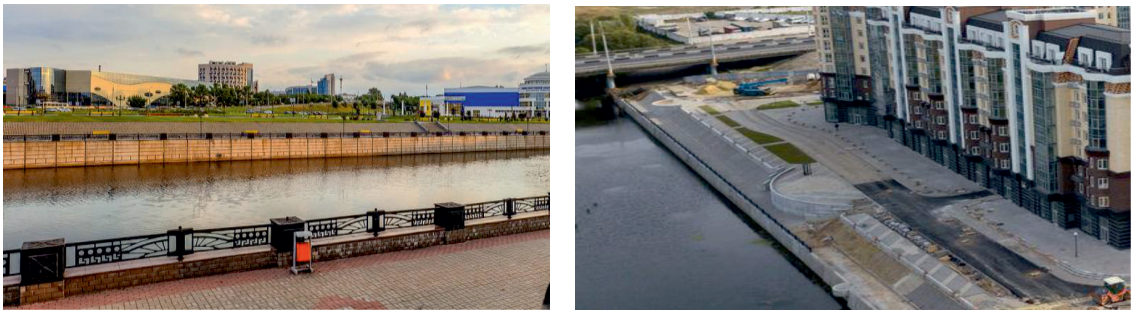
Результаты исследования и их обсуждение

Поскольку процесс формирования городской среды, основанной на принципах ландшафтного урбанизма, должен начинаться с создания взаимосвязанной системы озелененных транспортных пространств, городских общественных парков, скверов, площадей, пешеходных улиц, набережных

и заканчиваться формированием внутренних пространств жилых комплексов, то необходимо проанализировать существующую систему озеленения городского пространства. Функционально-планировочная структура г. Белгорода складывалась исторически и несёт в себе следы всех прошедших эпох, объединяя достоинства и недостатки методов формообразования городских систем каждой исторической эпохи. В результате всех этих преобразований удельный вес озелененной территории г. Белгорода составляет 31,5 %, что на 8,5 % ниже принятой нормы. В то же время отмечается диспропорция в структуре функциональных зон г. Белгорода. Соотношение между производственной, селитебной и рекреационной территориями составляет, соответственно 11,2 % – 18,9 % – 11,4 % (1:1,7:1) вместо 1:2:3 [6]. Согласно Генеральному плану развития городского округа «Город Белгород» до 2025 г. доля рекреационных территорий достигнет 14,7 %, а соотношение между функциональными зонами города будет составлять 1:2,3:1,2. Таким образом, и в 2025 г. останется актуальной проблема увеличения доли рекреационных зон в 3 раза. Достичь увеличения доли рекреационных зон планируют за счет формирования рекреационных зон в пригородной лесопарковой зоне, рекреационного обустройства промышленных районов города. В связи с этим целесообразно рассматривать рекреационные зоны не только г. Белгорода, но и всей агломерации.

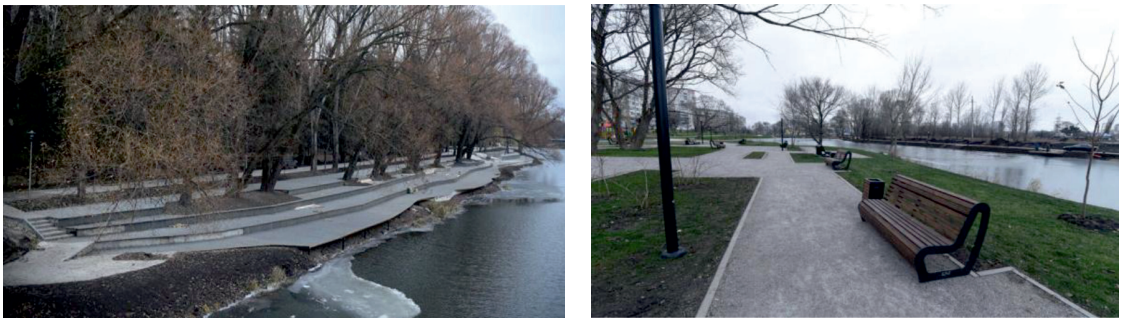
Современная система озеленения Белгородской агломерации представлена зелеными насаждениями: общего, ограниченного пользования и специального назначения. Согласно плану развития Белгородской агломерации рекреационные зоны будут формироваться преимущественно в Шебекинском и Борисовском районах, а Белгородский и Корочанский районы станут поставщиками экологически чистых продуктов питания. В соответствии с постановлением Правительства Белгородской области «О территориях рекреационного назначения» от 2.06.2008 г. № 133-пп (с изменениями на: 22.09.2014) к территориям рекреационного назначения относятся особо охраняемые природные территории. В границах Белгородской агломерации, в соответствии с постановлением Правительства Белгородской области «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий регионального значения Белгородской области» от 15.08.2016 г. № 299-пп в границах 1,5-часовой транспортной доступности, находится 14932,2 га природных парков включенных в состав особо охраняемых природных территорий. На землях рекреационного назначения в 2016–2017 гг. были созданы такие аттракторы, как сельский парк «Русская деревня» (с. Шагаровка), манеж для тренинга лошадей (с. Нижний Ольшанец), Белгородский зоопарк, экзотариум, аквапарк и динопарк в «Мультипарке «Белгородский» (урочище Сосновка). Данный рекреационный аттрактор размещается на левом берегу реки Северский Донец, в наиболее рекреационно привлекательной зоне. В настоящее время площадь территории формирующегося мультипарка составляет 1230,5 га. В то же время осуществляется обустройство Центрального парка культуры и отдыха, парка «Победы», планируется создание «Гребного канала», парковой зоны отдыха в вдоль трассы М2 «Крым», туристической рекреационной зоны «Хрустальная долина» и других. Таким образом, существующие и создаваемые рекреационные зоны Белгородской агломерации тяготеют к таким природным образованиям, как реки Ворскла, Северский Донец и ее притоки. Правый приток реки Северский Донец является ключевым элементом водного эколого-рекреационного каркаса г. Белгорода, разделяющим город на две части. Река Везелка имеет на всем своем протяжении контрастные эстетико-рекреационные пейзажи – от берегов, поросших травой до каменных. Рекреационно освоенными территориями до 2017 г. были участки от ул. Победы до ул. Попова – парки «Победа» и «Котофей», площадь трех музеев.

Первые попытки преобразования реки Везелка были начаты в 2007 г. Ее целью было создание открытой прогулочной зоны с искусственным освещением и чугунными перилами (рис. 1, а). При проектировании набережной реки Везелка (площадка спортивного комплекса Светланы Хоркиной) не были учтены природные факторы (зной и ветер), а дискомфортные условия не позволили этой эстетически привлекательной территории стать популярным местом отдыха белгородцев. Недостатком открытых пространств долин является отсутствие естественных укрытий от природных факторов. Вторая каменная набережная была построена в 2016 г. напротив площади трех музеев, что привело к эстетическо-рекреационной дисгармонии пространства (рис. 1, б).



а *б*

Рис. 1. Бетонные набережные реки Везелка: а – у спортивного комплекса С. Хоркиной, б – у жилого комплекса «Париж»



а *б*

Рис. 2. Реконструкция Белгородской набережной: а – деревянное мощение в парке «Победа», б – ошибки в планировочной организации рекреационного пространства набережной р. Везелка

Необходимость обустройства и реконструкции побережья реки Везелка появилась уже давно. Во-первых, это обусловлено тем, что с 1990 гг. на правом берегу реки Везелка рядом с зоопарком находилась заброшенная рекреационная зона (2 га), с 2013 г. – парк «Котофей». Во-вторых, береговые и аквальные комплексы парка «Победа» испытывают значительные рекреационные нагрузки, приведшие к изменению почво-растительных комплексов, появлению участков с абразионно-береговыми склонами и деградации ландшафта [7].

В 2017 г. управление архитектуры и градостроительства Белгородской области совместно с конструкторским бюро «Стрелка» проведена реконструкция 3 участков набережной реки Везелки. Д. Парамонова отмечает, что перед проведением проектных работ был проведен комплексный анализ территории, позволивший выявить зоны необходимые для жителей – прогулочная, спортивная и развлекательная. В результате проведенной реконструкции Белгородская набережная приобрела свою идентичность:

– появились среда с «контактной» водой (рыбацкие мостики, террасы и прогулочные площадки), условия для использования набережной в темное время суток, сбалансированность между пешеходной и велосипедной инфраструктурой;

– была проведена регенерация прибрежной промышленной зоны «Конпрок» с применением вертикального озеленения и парковой зоны с использованием натуральных материалов (деревянное мощение) (рис. 2, а). Данный прием позволяет укреплять откосы и создавать эстетически привлекательный внешний вид;

– созданы береговая и аквальная инфраструктуры.

Анализ теоретического и практического опыта отечественных и зарубежных исследований по реконструкции набережных рек, программы реконструкции р. Везелка, обна-

родованной на пресс-конференции, и материалов ее обследования позволил выявить недостатки проведенной реконструкции: К ним можно отнести: отсутствие на всем протяжении береговой зоны регенеративных, мелиоративных и сукцессионных работ, направленных на озеленение прибрежных территорий, вырубку деревьев вдоль береговой линии, ошибки в планировочной организации рекреационного пространства (без учета видовых точек) (рис. 2, б).

Поскольку город это динамичная изменяемая система под запросы потребителей, то и набережные должны изменяться, сохраняя свою целостность. В связи с этим для реализации принципов ландшафтного урбанизма и устранения допущенных ошибок необходимо провести мероприятия направленные на оздоровление и повышение аттрактивности береговых и аквальных комплексов:

1) ликвидировать несанкционированные сбросы в реку Везелка,

2) провести лесо- и лугомелиоративные работы путем последовательного замещения старой растительности многолетними устойчивыми к выкатыванию травами и высадкой древесно-кустарниковых пород, направленные на берегоукрепление, создание визуальных разделительных барьеров, реструктуризации и озеленение пространства у спортивного комплекса С. Хоркиной, в промышленной зоне и прилегающих территориях,

3) использовать фиторемедитацию и другие экологические способы очистки воды для восстановления водной флоры и фауны,

4) закрыть в районе парка улицу Попова для движения транспорта и сократить площадь наземных парковок,

5) обеспечить энергоэффективность зданий.

Выводы

1. Тенденции развития городов, последних лет направлены на создание благоприятных условий для жизни в урбанизированном ландшафте и очистку окружающей природной среды в городских пространствах. Реализация данных тенденций осуществляется через разработку новой пространственной структуры «городов-ландшафтов», или реорганизацию существующей структуры, в которых экологическая и ландшафтная составляющая является главенствующей.

2. Рекреационные территории в функционально-планировочной структуре городской среды являются частью ландшафтной инфраструктуры города, обеспечивающей устойчивость всего городского пространства. А современные городские пространства, организованные с учетом принципов ландшафтного урбанизма в структуре крупных городов имеют ярко выраженное общественно-рекреационное значение, что соответствует современным градостроительным регламентам – SCOT и SRU.

3. В соответствии с отечественным и зарубежным опытом, набережные являются основными осями роста городов, выступающими в качестве эффективных барьеров и обеспечивающими целостность природной и урбанизированной систем, условия для качественной и полноценной жизни, то при их реконструкции необходимо стремиться к сохранению и восстановлению природной среды.

4. Поскольку ландшафтный подход позволяет обеспечить необходимую географическую связанность территории, защитить городские системы от стихийных бедствий (штормов, наводнений и других), то восстановление и реконструирование береговых и аквальных комплексов рек Везелка и Северский Донец позволит не только сформировать единые рекреационное пространство и водно-рекреационный каркас с целью устойчивого развития территории, но и защитить территории от подтоплений и будет способствовать оздоровлению населения.

Список литературы

1. Красильникова Э. Ландшафтный урбанизм: новый взгляд на старую проблему [Электронный ресурс]. – URL: http://green-city.su/landshaftnyj-urbanizm (дата обращения: 10.01.2018).

2. Логунова Е.Н. Ландшафтный урбанизм как метод формирования экологического сознания [Электронный ресурс]. – URL: http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/11985 (дата обращения: 10.01.2018).

3. Gintoff Vladimir. Projects that Explain Landscape Urbanism and How it's changing the face of cities. ArchDaily [Электронный ресурс]. – URL: https://www.archdaily.com (дата обращения: 10.01.2018).

4. Красильникова Э.Э. Современный ландшафтно-градостроительный подход к созданию городских общественно-рекреационных территорий. – Проект Нижняя Волга. – 2013. – № 4. – С. 26.

5. Красильникова Э.Э. Перспективы развития прибрежных общественно-рекреационных территорий / Э.Э. Красильникова, О.С. Данилина, М.А. Прохорова, Н.П. Яровая // Сборник Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области: «Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство». – 2010. – С. 382–384.

6. Полякова Т.А. Состояние и оценка функционально-планировочной структуры крупного города: на примере г. Белгорода: автореф. дис. … канд. географ. наук. – Краснодар, 2011. – 23 с.

7. Лозовая С.Ю. Анализ затоплений урбанизированных территорий Белгородской области с использованием

геоинформационных систем и технологий / С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, В.В. Смолярчук, А.Э. Трунова // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 9 – С. 63–67.

References

1. Krasil'nikova E. Landshaftnyi urbanizm: novyi vzgliad na staruiu problemu [Landscape urbanism: a new look at an old problem]. Available at: http://green-city.su/landshaftnyj-urbanizm (accessed 10.01.2018).

2. Logunova E.N. Landshaftnyi urbanizm kak metod formirovaniia ekologicheskogo soznaniia [Landscape urbanism as a method of formation of ecological consciousness]. Available at: http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/11985 (accessed 10.01.2018).

3. Gintoff Vladimir. Projects that Explain Landscape Urbanism and How it,s changing the face of cities. ArchDaily. Available at: https://www.archdaily.com (accessed 10.01.2018).

4. Krasil'nikova E.E. Sovremennyi landshaftno-gradostroitel'nyi podkhod k sozdaniiu gorodskikh obshchestvenno-rekreatsionnykh territorii. – Proekt, Nizhniaia Volga. 2013. No. pp. 26. [Modern landscape-urban approach to creating urban public recreational areas. Project The Lower Volga. 2013. No. 4. pp. 26.]. Proekt Nizhniaia Volga [Project The Lower Volga. 2013. No. 4. pp. 26.]. Volgograd, 2013, pp. 26.

5. Krasil'nikova E.E., Danilina O.S., Prokhorova M.A., Iarovaia N.P. Perspektivy razvitiia pribrezhnykh obshchestvenno-rekreatsionnykh territorii [Krasilnikova E.E. prospects of development of the coastal public recreational areas]. Mezhdunarodnaia konferentsiia nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitelstvo i stroitel''stvo (g. Volgograd, 6–10 sentiabria 2010 g.) [Proceedings of international conference «Science and Education: Architecture, urban planning and construction» (Volgograd, September 6–10, 2010)], Volgograd state University of architecture and civil engineering, Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2010, pp. 382–384.

6. Poliakova T.A. Sostoianie i otsenka funktsional'no-planirovochnoi struktury krupnogo goroda: na primere g. Belgoroda [State and evaluation of the functional-planning structure of a large city (by the example of Belgorod)]. avtoref. na soiskanie stepeni k.g.n. Krasnodar, 2011, 23.

7. Lozovaia S.Iu., Lozovoi N.M., Smoliarchuk V.V., Trunova A.E. Analysis of flooding of urban areas of the Belgorod region with the use of geographic information systems and technologies [Analiz zatoplenii urbanizirovannykh territorii Belgorodskoi oblasti s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh sistem i tekhnologii]. Nauka i obrazovanie segodnia – Science and education today, 2017, no. 9, pp. 63–67.

УДК 504.054:54.06

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

[1]Малкова М.А., [1]Кантор Е.А., [1,2]Вождаева М.Ю.

[1]ГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, e-mail: kykyshka2009@mail.ru, evgkantor@mail.ru;

[2]МУП «Уфаводоканал», Уфа, e-mail: vozhdaeva@mail.ru

Подготовка питьевой воды на инфильтрационном водозаборе, как правило, включает в себя этап обеззараживания воды хлорсодержащими агентами. При хлорировании питьевой воды происходит образование тригалогенметанов (ТГМ) – галогенорганических соединений, которые могут оказывать негативное влияние на состояние здоровья человека, обладать отдаленными канцерогенным и мутагенным эффектами. Обнаруженное в ходе проведения исследования подобие в кривых изменения дозы хлора, вводимого в обрабатываемую воду с целью обеспечения бактерицидного действия, и суммарного значения концентраций компонентов ТГМ предполагает возможность существования связи между величинами этих показателей. В результате установлено, что зависимость «доза хлора – концентрация компонентов ТГМ» описывается линейным соотношением как для суммарного значения ТГМ, так и для отдельных его компонентов: хлороформа (ХФ), бромдихлорметана (БДХ), дибромхлорметана (ДБХ) с коэффициентами корреляции, равными 0,79; 0,81; 0,77 соответственно. Полученные значения коэффициентов корреляции по шкале Чеддока свидетельствуют о наличии высокой силы связи между рассматриваемыми показателями. Проведено прогнозирование суммарного содержания ТГМ и его компонентов в питьевой воде в зависимости от дозы введенного хлора с помощью пропорциональных зависимостей. Установлено, что ошибка предлагаемого прогноза составляет 11–30% при точности аналитического определения концентраций компонентов ТГМ, составляющей 26–42%. Таким образом, можно ориентировочно оценить суммарные содержания ТГМ и их компонентов в питьевой воде после хлорирования, используя в расчетах дозу хлора или исходя из концентрации ТГМ и его компонентов с учетом периодов, предшествующих прогнозируемому.

Ключевые слова: тригалогенметаны (ТГМ), прогнозирование концентрации ТГМ, математическое моделирование, корреляционный анализ

THE PREDICTION OF TRIHALOMETHANE'S CONCENTRATION IN DRINKING WATER

[1]Malkova M.A., [1]Kantor E.A., [1,2]Vozhdaeva M.Yu.

[1]Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: kykyshka2009@mail.ru, evgkantor@mail.ru;

[2]MUP «Ufavodokanal», Ufa, e-mail: vozhdaeva@mail.ru

Preparation of drinking water for infiltration water intake, as a rule, includes the stage of water disinfection with chlorine-containing agents. When chlorinating drinking water, trihalomethanes (TGM) – halogen organic compounds are formed, which can have a negative impact on human health, have remote carcinogenic and mutagenic effects. The similarity found in the curves of the change in the chlorine dose introduced into the treated water in order to ensure bactericidal action and the total concentration of the components of THM suggests a possible relationship between the values of these parameters. As a result, it was found that the «chlorine dose-concentration of TGM components» dependence is described by a linear relationship for both the total TGM value and for its individual components: chloroform (CHF), bromochloromethane (DBH), dibromochloromethane (DBH) with correlation coefficients equal to 0,79; 0.81; 0.77 respectively. The obtained values of correlation coefficients on the Caddock scale indicate the presence of a high coupling strength between the indicators considered. The total content of TGM and its components in drinking water has been predicted, depending on the dose of chlorine injected using proportional dependencies. It is established that the error of the proposed forecast is 11-30% with an accuracy of analytical determination of the concentrations of the THM components, which is 26-42%. Thus, it is possible to roughly estimate the total contents of TGM and their components in drinking water after chlorination, using the chlorine dose in calculations or based on the concentration of TGM and its components, taking into account the periods preceding the predicted one.

Keywords: trihalomethane (TGM), TGM concentration forecasting, mathematical modeling, correlation analysis

При подготовке питьевой воды зачастую в качестве одного из этапов обработки применяется её обеззараживание хлорсодержащими агентами [1–3]. В зависимости от загрязненности обрабатываемой воды вводится разная доза хлора [4, 5]. Важным условием является присутствие в воде остаточного свободного хлора на уровне 0,5–0,8 мг/дм^3, что обеспечивает пролонгированность обеззараживающего действия хлора в системе трубопроводов, по которым вода подается потребителю [6, 7].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служит инфильтрационный водозабор (ИВ) г. Уфы. Использованы данные аналитического контроля концентраций ТГМ в речной и питьевой воде за период 1995–2013 гг. [5], данные по суточной подаче воды и количе-

ству затраченного хлора за сутки на водозаборе ИВ.

При оценке данных использовались математические методы, позволяющие на основе экспериментальных данных моделировать суммарное содержание и отдельные компоненты ТГМ в питьевой воде.

Результаты исследования и их обсуждение

Характер изменения дозы хлора на ИВ свидетельствует о существенных колебаниях и тенденции роста этого показателя (рис. 1) [8].

Значения коэффициентов корреляции (Кк) между дозой хлора и концентрацией суммы ТГМ составляют 0,06, ХФ – 0,30, БДХ – –0,22 и ДБХ – –0,24. Причиной таких результатов представляется то обстоятельство, что в оба параметра (доза хлора и концентрация ТГМ) значительный вклад вносит случайная составляющая [5]. Так, например, при разложении временного ряда содержания хлороформа в резервуаре чистой воды ИВ методом сезонной декомпозиции выявлено, что случайная компонента составила 62,7 % [8]. Результаты аналогичной обработки данных по дозе хлора показали, что вклад случайной компоненты составляет 52,7 %.

Оценка расчетных концентраций компонентов ТГМ с помощью линейных уравнений зависимости «концентрация ТГМ – доза хлора» выявила среднюю относительную ошибку прогноза на уровне 60 % (табл. 1).

Полученные зависимости характеризуются низким значением коэффициента детерминации (R^2 колеблется в пределах 0,011 до 0,101) (рис. 2).

В этой связи представляется целесообразным включить в обработку экспериментально полученных результатов этапы, связанные с усреднением или сглаживанием исходных данных. Наиболее простым математическим способом является вычисление средних значений.

Данные аналитического контроля позволяют рассчитать средние величины содержания ТГМ и их компонентов и доз хлора по месяцам за период 1995–2013 гг. (табл. 2).

Подобие изменения дозы хлора и суммарного значения концентраций ТГМ

Таблица 1

Параметры линейной зависимости вида $C_{ТГМ} = k \times Д_{Cl} + b$ «концентрация ТГМ – доза хлора»

Компонент	k	b	R^2	Средняя относительная ошибка, %
∑ТГМ	2,67	4,96	0,01	37,1
ХФ	6,13	1,11	0,10	43,3
БДХ	–1,97	2,52	0,05	58,3
ДБХ	–1,50	1,32	0,06	112,7

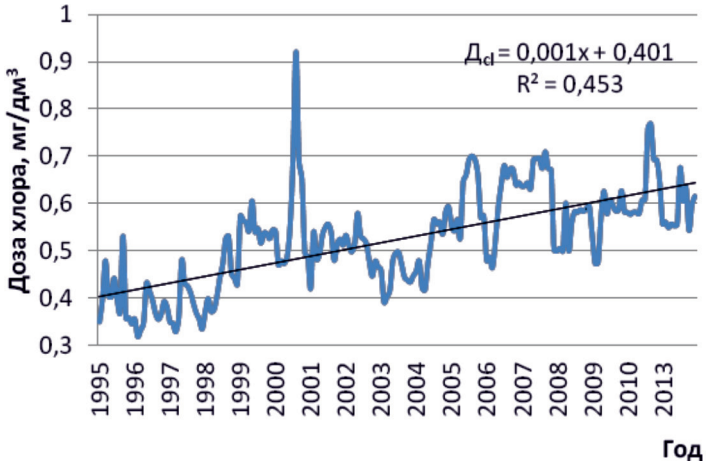


Рис. 1. Изменение дозы хлора ($Д_{Cl}$) на водозаборе ИВ за период 1995–2013 гг., мг/дм³ (x – порядковый номер измерения)

(рис. 3) предполагает вероятность существования связи между величинами этих показателей. Действительно, величина Кк свидетельствует о том, что между дозой хлора и суммарной концентрацией ТГМ, ХФ, БДХ существует высокая сила связи (по шкале Чеддока) [8] (Кк – 0,79; 0,81; 0,77 соответственно). И только между дозой хлора и ДБХ связь характеризуется как слабая (Кк = –0,28) (табл. 3).

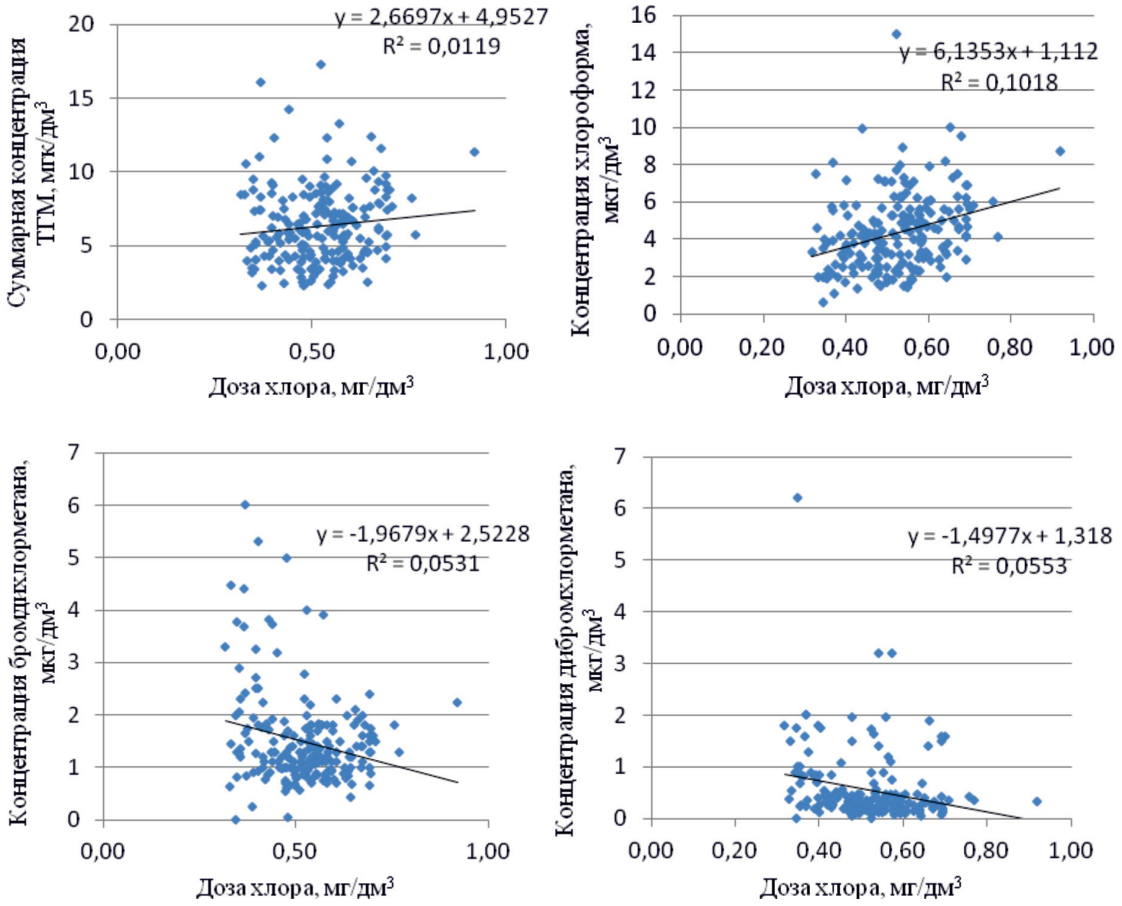
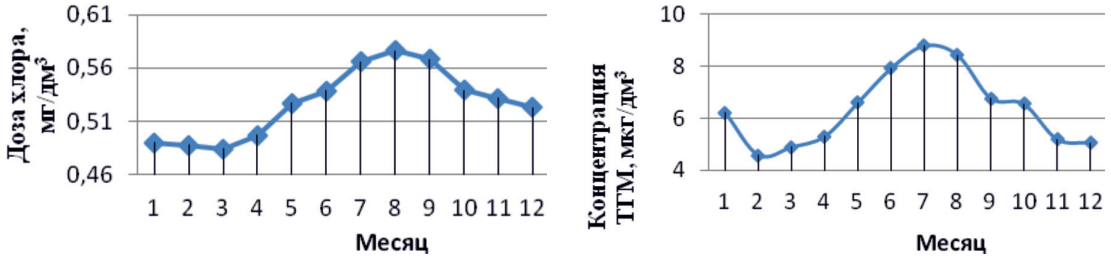


Рис. 2. Зависимости «доза хлора – концентрация ТГМ и их компонентов»

Таблица 2

Средние месячные значения дозы хлора, ∑ТГМ, ХФ, ДБХ, БДХ, БФ на ИВ за 1995–2013 гг.

Номер месяца	Доза хлора, мг/дм³	∑ТГМ, мкг/дм³	ХФ, мкг/дм³	ДБХ, мкг/дм³	БДХ, мкг/дм³	БФ, мкг/дм³
1	0,49	6,21	3,63	0,82	1,35	0,00
2	0,49	4,57	2,93	0,44	1,14	0,00
3	0,48	4,88	2,74	0,62	1,28	0,00
4	0,50	5,29	3,13	0,46	1,29	0,00
5	0,53	6,60	4,36	0,34	1,52	0,00
6	0,54	7,92	6,18	0,29	1,38	0,00
7	0,57	8,79	6,67	0,33	1,64	0,00
8	0,58	8,43	5,79	0,58	1,90	0,00
9	0,57	6,76	4,49	0,56	1,66	0,00
10	0,54	6,55	4,21	0,54	1,78	0,00
11	0,53	5,19	3,56	0,38	1,20	0,00
12	0,52	5,05	3,60	0,33	1,12	0,00



а) *б)*

Рис. 3. Средние значения по месяцам в период 1995–2013 гг. (мкг/дм³): а) доза хлора б) суммарная концентрация ТГМ

Таблица 3

Параметры линейной зависимости вида $y = k \times Д_{Cl} + b$ «средняя месячная концентрация ТГМ – средняя месячная доза хлора»

Компонент	k	b	R^2	Средняя относительная ошибка, %
∑ТГМ	34,28	–11,76	0,64	10,8
ХФ	31,51	–12,37	0,67	11,7
БДХ	5,88	–1,67	0,59	14,0
ДБХ	–1,28	1,15	0,07	28,7

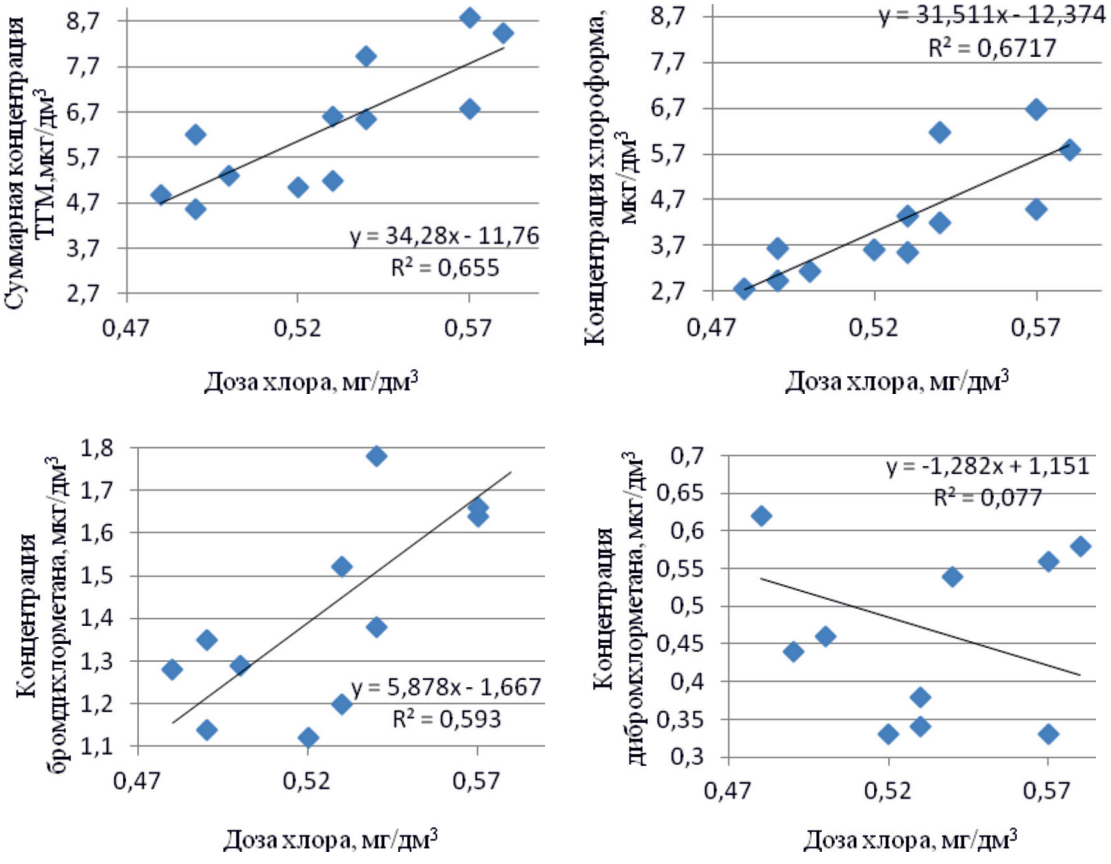


Рис. 4. Зависимости «усредненная доза хлора – усредненная концентрация ТГМ и их компонентов»

При рассмотрении зависимостей усредненных концентраций доз хлора и компонентов ТГМ повышается значение коэффициента детерминации (до 0,67) (рис. 4).

Несмотря на возможность получения сравнительно удовлетворительных прогнозных значений ТГМ в зависимости от дозы хлора следует учитывать тот факт, что отношения отклонения от расчетных значений могут оказаться значительными. Например, отклонение прогнозной концентрации ХФ от расчетной в декабре 2006 г. составило более 150%.

Можно предположить, что точность прогноза можно повысить за счет учета текущей концентрации компонентов ТГМ в период, непосредственно предшествующий прогнозируемому. Таким образом можно учесть, например, климатические изменения, которые в значительной степени влияют на качество воды водоисточника. Тогда расчет прогнозных концентраций можно провести по формуле

$$C_{n+1} = \frac{\sum C_{\text{фк}} \times C_n}{\sum C_{\text{к}}},$$

где C_{n+1} – прогнозируемая концентрация ТГМ или компонента ТГМ;

$\sum C_{\text{фк}}$ – суммарное значение фактических концентраций ТГМ или компонента ТГМ за предыдущие k месяцев;

C_n – средняя многолетняя концентрация ТГМ или компонента ТГМ за предыдущий месяц;

$\sum C_{\text{к}}$ – сумма средних месячных значений (1995–2013 гг.) концентраций ТГМ или компонента ТГМ за предыдущие k месяцев.

Нами рассмотрены несколько периодов усреднения, равные 2, 4, 6 и 12 месяцев и проведена оценка относительных ошибок прогноза в каждом случае (табл. 4).

Полученные результаты показывают, что относительные ошибки прогноза для разных периодов усреднения отличаются незначительно (табл. 4).

Расчет $К_К$ между фактической и прогнозируемой концентрацией компонентов ТГМ показал, что значения коэффициентов корреляции для суммы ТГМ и ХФ достигают – 0,52, ДБХ – 0,51 и БДХ – 0,47.

Следует отметить, что усредненная относительная ошибка прогноза составляет от 5,0 до 72,2%. В качестве примера приведены значения фактических и прогнозных концентраций ХФ для 2000 г. (табл. 5).

Таблица 4

Относительные ошибки прогноза с использованием различных периодов усреднения, предшествующих прогнозируемому, %

Компонент ТГМ	Период усреднения, месяц			
	2	4	6	12
ХФ	35,5	33,4	33,4	33,1
ДБХ	76,8	84,5	86,4	92,3
БДХ	47,2	42,6	46,3	53,5

Таблица 5

Значения фактических и прогнозных концентраций ХФ в питьевой воде ИВ за 2000 г. (период 12 месяцев)

Месяц	Фактическая концентрация, мкг/дм^3	Прогнозная концентрация, мкг/дм^3	Относительная ошибка прогноза, %
1	14,25	3,96	72,2
2	13,00	4,71	63,7
3	11,20	5,40	51,8
4	9,32	5,67	39,2
5	14,80	8,81	40,5
6	10,10	9,59	5,0
7	14,20	8,92	37,2
8	19,40	9,86	49,2
9	25,70	8,65	66,3
10	27,00	15,82	41,4
11	19,50	14,08	27,8
12	20,00	17,03	14,9

Таким образом, ориентировочно оценить содержание ТГМ и их компонентов в питьевой воде после хлорирования можно, используя в расчетах дозу хлора или исходя из концентрации ТГМ и его компонентов с учетом периодов, предшествующих прогнозируемому. Такой прогноз можно считать удовлетворительным, если учитывать тот факт, что точность анализа ТГМ и его компонентов составляет 26–42 %, т.е. сравнима с уровнем, достигаемым при прогнозе.

Заключение

Анализ возможности прогнозирования содержания ТГМ и их компонентов проведен с использованием дозы хлора, вводимой в воду для обеззараживания, или непосредственно по концентрации ТГМ и их компонентов, содержащиеся в различные по продолжительности периоды, предшествующие прогнозируемым значениям. Выявлена высокая сила связи между средними месячными значениями дозы хлора и суммарной концентрацией компонентов ТГМ. Относительная ошибка при прогнозировании ТГМ и его компонентов достигает в среднем 53,2 %. С учетом того, что точность аналитического определения ТГМ составляет 26–42 %, прогноз концентрации ТГМ и их компонентов следует считать удовлетворительным.

Список литературы

1. Мифтахова К.Р., Пьянкова О.Г., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С. Хлорирование как основной метод обеззараживания питьевой воды // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2015. – Т. 1. – С. 233–242.

2. Ивлева Г.А., Нечаев И.А., Гусев Н.Н. Проблема обеспечения населения чистой водой // Чистая вода: проблемы и решения. – 2009. – № 1. – С. 19–22.

3. Рахманин Ю.А. Качество и безопасность воды различных видов водопользования // Экологический вестник России. – 2008. – № 3. – С. 24–28.

4. Душкин С.С., Благодатная Г.И. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды: моногр. // Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Харьков, 2009. – 95 с.

5. Холова А.Р., Вагнер Е.В., Вождаева М.Ю., Кантор Е.А., Труханова Н.В., Мельницкий И.А. Современный подход к оценке качества питьевой воды // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017. Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Ю.А. Омельчук, Н.В. Ляминой, Г.В. Кучерик. – Севастополь, 2017. – С. 1463–1467.

6. Холова А.Р., Вождаева М.Ю., Вагнер Е.В., Кантор Е.А., Труханова Н.В., Мельницкий И.А. Содержание органических соединений в питьевой воде, транспортируемой по распределительной водопроводной сети г. Уфы // В сборнике: Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований материалы XI международной научно-практической конференции. НИЦ «Академический». – 2017. – С. 172–175.

7. Труханова Е.В., Вождаева М.Ю., Кантор Л.И., Кантор Е.А., Мельницкий И.А. Исследование влияния галогенуксусных кислот на результаты определения тригалометанов в воде // Экология и промышленность России. – 2011. – № 2. – С. 41–45.

8. Гладилин А.В. Эконометрика: учебное пособие / А.В. Гладилин, А.Н. Герасимов, Е.И. Громов. – М.: Кнорус, 2009. – 232 с.

References

1. Miftakhova K.R., P'iankova O.G., Rudakova L.V., Glushankova I.S. Chlorination as the main method of drinking water disinfection [Khlorirovanie kak osnovnoi metod obezzarazhivaniia pit'evoi vody]. Ekologiia i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika. – Ecology and scientific and technical progress. Urbanistics, 2015, no. 1, pp. 233–242.

2. Ivleva G.A., Nechaev I.A., Gusev N.N. The problem of providing the population with clean water [Problema obespecheniia naseleniia chistoi vodoi]. Chistaia voda: problemy i resheniia – Clean water: problems and solutions, 2009, no. 1, pp. 19–22.

3. Rakhmanin Iu.A. Water quality and safety of different types of water use [Kachestvo i bezopasnost' vody razlichnykh vidov vodopol'zovaniia]. Ekologicheskii vestnik Rossii – Ecological Herald of Russia, 2008, no. 3, pp. 24–28.

4. Dushkin S.S., Blagodatnaia G.I. Razrabotka nauchnykh osnov resursosberegaiushchikh tekhnologii podgotovki ekologicheski chistoi pit'evoi vody [Development of scientific foundations of resource-saving technologies for the preparation of ecologically clean drinking water]. Kharkov, Khar'kovskaia natsional'naia akademiia gorodskogo khoziaistva, 2009, 95.

5. Kholova A.R., Vagner E.V., Vozhdaeva M.Iu., Kantor E.A., Trukhanova N.V., Mel'nitskii I.A. Sovremennyi podkhod k otsenke kachestva pit'evoi vody [The modern approach to the assessment of drinking water quality]. Ekologicheskaia, promyshlennaia i energeticheskaia bezopasnost' – 2017 (g. Sevastopol', 11–15 sentiabria 2017 g.) [Proceedings of Ecological, industrial and energy security - 2017 (Sevastopol, September 11–15, 2017)], Sevastopol, Sevastopol'skii gosudarstvennyi universitet, 2017, pp. 1463–1467.

6. Kholova A.R., Vozhdaeva M.Iu., Vagner E.V., Kantor E.A., Trukhanova N.V., Mel'nitskii I.A. Soderzhanie organicheskikh soedinenii v pit'evoi vode, transportiruemoi po raspredelitel'noi vodoprovodnoi seti g. Ufy [The content of organic compounds in drinking water transported through the distribution network of the city of Ufa]. Aktual"nye napravleniia fundamental"nykh i prikladnykh issledovanii (g. Severnyi Charl'ston, 27–28 fevralia 2017 g.) [Proceedings of actual directions of fundamental and applied research (North Charleston, February 27-28, 2017)], CreateSpace, NITs Akademicheskii, 2017, pp. 172–175.

7. Trukhanova E.V., Vozhdaeva M.Iu., Kantor L.I., Kantor E.A., Mel'nitskii I.A. tion of the effect of haloacetic acids on the results of determination of trihalomethanes in water [Issledovanie vliianiia galogenuksusnykh kislot na rezul'taty opredeleniia trigalometanov v vode]. Ekologiia i promyshlennost' Rossii – Ecology and industry of Russia, 2011, no. 2, pp. 41–45.

8. Gladilin A.V. Ekonometrika: uchebnoe posobie [Econometrics: a textbook]. Moscow, Knorus, 2009, 232.

УДК 550.394: 551.26: 551.46

ПРОЯВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В СТРУКТУРЕ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДКОВ СРЕДНЕГО КАСПИЯ

[1]Путанс В.А., [1]Мерклин Л.Р., [2]Зеленин Е.А.

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: vitapu@mail.ru;
[2]Геологический институт РАН, Москва, e-mail: egorzelenin@mail.ru

Средний Каспий характеризуется сравнительно высоким уровнем сейсмичности, поскольку его западная граница проходит по сейсмоактивной области и представляет собой контрастное сочетание горных сооружений восточной окраины Дагестанского клина с Дербентским прогибом. Интенсивное прогибание здесь началось в конце плиоцена и продолжается до сих пор, не компенсируясь осадконакоплением. В исследовании использованы каталоги, в которых представлены сейсмические события за последние 150 лет. Максимальная зафиксированная магнитуда этих землетрясений составляет 6,4. Наше исследование сопоставляет эти события и высокоразрешающие сейсмоакустические профили. Вблизи очагов землетрясений в структуре современных осадков и рельефе морского дна наблюдаются десятки нарушений: разломы и серии разломов амплитудой до 20 метров, вертикальные зоны потери корреляции («газовые трубы»), горизонтальные зоны потери корреляции. Географически можно выделить три зоны нарушений: западный склон Дербентской котловины, южный склон (Апшеронский порог), и глубоководная часть ближе к востоку. Также выделяются несколько событий вне групп. В пределах западного склона преобладают серии разломов. В котловине слоистость не нарушена, но наблюдаются вертикальные зоны потери корреляции («газовые трубы»), у подножия Апшеронского порога – сочетание вертикальных и горизонтальных зон потери корреляции. Учитывая расположение известных нефтегазовых структур, авторы предполагают, что на сейсмических разрезах наблюдается не только локальный отклик на напряженное состояние горных пород, но и флюидодинамическая активность (дегазация) нефтегазоносных горизонтов, потревоженных землетрясениями, в том числе малой магнитуды (около 4).

Ключевые слова: Каспийское море, землетрясения, осадочная толща, тонкая структура осадков, дегазация, разломы

SIGNS OF MODERN TECTONIC EVENTS IN LATE-QUATERNARY SEDIMENTS OF MIDDLE CASPIAN

[1]Putans V.A., [1]Merklin L.R., [2]Zelenin E.A.

[1]Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: vitapu@mail.ru;
[2]Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: egorzelenin@mail.ru

Middle Caspian is characterized by rather high seismic activity, because its western border relates to seismoactive area and is presented by contrasting combination of Dagestan mountain clinoform's eastern border neighbored with Derbent trough. Intensive troughing here have been started here in the end of Pliocene and stay uncompensated by sediments. Modern tectonic events (earthquakes) have been recorded and catalogued during last 150 years and have maximum known magnitude of 6,4. Our study collates this events and high-resolution seismoacoustic profiles. Nearby focuses of earthquakes there are tens of disruptions in sediment structure and in seafloor relief. Disruption types are: faults and fault groups (amplitude up to 20 meters), vertical zones of un-correlation («gas pipes»), horizontal zones of un-correlation. Disruptions could be grouped by three areas: western slope of Derbent basin, its southern slope, and its deep part on the east. As well there are several events outside the groups. On western slope most disruptions are presented by faults. In deep basin sediment layers in general are not disturbed but there are plenty of vertical zones («gas pipes»); on Apsheron threshold step there is combination of vertical and horizontal «uncorrelated» zones. Taking in account position of known hydrocarbon structures, authors assume that seismoacoustic sections represent disruptions which are coupled not only with local response of sediments to tectonic events (earthquakes), but with fluid dynamics – degasation of hydrocarbon horizons, disturbed by earthquakes, including ones with low magnitude (near 4).

Keywords: Caspian sea, earthquakes, sediments, fine sediment structure, degasation, faults

Современные тектонические подвижки приводят к деформациям как осадочной толщи в целом, так и приповерхностных слоёв. Многократно повторяющиеся землетрясения небольшой магнитуды могут активизировать оползневые процессы, а также сход мутьевых потоков и различные формы оползания. Вопрос о гравитационной неустойчивости четвертичных, прежде всего голоценовых отложений континентальных склонов Центрального Каспия имеет большой прикладной аспект в условиях активной разведки и разработки нефтегазовых месторождений. Учитывая высокую скорость и непредсказуемость изменений уровня Каспийского моря, крайне важно подробно и всесторонне изучать все известные зоны нестабильности и потенциальной нестабильности [1].

Геологическая обстановка

В структурном плане Каспий – субмеридионально ориентированная депрессия

позднечетвертичного возраста, которая пересекает разнородные структурные элементы. Распределение сейсмогенных зон хорошо коррелируется с современными полями напряжений в Кавказском регионе и наиболее вероятными направлениями смещения литосферных масс, преимущественно на северо-восток. Геоморфологически разделяют Северный, Средний, и Южный Каспий. Средний Каспий характеризуется сравнительно высоким уровнем сейсмичности [2], поскольку его западная граница проходит по сейсмоактивной области Северо-Восточного Кавказа, а южная обрамляется структурами Апшеронского порога. Сейсмический эффект на западном континентальном склоне Среднего Каспия может достигать 6–7 баллов.

В работе Иванова, Трифонов [3] проведено сеймотектоническое районирование Каспия по очаговым зонам землетрясений, приуроченных к границам новейших структур с высокими градиентами параметров глубинного строения. Согласно этой классификации, использованные нами очаги с магнитудой больше 3,5 [4, 5] расположены в сейсмотектонической провинции I. Провинция представляет собой контрастное сочетание горных сооружений восточной окраины Дагестанского клина с Дербентским прогибом западной части Среднего Каспия. Интенсивное прогибание началось здесь в конце плиоцена и продолжается до сих пор, не компенсируясь осадконакоплением.

Цели и методы исследования

Деформации как осадочной толщи в целом, так и приповерхностных слоёв, вызванные многократными землетрясениями небольшой магнитуды, могут активизировать оползневые процессы, а также сход мутьевых потоков и различные формы оползания. В данной статье приводятся результаты исследования, которые позволят расширить представление о зонах нестабильности и потенциальной нестабильности верхней части осадочной толщи на Среднем Каспии [6]. Исследованы конкретные сейсмоакустические аномалии, связанные с современными землетрясениями небольшой магнитуды.

Помимо официальных каталогов землетрясений, включая электронные ресурсы, в работе использовались сейсмоакустические профили высокого разрешения (электроискровой источник Спаркер, несущая частота 250 Гц, разрешение до 3 м) и сверхвысокого разрешения (параметрический профилограф SES, частоты 2–7 кГц, разрешение до 0,3 м), полученные Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2004–2013 гг. (рис. 1). Сейсмоакустика – направление малоглубинной сейсмики, в котором используются акустические волны на более высоких частотах (килогерцы), чем в «большой сейсмике» (десятки – сотни герц) [7]. Сейсмоакустический временной разрез даёт информацию только о самой верхней части осадочной толщи (не глубже 150 м под уровнем дна), и при этом вертикальное разрешение увеличивается до первых метров – десятков сантиметров. По данным такого профилирования, в Среднем Каспии выявляются небольшие разломы на разных уровнях разреза и связанные с ними аномалии волнового поля в виде «газовых труб» с покмарками и ослабленных зон в слоях возрастом от 30 тыс. лет до 7 тыс. лет [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Поблизости от очагов землетрясений, в верхней части осадочного чехла на сейсмических записях выделяется несколько десятков объектов различной степени выраженности. Объекты можно разделить на два типа: разломы и серии разломов амплитудой от 10 до 20 метров, и зоны потери корреляции, как вертикальные, так и горизонтальные. Выделено более двадцати самых крупных деформаций, которые проявляются не только в осадочной толще, но и на современном морском дне. Шесть из этих деформаций обособлены, как и связанные к ними очаги землетрясений, остальные легко группируются по географическо-морфологическим признакам. Всего выделено три большие группы: на западном склоне Дербентской котловины, в котловине, и в районе Апшеронского порога (рис. 1). В некоторых случаях на нескольких соседних профилях отражается одна и та же структура (нарушение). Как правило, такая ситуация наблюдается поблизости от нескольких очагов.

Обособленные деформации

Все обособленные деформации имеют глубину очага до 5 км (рис. 1). Самая впечатляющая из обособленных деформаций расположена на юго-западе Мангышлакского порога и представляет собой разлом, «живущий» длительное время (рис. 2) и развивавшийся в несколько этапов. Кроме основного разлома, на записи видны серии мелких субвертикальных нарушений, а также выделяется горизонтальная зона потери корреляции. К северо-востоку от разлома на

продолжении линии профиля (сам профиль туда не доходит) имеется два очага магнитудой 4–4,5.

Дербентский склон

Деформации коррелируют с большим количеством очагов землетрясений магнитудой от 3,5 до 5 баллов. На сейсмических разрезах наблюдаются главным образом дизъюнктивные нарушения различной степени выраженности и амплитуды, а также вертикальные и зоны потери корреляции (рис. 3). Многообразие объектов связано, скорее всего, с расчлененным рельефом Дербентского склона, а также с непосредственной близостью сейсмически активных структур Большого Кавказа. Распределение объектов по площади неоднородно.

Если на северо-западе преобладают очаги на средней глубине 20 км, в диапазоне магнитуд 3,5–4 и слабо выраженные разрывные нарушения, то к юго-западу балльность увеличивается до 4,5–5, с единичным очагом 6,1. На сейсмических профилях появляются вертикальные зоны потери корреляции, а разломы увеличиваются в размерах и приобретают вид грабенов (рис. 3). Глубина очагов здесь колеблется от 50 до 75 км. В связи с этим возможно разбиение на подгруппы.

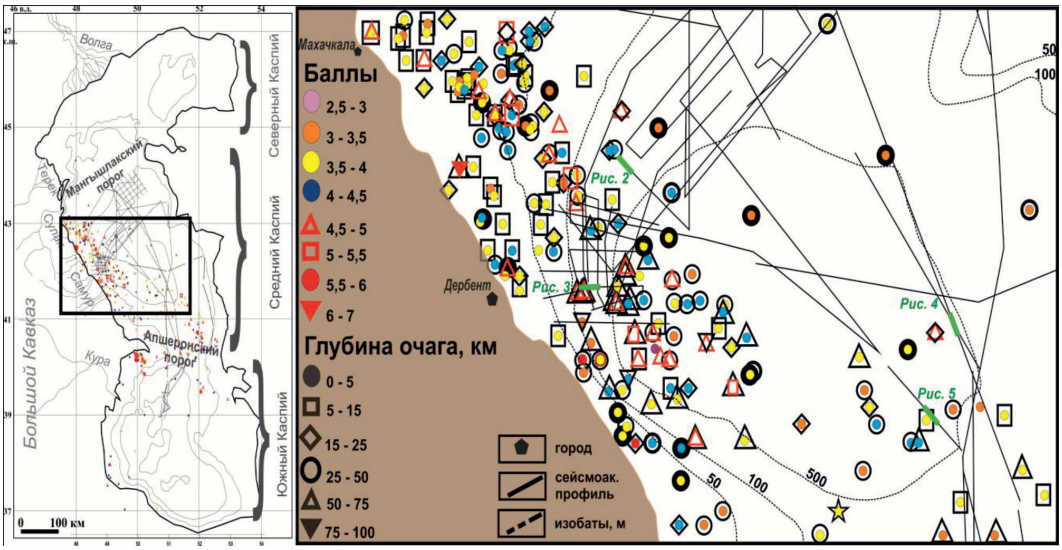


Рис. 1. Очаги и профили

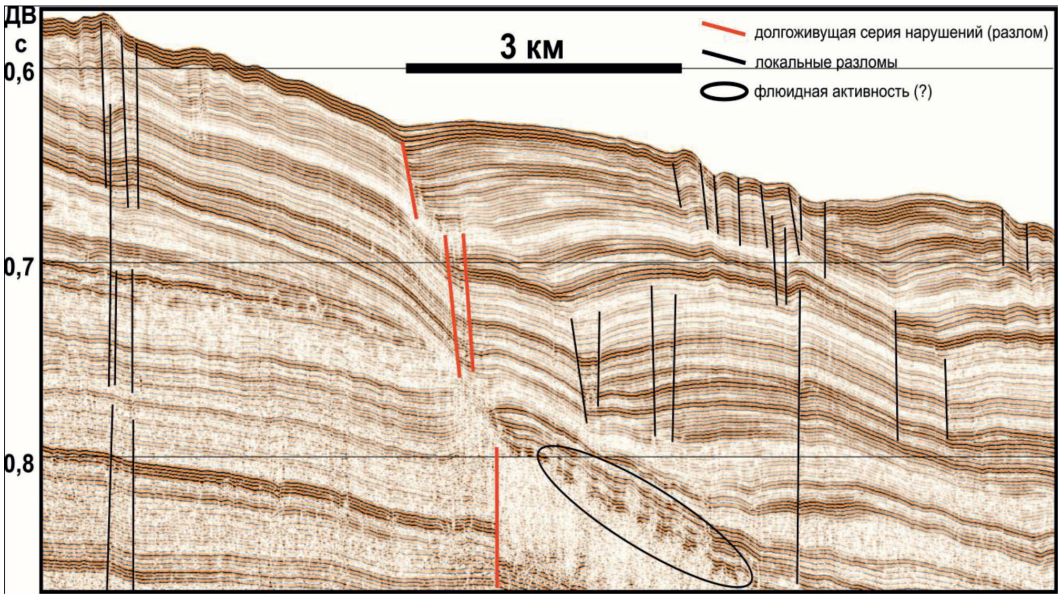


Рис. 2. Обособленное нарушение, Мангышлакский порог

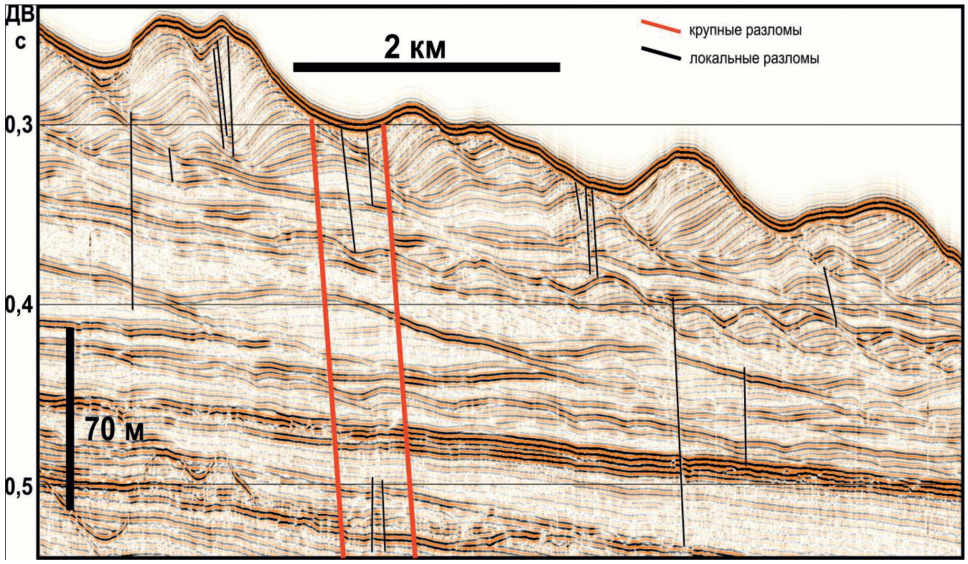


Рис. 3. Дербентский склон

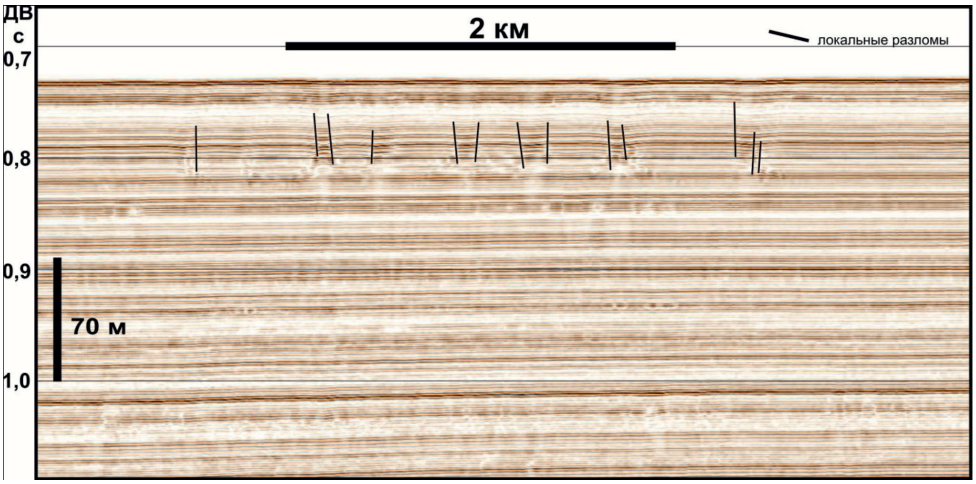


Рис. 4. Глубоководная котловина

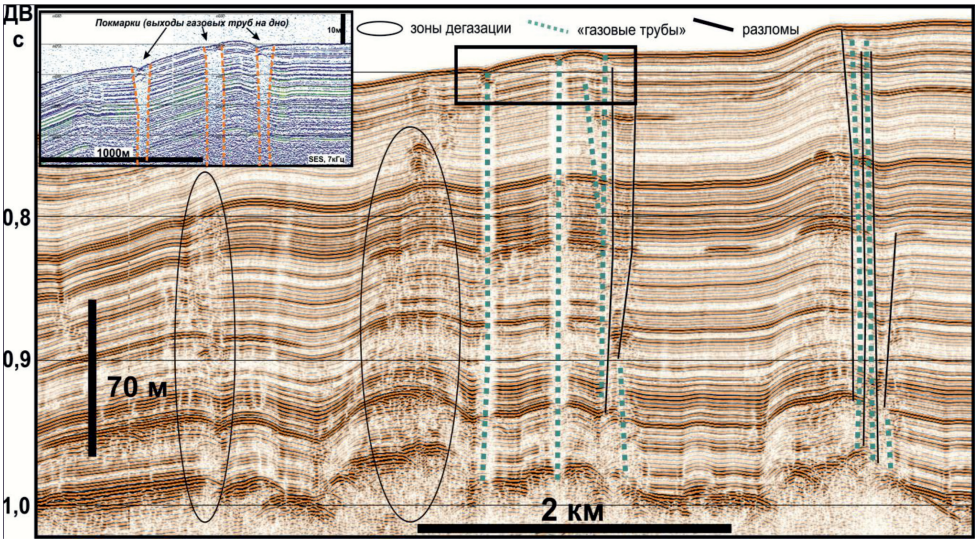


Рис. 5. У подножия Апшеронского порога

Глубоководная котловина

Очагов мало, наблюдаются главным образом ближе к южной части, имеют среднюю магнитуду 4 балла и единичный очаг 5,3. Глубина большинства очагов до 5 км, местами до 50 км. На сейсмических записях видны многочисленные вертикальные зоны ослабления сигнала, местами – серии слабых вертикальных нарушений. Осадочная толща параллельно-слоистая, с выдержанными границами (рис. 4).

Подножие Апшеронского порога

Очагов мало, большинство в диапазоне 50–75 км. Наблюдаются главным образом ближе к южной части, имеют магнитуды около 4. На сейсмических записях видны многочисленные вертикальные зоны ослабления сигнала («газовые трубы»), серия вертикальных нарушений, акустически неоднородный слой, ниже которого залегает сейсмопачка хаотических отражений. Слоистая осадочная толща испытывала серию постседиментационных деформаций (рис. 5).

Выводы

Обладая большим углеводородным потенциалом, недра Каспия неизбежно должны дегазироваться. Возникновение новых трещин и активизация существующих каналов при сильных землетрясениях способны за несколько месяцев разгрузить флюидные очаги. Геотектоническая провинция, в рамках которой проведено исследование, характеризуется преобладающим выделением сейсмической энергии в фазы понижения уровня, однако интенсивность сейсмогенного трещинообразования зависит не столько от энергии, сколько от глубины сейсмических очагов и механизмов землетрясений [3]. Поэтому даже события с магнитудами до 6 достаточны, чтобы вызывать подобные гидроизвержения, а эпохи усиления сейсмичности – обеспечивать поступление на поверхность воды, отжатой при температурах 100–140 и высоких давлениях [9]. Освободившаяся вода создает аномально высокие пластовые давления, которые могут сниматься удалением воды по пластам-коллекторам или разломам [10]. Вертикальные зоны потери корреляции соответствуют «классическим» акустическим аномалиям типа «газовая труба». Учитывая их прямую корреляцию с а) очагами б) в зонах с доказанной нефтегазоносностью, можно утверждать, что в глубоководной части Дербентской котловины и у подножия Апшеронского порога обнаружена высокая флюидодинамическая активность.

Наблюдаемые серии разрывных нарушений на Дербентском склоне приурочены к оси растяжения Дербентского прогиба, которая с 1978 г. приобрела более разнообразную ориентировку [2]. Однако следует помнить, что землетрясения и количество выделяемой ими сейсмической энергии лишь частично отражают деформационный эффект современных тектонических процессов [8]. В случае Среднего Каспия слабые (в среднем около 4 баллов) и неглубокие (в среднем 20 км, местами до 75 км) землетрясения приводят к нарушениям в самой верхней части осадочной толщи. В большинстве случаев к этим нарушениями приурочены признаки флюидной активности, а именно – зоны потери корреляции, которые следуют по разломам либо по «акустически ослабленным» ослабленным зонам, которые на сейсмоакустических разрезах выглядят как «трещиноватые». Вероятнее всего, механизм землетрясений имеет двоякую природу: глубинная разгрузка недр в виде потоков флюидов порождает ослабленные зоны, которые в свою очередь создают серии локальных напряжений по всему геологическом разрезу. В случае латеральной миграции флюидов зоны потери корреляции могут наблюдаться в сотнях километров от зон собственно сейсмической активности.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 17-55-560003 и Государственного задания в рамках НИР № 0149-2018-0005.

Список литературы

1. Вержбицкий В.Е., Лобковский Л.И., Росляков А.Г., Мерклин Л.Р, Полков А.С., Левченко О.В. Оползневые структуры в четвертичных отложениях северного склона Дербентской котловины (Каспийское море) // Океанология. – 2009. – Т. 49, № 3. – С. 430–439.

2. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // Геотектоника. – 2009. – № 3. – С. 30–44.

3. Иванова Т.П., Трифонов В.Г. Сейсмотектоника и современные условия колебания уровня Каспийского моря // Геотектоника. – 2002. – № 2. – С. 27–42.

4. Общий каталог сейсмических событий, Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» [Электронный ресурс]. – URL: http://dbgsras.ru/site/earthquake?nofilter (дата обращения: 17.03.2018).

5. Уломов В.И., Медведева Н.С. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии. ИФЗ РАН, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf (дата обращения: 17.03.2018).

6. Мерклин Л.Р., Левченко О.В., Путанс В.А. Осадочные волны, гравитационные оползни и подводные каньоны на

дне Каспийского моря и их потенциальное воздействие на транскаспийские трубопроводы // Трубопроводы России (теория и практика). – 2009. – № 2. – С. 9–12.

7. Путанс В.А. Сейсмоакустические аномалии в осадочном чехле западных морей россии / В.А. Путанс [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=10597 (дата обращения: 25.03.2018).

8. Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Волож Ю.А. Геологические аспекты проблемы колебаний уровня Каспийского моря // Глобальные изменения природной среды. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. – С. 30–57.

9. Шило Н.А. Природа колебаний уровня Каспия // Докл. АН. – 1989. – Т. 305, № 2. – С. 412–416.

10. Куликов Е.А., Кузин И.П., Яковенко О.И. Цунами центральной части Каспийского моря // Океанология. – 2014. – Т. 54, № 4. – С. 473–477.

References

1. Lobkovskii L.I., Verzhbitskii V.E., Merklin L.R., Rosliakov A.G., Poliakov A.S., Levchenko O.V. Slump structures in quaternary slope sediments of the northern Derbent Basin (Caspian Sea) [Opolznevye struktury v chetvertichnykh otlozheniiakh severnogo sklona Derbentskoi kotloviny (Kaspiiskoe more)]. Dokl. AN, seriia Okeanologiia – Oceanology, 2009, no. 3, pp. 430–439.

2. Kovachev S.A., Kaz'min V.G., Kuzin I.P., Lobkovskii L.I. New data on mantic seismisity og Caspian region and it geological interpretation [Novye dannye o mantiinoi seismichnosti Kaspiiskogo regiona i ikh geologicheskaia interpretatsiia]. Geotektonika – Geotectonics, 2009, no. 3, pp. 30–44.

3. Ivanova T.P., Trifonov V.G. Seismotectonics and modern variations in Caspian sea level change [Seismotektonika i sovremennye usloviia kolebaniia urovnia Kaspiiskogo moria]. Geotektonika – Geotectonics, 2002, no. 2, pp. 27–42.

4. Edinaia geofizicheskaia sluzhba Rossiiskoi akademii nauk Obshchii katalog seismicheskikh sobytii, Dagestanskii filial Federal'nogo Gosudarstvennogo biudzhetnogo uchrezhdeniia nauki Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra Edinaia geofizicheskaia sluzhba Rossiiskoi akademii nauk [Main Seismic events Catalogue, Dagestan branch of Federal investigation centre in Integral geophysics service, RAS]. Available at: http://dbgsras.ru/site/earthquake?nofilter (accessed 17.03.2018).

5. Ulomov V.I., Medvedeva N.S. Special catalogue of earthquakes in North Eurasia [Spetsializirovannyi katalog zemletriasenii Severnoi Evrazii]. IFZ RAN – Special catalogue of earthquakes in North Eurasia, 2014, no. 1. available at: http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf (accessed 17.03.2018).

6. Merklin L.R., Levchenko O.V., Putans V.A. Sediment waves, underwater slides and channels on Caspian seafloor and their potential impact on transcaspian pipelines [Osadochnye volny, gravitatsionnye opolzni i podvodnye kan'ony na dne Kaspiiskogo moria i ikh potentsial'noe vozdeistvie na transkaspiiskie truboprovody]. Truboprovodnyi transport: teoriia i praktika – Oil and gas pipelines: theory and pratice, 2009, no. 2, pp. 9–12.

7. Putans V.A., Levchenko O.V., Merklin L.R., Pleshkov A.Iu. Seismoscoustical anomalies within sediment cover of the western Russian seas [Seismoakusticheskie anomalii v osadochnom chekhle zapadnykh morei Rossii]. Sovremennye problemy nauki i oborazovaniia – Modern problems of science and education, 2013, no. 5.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=10597 (accessed 25.03.2018).

8. Leonov Iu.G., Antipov M.P., Volozh Iu.A. Geologicheskie problemy kolebaniia urovnia Kaspiiskogo moria [Geological aspects og Caspian sea level change]. Global'nye izmeneniia prirodnoi sredy [Global environmental changes]. Novosibirsk, Izd.SO RAN, 1998, pp. 36–57.

9. Shilo N.A. Nature of Caspian sea level changes [Priroda kolebanii urovnia Kaspiia]. Dokl.AN – Doklady, 1989, vol. 2, no. 305, pp. 412–416.

10. Kulikov E.A., Kuzin I.P., Iakovenko O.I. Tsunamin in Central Caspian [Tsunami tsentral'noi chasti Kaspiiskogo moria]. Okeanologiia – Oceanology, 2014, no. 4, pp. 437–477.

УДК 550.846:[546.98+581.6]

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПАЛЛАДИЯ В SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI, LAMIACEAE

[1]Пшеничкина Ю.А., [2]Пшеничкин А.Я.

[1]ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад СО РАН», Новосибирск, e-mail: scutel@yandex.ru;

[2]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: paya@tpu.ru

В работе приводятся результаты изучения накопления и распределения палладия в разных частях лекарственного растения Scutellaria baicalensis Georgi, сем. Lamiaceae (шлемник байкальский). Исследовались корни, стебли, листья, цветки, семена, а также почва. Определение палладия проводили инверсионно вольтамперометричесим методом. Пробы отбирались из естественных мест произрастания растения (Юго-Западное Приморье, Амурская, Читинская области) и интродуцированного в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (г. Новосибирск). Было установлено, что палладий определяется как в почвах, так и в разных частях S. baicalensis во всех исследованных местообитаниях. В местах произрастания S. baicalensis содержание палладия в почве изменяется от 0,27 до 7,0 г/т. Содержание палладия в разных частях растения колеблется в широких пределах от 0,065 до 6,0 г/т. Не установлено четкой закономерности в концентрации палладия между надземной и подземной частями растения. Для растений из Амурской обл. характерно концентрирование палладия в корнях. Для остальных мест произрастания характерно либо близкое соотношение палладия в корнях и надземной части, либо палладий накапливается, в основном, в надземной части растений. Коэффициент биологического поглощения (КБП) палладия для S. baicalensis из разных мест произрастания изменяется от 0,07 до 4,45. Значения КБП палладия, превышающие единицу, отмечены нами для растений из Читинской обл., для отдельных частей растений из Амурской обл. и Юго-Западного Приморья. В остальных местах произрастания КБП приближается или гораздо меньше единицы. Полученные данные могут быть использованы в фитотерапии и при биогеохимических методах поиска месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: палладий, накопление, Scutellaria baicalensis, Lamiaceae, лекарственное растение

THE STUDY OF THE CONTENT OF PALLADIUM IN SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI, LAMIACEAE

[1]Pshenichkina Yu.A., [2]Pshenichkin A.Ya.

[1]Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, e-mail: scutel@yandex.ru;

[2]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: paya@tpu.ru

This paper presents the study of accumulation and distribution of palladium in different parts of a medicinal plant Scutellaria baicalensis Georgi, Lamiaceae (Baikal skullcap). The roots, stems, leaves, flowers, seeds, and soil were studied. The palladium content was detected using stripping voltammetry. The samples were collected from natural habitats of S. baicalensis (south-western Primorye, Amur and Chita regions) and in Central Siberian Botanical Garden of SB RAS (Novosibirsk) where the plant was introduced. Palladium was detected both in the soil and in different parts of the plant in all the studied habitats. In the habitats of S. baicalensis, the content of palladium in the soil varied from 0,27 to 7,0 g/t. The content of palladium in different parts of the plant varied over a wide range from 0,065 to 6,0 g/t. No regularity was found in the distribution of palladium in the underground and overground parts of the S. baicalensis. Accumulation of palladium in roots was characteristic for the plants growing in Amur region. In other regions, either relatively equal content of palladium in roots and shoots was detected, or palladium accumulated mostly in the overground part of the plants. Biological absorption coefficient (BAC) of palladium for S. baicalensis in different habitats varied from 0,07 to 4,45. BAC values of palladium higher than 1 were noted for the plants from Chita region and for different parts of the plants from Amur region and south-western Primorye. In other habitats, BAC tended to 1 or was significantly lower than 1. The obtained data can be used in herbal therapy and in biogeochemical search of mineral deposits.

Keywords: palladium, accumulation, Scutellaria baicalensis, Lamiaceae, medicinal plant

Концентрация химических элементов в растениях может характеризовать несколько существенных аспектов. На этом основан биогеохимический метод поиска месторождений полезных ископаемых [1]. Предполагается, что уровни содержания элементов в растениях отражают колебания концентраций их в породах около корневой системы растений. Полученные данные также могут быть отражением биогеохимической ситуации экологически неблагополучных регионов [2]. Концентрация химических элементов в лекарственных растениях может превышать допустимые уровни ПДК для пищевых растений и БАД. При использовании растительного сырья в фитотерапиии или как продукта питания микроэлементный состав может существенно влиять на свойства сырья, а значит, на состояние живых организмов.

Цель исследования – оценка содержания и особенностей поглощения палладия лекарственным растением *Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae (шлемник байкальский) из разных мест естественного произрастания и при интродукции.

Палладий используется в автомобильной промышленности, стоматологии и ювелирном деле. Проводятся исследования по созданию биоактивных препаратов палладия, обладающих противоопухолевой активностью [3]. Причем соединения палладия в экспериментах на животных показывают более высокую активность и более низкую токсичность, чем соединения платины. Геохимический барьер палладия механический. Некоторые соединения токсичны [4].

Таблица 1

Содержание палладия
в некоторых растениях [6^{+}; 7*; 8 **]

Вид	Часть растения	Палладий, г/т
Abies sp.* Пихта	ветви, кора	0,005–0,010
Alnus crispa $^{+}$ Ольха кудрявая	ветви листья	0,044 0,042
*Arctostaphilus nummularia*** Толокнянка монетчатая	побеги	0,011
Betula papirifera $^{+}$ Береза бумажная	ветви листья	0,27 0,16
Eucalyptus sp. ** Эвкалипт	листья	0,0035
Lactuca virosa ** Латук компасный	листья	0,005
Quercus chrysolepsis ** Дуб золоточешуйчатый	побеги	0,040
Quercus lobata ** Дуб лопастной	побеги	0,011
Picea mariana $^{+}$ Ель черная	ветви хвоя	0,016 0,16
Picea pungens ** Ель колючая	побеги	0,003
Pinus sp.* Сосна	ветви, кора	0,005–0,010
Pinus banksiana $^{+}$ Сосна Банкса	древесина	0,0052
Pinus radiata ** Сосна лучистая	побеги	0,0015
Pinus resinosa ** Сосна смолистая, красная	побеги	0,011
Populus fremontia ** Тополь Фремонта	листья	0,004
Prunus domestica ** Слива домашняя	побеги	0,005
Traogopogon porrifolias ** Козлобородник пореелистный	листья	0,008

Из всех металлов платиновой группы палладий обладает наибольшей биодоступностью, подвижен в окружающей среде и способен достаточно интенсивно поглощаться живыми организмами, в том числе и растениями [5]. Уровни накопления палладия в различных растениях колеблются в широких пределах (табл. 1).

Ранее нами в *S. baicalensis* было определено 26 элементов: Ag, As, Au, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, La, Lu, Na, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Th, U, Zn [9; 10]. Было установлено, что для естественных мест произрастания характерно накопление элементов в *S. baicalensis* в основном в корнях, для интродуцентов – чаще всего в листьях. Возможно, это связано с тем, что при интродукции происходит ускорение процессов в онтогенезе растений и физиолого-биохимические реакции организмов могут быть несколько иными, чем в естественных местообитаниях.

Материалы и методы исследования

S. baicalensis распространен в Восточном Забайкалье, Среднем Приамурье, Юго-Западном Приморье, а также в Монголии, Китае, Даурии, Маньчжурии, Японии. Растение содержит широкий спектр веществ, основными действующими веществами считаются флавоноиды, в частности – байкалин [11]. *S. baicalensis* рекомендован при лечении гипертонии I, II стадии, а также как вспомогательное средство при лечении онкологических заболеваний. Растение может также использоваться как декоративное.

Материал для исследований содержания палладия отбирался нами из естественных мест произрастания *S. baicalensis*: Приморский край (пп. Чернятино, Пограничный, Комиссарово), Амурская обл. (д. Семеновка, гг. Свободный, Благовещенск), Читинская обл. (г. Борзя, с. Карымская, пп. В. Ключи, Бишигино, Матусово, Ключевское, Тасуркай, Октябрьское), а также интродуцированного в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН, г. Новосибирск (ЦСБС). Пробы растительного материала и почвы брались в фенологические фазы цветения и созревания семян.

Определение палладия проводили в «Инновационном научно-образовательном центре «Золото – платина» при Томском политехническом университете инверсионно вольтамперометричесим методом [12]. Химик-аналитик З.С. Михайлова.

Результаты исследования и их обсуждение

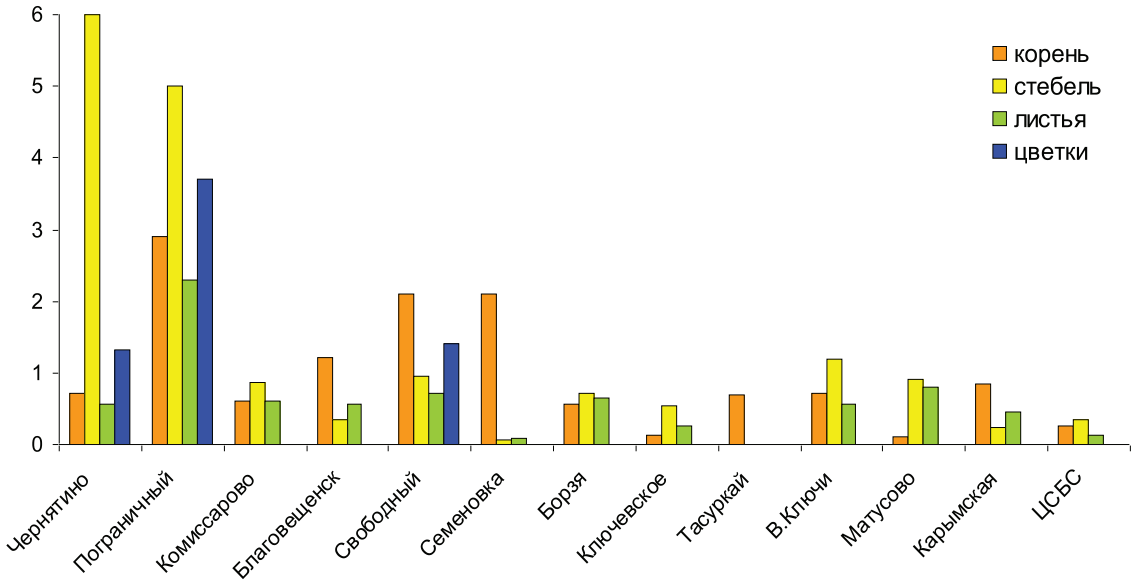
Палладий определяется в почвах во всех исследованных местах произрастания *S. baicalensis*. Наибольшие содержания палладия отмечены в почвах Юго-Западного Приморья – 3,8–7,0 г/т. Содержание палладия в почвах Амурской обл. составило 0,7–1,3 г/т. В других местах произрастания *S. baicalensis* содержания палладия в почвах близки (0,27–0,51 г/т).

Палладий в *S. baicalensis* нами определен впервые. Установлено, что элемент содержится в различных частях растения в разных соотношениях (рисунок). В корнях *S. baicalensis* накапливаются повышенные концентрации палладия, и они нередко выше, чем в почве. Так, в растениях из Амурской обл. содержание палладия в корнях в 1,5–2 раза выше, чем в почвах, а корнях из пп. Тасуркай, В. Ключи, Карымская Читинской обл. в 2–3 раза выше, чем в почвах.

Наибольшие содержания палладия в корнях *S. baicalensis* из Пограничного – 2,9 г/т (Юго-Западное Приморье) и Амурской обл. (1,21–2,1 г/т). Близкие значения палладия в корнях растения из Чернятино (0,71 г/т), Комиссарово (0,61 г/т), Тасуркай (0,7 г/т), В. Ключи (0,71 г/т), Карымская (0,85 г/т). Наименьшие содержания отмечены в корнях *S. baicalensis* из Матусово (0,11 г/т), Ключевское (0,12 г/т) и ЦСБС (0,26 г/т). Было также установлено, что содержание палладия в корнях *S. baicalensis* увеличивается с возрастом растений. Так, содержание палладия в корнях растений в возрасте 1–2 лет при интродукции в ЦСБС составляет в среднем 0,29 г/т, 5–7 лет – 0,43 г/т.

Самое высокое содержание палладия в стеблях *S. baicalensis* из Чернятино (6,0 г/т) и Пограничного (5,0 г/т). В остальных местах произрастания *S. baicalensis* содержание палладия составляет 0,54–1,2 г/т, кроме Семеновки, где отмечаются самые низкие содержания палладия в стеблях растений – 0,065 г/т. Концентрация палладия в стеблях интродуцированных растений в условиях ЦСБС составляет в среднем 0,354 г/т. Содержание палладия в стеблях *S. baicalensis* из Юго-Западного Приморья может превышать содержание элемента в корнях в 5–6 раз. В большинстве мест произрастания растений из Читинской обл. и ЦСБС содержание палладия также выше в стеблях, чем в корнях. Растения из Амурской обл. накапливают палладий в основном в корнях.

Концентрация палладия в листьях *S. baicalensis* из разных мест произрастания изменяется в широком диапазоне. Наибольшая концентрация палладия отмечена в листьях *S. baicalensis* из Пограничного (2,3 г/т), при наименьшем значении в растениях из Семеновки (0,085 г/т). Содержание палладия в листьях *S. baicalensis*, интродуцированного в ЦСБС, не высокие (0,087–0,30 г/т).



Содержание палладия (г/т) в Scutellaria baicalensis из разных мест произрастания

Таблица 2

Коэффициент биологического поглощения палладия для *Scutellaria baicalensis* разных мест произрастания

Место сбора	Коэффициент биологического поглощения				
	корень	стебель	листья	цветки	семена
Юго-Западное Приморье					
Чернятино	0,19	1,6	0,15	0,35	–*
Пограничный	0,47	0,81	0,37	0,60	–
Комиссарово	0,09	0,12	0,09	–	–
Амурская область					
Благовещенск	1,59	0,46	0,75	–	–
Свободный	1,83	0,83	0,63	1,22	–
Семеновка	1,62	0,05	0,07	–	0,50
Читинская область					
Борзя	0,72	0,92	0,85	–	–
Ключевское	0,34	1,54	0,77	–	–
Тасуркай	3,36	–	–	–	–
В. Ключи	2,63	4,45	2,07	–	–
Матусово	0,22	1,78	1,59	–	–
Карымская	2,02	0,57	1,07	–	–
Новосибирская область					
ЦСБС	0,97	1,21	0,83	0,44	0,41

Примечание. * – прочерк означает отсутствие данных.

В цветках *S. baicalensis* из трех исследованных местообитаний отмечается высокое содержание элемента: Пограничный – 3,7 г/т, Чернятино – 1,32 г/т, Свободный – 1,4 г/т. Интересно отметить, что содержание палладия в цветках растений почти в 2 раза выше, чем в листьях. В двух исследованных местообитаниях содержание палладия в семенах растений ниже по сравнению с цветками: Семеновка – 0,65 г/т, ЦСБС – 0,18 г/т.

Необходимо отметить, что нами не было выявлено четкой закономерности в концентрации элемента между надземной и подземной частями растений. В Амурской обл. палладия накапливается в корнях больше по сравнению с надземной частью (Благовещенск и Свободный – больше чем в 2 раза, Семеновка – в 7,8 раза, Карымская – в 2,4 раза). Для остальных естественных мест произрастания и интродукции характерно либо близкое соотношение палладия в корнях и надземной части (Приморье: Пограничный, Комиссарово; Читинская обл.: Борзя, В. Ключи; ЦСБС), либо палладий накапливается в основном в надземной части (Приморье: Чернятино – в 3,7 раза; Читинская обл.: Ключевское – в 3,4 раза, Матусово – в 7,8 раза). Возможно, это связано с возрастом исследованных растений или антиконцентрационными барьерами.

Для характеристики интенсивности поглощения элемента растением используют коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение содержания элемента в растении к содержанию элемента в горной породе или почве, на которой произрастает растение [13]. КБП палладия для *S. baicalensis* изменяется в широких пределах от 0,07 до 4,45 (табл. 2).

Самые высокие показатели КБП, превышающие единицу, для всех частей растений отмечены нами для растений из В. Ключей и для корней из Тасуркай (Читинская обл.). КБП для корней растений из Амурской обл., стеблей растений Чернятино (Юго-Западное Приморье), Ключевское, Матусово (Читинская обл.), листьев Матусово приближается к 2. То есть в этих местообитаниях происходит накопление элемента растением. В других местах произрастания *S. baicalensis* КБП приближается или меньше единицы.

Заключение

Таким образом, в результате наших исследований было установлено, что палладий обнаруживается как в почвах, так и в различных частях *Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae (шлемник байкальский) во всех исследованных местообитаниях (Юго-Западное Приморье, Амурская, Читинская обл. и интродуцированного в ЦСБС, г. Но-

восибирск). Содержание палладия в почвах установлено в пределах 0,27–7,0 г/т, в различных частях растения – 0,065–6,0 г/т. Нами не было выявлено явной закономерности в концентрации палладия в растении между его надземной и подземной частями. Для растений из Амурской обл. характерно концентрирование палладия в корнях. Для остальных мест произрастания характерно либо близкое соотношение палладия в корнях и надземной части, либо палладий накапливается в основном в надземной части. КБП палладия для *S. baicalensis* изменяется в широких пределах 0,07–4,45. КБП, превышающие единицу, отмечены нами для растений из Читинской обл. и для отдельных частей растений из Амурской обл. и Юго-Западного Приморья. В остальных местообитаниях КБП приближается или гораздо меньше единицы. Полученные данные могут быть использованы при биогеохимических методах поиска месторождений полезных ископаемых и в фитотерапии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА-А17-117012610053-9.

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

Список литературы

1. Ворошилов В.Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 104 с.

2. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И., Марьин А.А., Бондарчук Р.А. Экологические аспекты заготовки и использования лекарственного растительного сырья // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2010. – Т. 12, № 1 (8). – С. 2051–2054.

3. Чертко Н.К., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.

4. Улахович Н.А., Медянцева Э.П., Бабкина С.С. и др. Металлы в живых организмах. – Казань: Казанский университет, 2012. – 102 с.

5. Янин Е.П. Платиновые металлы в окружающей среде (распространенность, источники, техногенное загрязнение, рециклинг) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2008. – № 5. – С. 2–94.

6. Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М., Прокопчук С.И. Микробиолиты элементов платиновой группы в золе растений, определяемых сцинтилляционным эмиссионным спектральным анализом // Отечественная геология. – 2004. – № 4. – С. 39–45.

7. Dunn C.E. Biogeochemistry as an aid to exploration for gold, platinum and palladium in the Northern forests of Saskatchewan, Canada // J. Geochem. Explor. – 1986. – Vol. 25. № 1. – P. 21–40.

8. Kothny E.L. Palladium in plant ash. // Plant and Soil. – 1979. – Vol. 53. Iss. 4. – P. 547–550.

9. Банаева Ю.А., Пшеничкин А.Я. Элементный состав Scutellaria baikalensis Georgi // Сибирский экологический журнал. – 1999. – № 3. – С. 271–275.

10. Пшеничкина Ю.А., Пшеничкин А.Я. Некоторые закономерности накопления золота в шлемнике байкальском // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 10. – С. 152–156.

11. Артемов И.А., Бадритдинов Р.А., Байков К.С. и др. Иллюстрированная энциклопедия растительного мира Сибири. – Новосибирск: Арта, 2009. – 392 с.

12. Kolpakova N.A., Oskina Y.A., Djyachenko E.N., Pshenichkin A.Y. Determination of platinum metals in carbonaceous mineral raw materials by stripping voltammetry // Procedia Chemistry. – 2015. – Vol. 15. – P. 335–341.

13. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Злобина М.В. Ландшафтоведение. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 130 с.

References

1. Voroshilov V.G. Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Geochemical methods of mineral deposits exploration]. Tomsk, Iz-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011, 104.

2. Kolomiets N.E. Kalinkina G.I. Mar'in A.A. Bondarchuk R.A. Ecological aspects of preparation and use of medicinal vegetative raw materials [Ekologicheskie aspekty zagotovki i ispol'zovaniia lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ia]. Izv. Samar. nauch. tsentra Ros. akad. nauk – Proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences, 2010, vol. 1, no. 12, pp. 2051–2054.

3. Chertko N.K. Chertko E.N. Geokhimiia i ekologiia khimicheskikh elementov: Spravochnoe posobie [Geochemistry and ecology of the chemical elements: a reference guide]. Minsk, Izdatel'skii tsentr BGU, 2008, 140.

4. Ulakhovich N.A Mediantseva E.P. Babkina S.S. i dr. Metally v zhivykh organizmakh [Metals in living organisms]. Kazan', Kazanskii universitet, 2012, 102.

5. Ianin E.P. Platinum metals in the environment (prevalence, sources, man-made pollution, recycling) [Platinovye metally v okruzhaiushchei srede (rasprostranennost', istochniki, tekhnogennoe zagriaznenie, retsikling)]. Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhaiushchei sredy – Scientific and technical aspects of environmental protection, 2008, no. 5, pp. 2–94.

6. Kovalevskii A.L. Kovalevskaia O.M. Prokopchuk S.I. Microbiotites of platinum group elements in plant ash determined by the scintillation emission spectral analysis [Mikrobiolity elementov platinovoi gruppy v zole rastenii, opredeliaemykh stsintilliatsionnym emissionnym spektral'nym analizom]. Otechestvennaia geologiia – Russian Geology, 2004, no. 4, pp. 39-45.

7. Dunn C.E. Biogeochemistry as an aid to exploration for gold, platinum and palladium in the Northern forests of Saskatchewan, Canada. J. Geochem. Explor., 1986, vol. 1, no. 25, pp. 21–40.

8. Kothny E.L. Palladium in plant ash. Plant and Soil, 1979, vol. 4, no. 53, pp. 547–550.

9. Banaeva Iu.A. Pshenichkin A.Ia. Elemental composition of Scutellaria baicalensis Georgi [Elementnyi sostav Scutellaria baikalensis Georgi]. Sibirskii ekologicheskii zhurnal – Contemporary Problems of Ecology, 1999, no. 3, pp. 271–275.

10. Pshenichkina Iu.A. Pshenichkin A.Ia. Some regularities of accumulation of gold in Scutellaria baicalensis [Nekotorye zakonomernosti nakopleniia zolota v shlemnike baikal'skom]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Progress of modern natural Sciences, 2016, no. 10, pp. 251–256.

11. Artemov I.A. Badritdinov R.A. Baikov K.S. i dr. Illiustrirovannaia entsiklopediia rastitel'nogo mira Sibiri [The illustrated encyclopedia of the plant world of Siberia]. Novosibirsk, Arta, 2009, 392.

12. Kolpakova N.A. Oskina Y.A. Djyachenko E.N. Pshenichkin A.Y. Determination of platinum metals in carbonaceous mineral raw materials by stripping voltammetry . Procedia Chemistry, 2015, no. 15, pp. 335–341.

13. Ganzhara N.F. Borisov B.A. Efimov O.E. Zlobina M.V. Landshaftovedenie [Landscape science]. Moscow, Izd-vo RGAU-MSKhA, 2016, 130.

УДК 556(571.66)

КРИТЕРИИ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КАМЧАТКИ

Рогатых С.В., Мурадов С.В.

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

В статье приведено описание основных критериев обозначения для оценки потенциально лечебных минеральных холодных и термальных вод полуострова Камчатка. Среди курортных районов России Камчатка выделяется как своеобразная и характерная область распространения термальных вод с богатейшими гидроминеральными ресурсами. Главной трудностью, возникающей при попытках систематизировать данные о химических и бальнеологических особенностях современных проявлений минеральных вод, является необходимость выбора объективного критерия для их сравнения. Рассмотрены показатели, характеризующие минеральные воды: газовый состав (содержание азота, углекислого газа, сероводорода и метана), ионный состав, общая минерализация, содержание биологически активных микрокомпонентов, температура и радиоактивность, водородный показатель pH. В базе данных холодных и термальных минеральных вод Камчатского края, собранной в Научно-исследовательском геотехнологическом центре Дальневосточного отделения Российской академии наук, на настоящий момент введены все эти показатели, а также история их открытия, показания к лечебному применению и краткое описание месторождения. По результатам анализа базы данных отобраны примеры источников, соответствующих вышеуказанным критериям оценки. В основном Камчатский край богат слабоминерализованными водами с повышенным содержанием кремниевой кислоты, которая играет роль одного из главных факторов в бальнеологическом лечении и, сочетаясь с различными газами (азотом, углекислым газом, сероводородом, радоном), порождает большое число типов минеральных вод. Необходимо в дальнейшем дополнять базу данных минеральных вод Камчатки, обозначив экологические проблемы отдельных источников, таким образом сформулировать адекватные меры их охраны, применения и сохранения.

Ключевые слова: минеральные воды, Камчатка, база данных, показатели качества, гидротермы, кремниевая кислота

CRITERIA FOR DESIGNATING AND EVALUATING THERMOMINERAL WATERS OF KAMCHATKA

Rogatykh S.V., Muradov S.V.

Scientific research geotechnological centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: rogatykhsv@yandex.ru

The article gives a description of the main designation criteria for the evaluation of the potentially therapeutic mineral cold and thermal waters of the Kamchatka Peninsula. Among the resort areas of Russia Kamchatka stands out as a peculiar and characteristic area of the distribution of thermal waters with the richest hydromineral resources. The main difficulty arising in attempts to systematize data on the chemical and balneological features of modern manifestations of mineral waters is the need to select an objective criterion for their comparison. The parameters characterizing mineral waters are considered: the gas composition (nitrogen, carbon dioxide, hydrogen sulphide and methane content), ionic composition, total mineralization, the content of biologically active microcomponents, temperature and radioactivity, hydrogen pH. In the database of cold and thermal mineral waters of the Kamchatka Territory, collected at the Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, all these indicators have been introduced to date, as well as the history of their discovery, indications for therapeutic use and a brief description of the deposit. Based on the results of the database analysis, examples of sources matching the above evaluation criteria were selected. Basically, the Kamchatka region is rich in slightly mineralized waters with an increased content of silicic acid, which plays the role of one of the main factor in balneological treatment, and, in combination with various gases (nitrogen, carbon dioxide, hydrogen sulfide, radon) generates a large number of types of mineral waters. It is necessary to further supplement the Kamchatka mineral water database by identifying the ecological problems of individual sources, thus formulating adequate measures for their protection, use and conservation.

Keywords: mineral waters, Kamchatka, database, quality indicators, hydrotherms, silicic acid

Минеральные воды, холодные и термальные – ценное и популярное лечебное средство как в стационарной бальнеотерапии, так и в амбулаторном лечении. Проблема критериев обозначения и оценки лечебных вод Камчатки является существенной в процессе развития бальнеологии в регионе [1]. Среди курортных районов России Камчатка выделяется как своеобразная и характерная область распространения термальных вод с богатейшими гидроминеральными ресурсами.

Минеральными в бальнеотерапии называют природные (обычно подземные) воды, часто обладающие повышенными температурой и радиоактивностью. Минеральные воды могут оказывать благоприятное и даже лечебное действие на организм

человека, поскольку содержат в больших количествах минеральные биологически активные компоненты [2].

Минеральные воды являются природными подземными водами и формируются в толще земной коры с определенными геолого-структурными, геотермическими, гидрогеологическими и геохимическими условиями, которые определяют закономерности их пространственной локализации, газовый, ионно-солевой и микроэлементный состав, температуру и другие показатели [3].

Целью исследования является разработка критериев оценки экологического состояния холодных и термальных минеральных вод Камчатского края.

Материалом исследования служили литературные источники и результаты собственных экспедиционных исследований, а также собранная на их основе база данных холодных и термальных минеральных вод Камчатского края, включающая 236 источников и месторождений. Физико-химические параметры вод исследовались в сертифицированной химико-технологической лаборатории НИГТЦ ДВО РАН по стандартизированным методам, обеспечивающим достоверность результатов. Статистическую обработку экспериментальных данных производили с помощью программного обеспечения *Microsoft Office Excel 2007*, рассчитывая стандартное отклонение средних значений.

Результаты исследования и их обсуждение

Лечебное действие минеральных вод обусловлено полным комплексом физико-химических свойств, содержащихся в растворе минеральных веществ, а не каким-либо одним или несколькими газовыми или ионными компонентами.

Основные показатели, характеризующие минеральные воды [1; 4]:

1) газовый состав,
2) ионный состав,
3) общая минерализация,
4) содержание биологически активных микрокомпонентов,
5) температура,
6) радиоактивность,
7) показатель pH.

При исследовании оценки возможности использования минеральных вод потеря из поля зрения одного из этих критериев может привести к неправильным или ошибочным выводам.

Газовый состав. Все природные воды, в том числе и минеральные, содержат в себе в каком-то количестве растворенные газы, которые при увеличенных концентрациях могут переходить в свободное состояние. Этим объясняется то, что многие гидротермальные источники Камчатки газирующие.

Основными газами в минеральных водах являются азот N_2, углекислый газ CO_2, метан CH_4 и сероводород H_2S. Азот появляется в водах из воздушного пространства, углекислый газ – в результате процессов термометаморфизма горных пород или биохимических реакций, метан и сероводород – продукты биохимических процессов. В фумаролах сероводород имеет вулканическое происхождение [3]. Остальные газы – кислород, гелий, аргон, радон и т.д. – в процентном отношении не играют существенной роли в газовой компоненте состава вод.

Таким образом, минеральные воды по газовому составу подразделяются на азотные, углекислые, метановые, сероводородные и воды смешанного состава – азотно-углекислые, углекисло-метановые и др.

Для отнесения воды по составу газов к какому-либо типу обязательно учитываются как свободные, так и растворенные газы, а содержание отдельных газов должно быть не менее 20 объемных процентов от всего количества газов.

Общий газовый состав и газонасыщеннность вод необходимо учитывать при выяснении и геохимических условий формирования минеральных вод. А для бальнеологической оценки вод важно знать количественный состав растворенных газов, так как свободные газы в значительной своей части теряются из воды еще до ее лечебного применения.

Ионный состав. Для характеристики солевого состава применяется ионная форма выражения анализов, в которой состав вод показывается в мг в 1 л, мг-экв и экв%. В бальнеологии классификация минеральных вод производится по анионам и катионам, содержащимся в водах в количестве не менее 20–25 экв.%.

Среди анионов Cl, SO_4 и HCO_3 содержатся в составе большинства минеральных вод, среди катионов – Na, K, Ca и Mg. Более редко в водах присутствуют Fe, As, NH_4, H и некоторые другие. Поэтому в классификации минеральных вод учитывают только первые шесть ионов [5].

Ионный состав минеральных вод может быть простым – определяется двумя-

тремя ионами (сульфатно-кальциевый), сложным – определяется четырьмя-пятью (хлоридно-сульфатно-гидокарбонатный натриево-кальциево-магниевый). На практике установилось, что при обозначении состава вод сначала указываются ионы, содержащиеся в большем количестве, а потом в меньшем.

Общая минерализация вод определяет возможность использования вод в качестве питьевых лечебных вод.

В.И. Вернадский при общей классификации мировой воды выделял пресные воды (минерализация до 1 г/л), соленые (от 1 до 50 г/л) и рассолы (свыше 50 г/л). Предел концентрации солей в 1 г/л является критерием отнесения всех вод к минеральным, однако некоторые ученые отмечают, что некоторые ценные лечебные воды (например, кремнистые щелочные термы) обладают минерализацией часто значительно меньше 1 г/л [6].

В бальнеологии до недавнего времени применялась классификация вод по В.В. Иванову и Г.А. Невраеву [7]: слабоминерализованные (до 1 г/л), среднеминерализованные (от 1 до 10 г/л), высокоминерализованные (от 10 до 50 г/л) и рассольные воды (свыше 50 г/л). В первую группу попадают те минеральные воды, лечебное значение которых определяется не общим содержанием солей, а только наличием бальнеологически ценных ионов, газов, температурой или радиоактивностью.

Граница минерализации в 10 г/л является оптимальной концентрацией вод, применяемых в качестве питьевых лечебных вод.

Содержание биологически активных микрокомпонентов – это компоненты, ионы или молекулы, которые придают водам дополнительные ценные лечебные свойства. Из микроэлементов это бром, йод, фтор, бор, железо, мышьяк, кремний, в несколько меньшей степени литий, стронций, барий, марганец, медь и другие.

К таким компонентам относится также и сероводород, который играет важную роль в лечебном отношении. Бальнеологическая ценность сероводородных вод определяется не связанным (HS), а свободным сероводородом (H_2S).

При наличии в минеральных водах перечисленных микрокомпонентов воды обозначаются соответственно как сероводородные, железистые, мышьяковистые, бромистые, кремнистые, борные и т.д.

Температура – один из основных факторов, который определяет бальнеологическую ценность воды и практику ее использования. Минеральные воды по температуре разделяются на 4 группы: холодные (температура ниже 20 °С, субтермальные (20–37 °С), термальные (37–42 °С) и гипотермальные (свыше 42 °С). Наиболее удобными для лечебного использования в виде ванн являются горячие воды (с температурой 37–42 °С).

Радиоактивность. В минеральных водах при некоторых геологических и геохимических условиях накапливаются в повышенных концентрациях различные радиоактивные элементы: радон и радий. Таким образом, воды обозначаются как радоновые, радиевые или радоно-радиевые (при повышенном содержании Rn и Ra). В бальнеологии применяются только радоновые воды, в исключительных случаях – радоно-радиевые с небольшой концентрацией радия.

Радоновые воды оказывают на организм человека лечебное действие не непосредственно радоном как газом, а непрерывно испускаемыми им и короткоживущими продуктами его распада – радиоактивными излучениями α-, β-, γ-лучами. В качестве границы для обозначении вод радоновыми принято считать содержание радона в 10 единиц Махе. Можно подразделить радиоактивные воды на три группы: слаборадиоактивные (10–50 ед. Махе), среднерадиоактивные (50–100 ед. Махе) и сильнорадиоактивные (более 100 ед. Махе) [8].

Величина pH вод. Концентрация в водах ионов H^+ отражает степень диссоциации присутствующих в воде кислот и взаимодействие их с содержащимися в водах газами (в первую очередь с углекислым газом).

Существующая классификация [7] минеральных вод по кислотности (щелочности) подразделяет на 5 типов: сильно кислые (pH < 5,5), слабокислые (pH от 5,5 до 7,0), нейтральные (pH = 7,0), слабощелочные (pH от 7,0 до 8,5), сильнощелочные (pH > 8,5).

Для краткого обозначения химического состава вод в гидрологической и курортной литературе применяется формула М.Г. Курлова [9]. В ней указывается ионный состав воды в процентах, специфика, включая газы в г/л, а также температура.

В.В. Иванов и Г.А. Невраев [по: 6] в целях более комплексной оценки различных минеральных лечебных вод разработали классификацию, основанную на основных

критериях их оценки и данных о закономерностях формирования минеральных вод. Исходя из реально существующих в природе типов вод, они предложили такую классификационную таблицу, в которой каждой воде отведено строго определенное место. Такая классификационная таблица имеет важное практическое значение: пользуясь методом аналогии и сопоставления, можно судить о лечебных качествах вновь полученной воды. В настоящее время специалистами НИГТЦ ДВО РАН разработана база данных термальных и холодных минеральных вод Камчатского края, основанная на таких таблицах.

В базе данных холодных и термальных минеральных вод Камчатки, собранной в Научно-исследовательском центре ДВО РАН, на настоящий момент введены все вышеупомянутые показатели. В базу данных включено 236 источников минеральных вод Камчатского края. По результатам анализа базы данных отобраны примеры источников, соответствующих критериям оценки. Примеры отнесения к тому или иному критерию вод Камчатского края показаны в таблице.

Классификация природных минеральных вод источников Камчатки по критериям оценки их возможного лечебного применения

Критерии оценки	Показатели критериев	Примеры минеральных источников Камчатки
1	2	4
По газовому составу	углекислые	Тимоновские
	азотные	Паратунские
	метановые	не обнаружено
	сероводородные	Сивучинские
	сложного состава	Нижне-Опальские
По ионному составу	хлоридные	Верхне-Щапинские
	сульфатные	Малкинские горячие
	гидрокарбонатные	Начикинские
	сложного анионного состава	Жировские
	натриевые	Малкинские холодные
	кальциевые	Голыгинские
	магниевые	Среднекимитинские
	сложного катионного состава	Паужетские
По общей минерализации	слабоминерализованные	Верхнекимитинские
	среднеминерализованные	Верхне-Паратунские
По содержанию биологически активных компонентов	сероводородные	Озерновские
	железистые	Малкинские холодные
	мышьяковистые	Налычевские
	бромистые	
	кремнистые	
	йодистые	Богачевские
	борные	Налычевские
По температуре	холодные	Шайбные
	субтермальные	Вилюйские
	термальные	Дранкинские
	гипотермальные	Вилючинские
По радиоактивности	слабоактивные	Начикинские
	среднеактивные	Киреунские
	сильноактивные	Узонские
По кислотности	сильнокислые	Камбальные
	слабокислые	Шайбные
	нейтральные	Пущинские
	слабощелочные	Нижне-Паратунские
	сильнощелочные	Апачинские

В основном Камчатка богата слабоминерализованными водами с повышенным содержанием кремнистой кислоты, которая играет роль главного лечебного фактора и, сочетаясь с газами – азотом, углекислым, сероводородом и радоном, порождает большое число типов минеральных вод.

Так, из более крупных источников к кремнистым азотным относятся Нижне-Паратунские, Паужетские, Начикинские. К кремнистым мышьяковистым – Верхнещапинские, Налычевские. К кремнистым сероводородным – Озерновские, Дранкинские. Даже если исключить малоэффективные в лечебном отношении источники со слабой минерализацией (менее 2 г/л), то можно оценить лечебные гидротермальные подземные ресурсы полуострова высоко – не менее пятидесяти преимущественно горячих с высоким дебитом источников.

Заключение

Кроме лечебного применения минеральная вода широко используется в качестве столового напитка или в сочетании – разница в применении зависит от степени минерализации и химического состава [10]. В зависимости от этих факторов вода может оказывать то или иное (благоприятное или отрицательное) воздействие на организм человека [11]. Комплексное использование вод может стать одним из существенных источников пополнения краевого бюджета. Для этого необходимо тщательное изучение биологической, медицинской и экономической составляющих возможности полноценного использования парогидротерм как источников ценных биохимических компонентов, получения лекарственных средств и других комплексных соединений, в том числе с использованием термофильных организмов, иного нетрадиционного использования геотермальных ресурсов. Главная задача – постоянное изучение и точное определение состава вод и интерпретирование их воздействия на организм человека.

Список литературы

1. Рекреационные ресурсы Паратунской курортной зоны Камчатского края / Л.В. Веремчук [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2012. – № 5. – С. 64–67.

2. Ефименко Н.В., Репс В.Ф. Механизмы действия питьевых минеральных вод // Курортная медицина. – 2013. – № 3. – С. 106–109.

3. Трухин Ю.П. Геохимия современных геотермальных процессов и перспективные геотехнологии. – М.: Наука, 2003. – 376 с.

4. ГОСТ 13273–88. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые: ТУ. – М.: Недра, 1988. – 15 с.

5. Камчатка – здравница северо-восточных регионов России: материалы и доклады второй межрегиональной научно-практической конференции // Отв. ред. С.В. Мурадов. – Петропавловск-Камчатский, НИГТЦ ДВО РАН, 2011. – 185 с.

6. Куликов А.Г., Воронина Д.Д. Питьевые минеральные воды в лечении и реабилитации: современный взгляд на проблему // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 116–120.

7. Алексеев В.С., Грабовников В.А., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. О готовности к практическому применению новой «Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод» // Недропользование XXI век. – 2008. – № 4. – С. 36–41.

8. Зверев Г.В. Условия формирования радиоактивных подземных вод // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. – 2011. – № 14. – С. 217–220.

9. Курлов М.Г. Классификация сибирских целебных минеральных вод. – Томск: Физиотерапевтический институт, 1928. – 73 с.

10. Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока: справочник / сост. Б.И. Челнокова, Е.М. Иванов, Т.А. Гвозденко. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федер. ун-та, 2010. – 128 с.

11. Алексеев В.С. Современное состояние нормативной базы в области водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – № 3. – С. 4–13.

References

1. Veremchuk L.V. Recreational resources of the Paratunsky resort zone of the Kamchatka Territory [Rekreatsionnye resursy Paratunskoi kurortnoi zony Kamchatskogo kraia]. Voprosy kurortologii fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury – Questions of balneology of physiotherapy and therapeutic physical training, 2012, no. 5, pp.64–67.

2. Efimenko N.V., Reps V.F. Mechanisms of action of drinking mineral waters [Mekhanizmy deistviia pit'evykh mineral'nykh vod]. Kurortnaia meditsina – Spa medicine, 2013, no. 3, pp. 106–109.

3. Trukhin Iu.P. Geokhimiia sovremennykh geotermal'nykh protsessov i perspektivnye geotekhnologii [Geochemistry of modern geothermal processes and perspective geotechnologies]. Moscow, Nauka, 2003, 376.

4. GOST 13273-88 Vody mineral'nye pit'evye lechebnye i lechebno-stolovye [GOST 13273-88. Mineral water, medicinal and therapeutic-table waters]. Moscow, Nedra, 1988, 15.

5. Muradov S.V Kamchatka – zdravnitsa severo-vostochnykh regionov Rossii [Kamchatka is a health resort in the north-eastern regions of Russia]. Petropavlovsk-Kamchatsky, NIGTTs DVO RAN, 2013, 185.

6. Kulikov A.G., Voronina D.D. Drinking mineral water in treatment and rehabilitation: a modern view of the problem [Pit'evye mineral'nye vody v lechenii i reabilitatsii: sovremennyi vzgliad na problemu]. Fizioterapiia, bal'neologiia i reabilitatsiia – Physiotherapy, balneology and rehabilitation, 2017, vol. 3, no. 16, pp. 116–120.

7. Alekseev V.S., Grabovnikov V.A., Kliukvin A.N., Pashkovskii I.S., Roshal' A.A. About readiness for practical application of the new «Classification of reserves and forecasted resources of drinking, technical and mineral groundwater» [O gotovnosti k prakticheskomu primeneniiu novoi «Klassifikatsii zapasov i prognoznykh resursov pit'evykh, tekhnicheskikh i mineral'nykh podzemnykh vod»]. Nedropol'zovanie XXI vek – Subsoil use of the XXI century, 2008, no. 4, pp. 36–41.

8. Zverev G.V. Conditions for the formation of radioactive groundwater [Usloviia formirovaniia radioaktivnykh podzemnykh vod]. Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniia pamiati P.N. Chirvinskogo – Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings of the memory of P.N. Chirvinsky, 2011, no. 14, pp. 217–220.

9. Kurlov M.G. Klassifikatsiia sibirskikh tselebnykh mineral'nykh vod [Classification of Siberian medicinal mineral waters]. Tomsk, Fizioterapevticheskii institut, 1928, 73.

10. Chelnokova B.I., Ivanov E.M., Gvozdenko T.A. Mineral'nye vody i lechebnye griazi Dal'nego Vostoka: spravochnik [Mineral water and therapeutic mud of the Far East: a directory]. Vladivostok, Izd-vo Dal'nevost. feder. un-ta, 2010, 128.

11. Alekseev V.S. The current status of the regulatory framework in the field of water supply [Sovremennoe sostoianie normativnoi bazy v oblasti vodosnabzheniia]. Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika – Water supply and sanitary engineering, 2014, no. 3, pp. 4–13.

УДК 911:[628.1+504.53.062.4](470.45)

КОНТРОЛЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Степанова Н.Е.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, e-mail: nat_stepanowa@mail.ru

При разработке углеводородов неизбежно нарушение верхних биологически продуктивных горизонтов земли, которые являются средством производства в сельском и лесном хозяйстве. В целях сохранения и восстановления плодородия почв сельскохозяйственных угодий необходимо проводить рекультивацию нарушенных земель. В статье рассмотрены этапы рекультивации земель, подверженных полному нарушению плодородного слоя при разработке углеводородов. Самым начальным является подготовительный этап, который включает в себя изучение специфики условий на землях, подлежащих рекультивации, а также определения возможности дальнейшего использования земель после завершения рекультивационных работ. Показано, что основной целью технической рекультивации является подготовка нарушенной поверхности для последующей биологической рекультивации. Для восстановления природного плодородия нарушенных почв проводится биологический этап рекультивации, после проведения технического этапа, в итоге степень плодородия у рекультивированных почв должна быть не ниже, чем у тех же почв до нарушения их в процессе хозяйственного использования. Установлено, что почва района проведения разработок углеводородов малогумусная, содержание органического вещества в верхнем плодородном горизонте 2,07%, в подгоризонте В понижается до 0,73%, реакция почвенного раствора верхних горизонтов слабощелочная (pH 7,57) и щелочная в нижних горизонтах (pH 8,23), емкость поглощенных оснований почвы небольшая, сумма в горизонте А равна 18,83 мг*экв/100 г, преобладают катионы кальция. Почва несолонцеватая, доля поглощенного натрия от суммы поглощенных оснований 1,06%, нижние горизонты почвы не засолены, тип засоления – хлоридный. Согласно исследованиям почвы относятся к типу каштановых маломощных.

Ключевые слова: почва, плодородие, этап, техническая и биологическая рекультивация, удобрение

MONITORING AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT DISTURBED SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

Stepanova N.E.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: nat_stepanowa@mail.ru

In the development of hydrocarbons will inevitably breach the upper biologically productive horizons of the earth, which are the means of production in agriculture and forestry. For the purposes of preservation and restoration of soil fertility of agricultural land, it is necessary to conduct land reclamation. The article describes the stages of land reclamation, subject to total disruption of the topsoil in the development of hydrocarbons. The initial is the preparatory stage which involves the study of the specificity of conditions on the lands subject to reclamation and also identify possibilities for further land use after the completion of the rehabilitation works. The main purpose of the technical reclamation is to prepare the broken surface for subsequent biological recultivation. To restore the natural fertility of disturbed soils is the biological reclamation phase, after the technical stage, in the end, the degree of fertility among the remediated soils should not be lower than the same soils before the violation of them in the process of economic use. It is established that the soil of the district for the development of hydrocarbons humus, the organic matter content in the topsoil horizon of 2.07% in Podgoritsa is reduced to 0.73%, the reaction of the soil solution of the upper horizons are slightly alkaline (pH of 7.57) and alkaline in the lower horizons (pH of 8.23), capacity of the absorbed bases of the soil a small amount in the horizon And is equal to 18 and 83 mg*equiv/100 g, is dominated by calcium cations. Soil necronaut, the fraction of the absorbed sodium from the amount of absorbed bases of 1.06%, the lower horizons of the soil is not saline, salinity type – chloride. According to research by the soils belong to the type of low-power brown.

Keywords: soil, fertility, stage, technical and biological reclamation, fertilizer

Жирновский район расположен на южных окраинах Приволжской возвышенности в северо-восточной части Волгоградской области. Район граничит с Котовским, Руднянским и Еланским, а на северо-востоке с Красноармейским и Калининским районами Саратовской области. Расстояние от центра района до города Волгограда – 320 км. Площадь территории Жирновского района составляет 2979 км^2.

Одним из главных нефтегазодобывающих районов нашей области является Жирновский район. По данным Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области на территории региона размещено более 93 месторождений углеводородного сырья, из которых более 68 находится в разработке. Ежегодно в Волгоградском регионе добывается более 3,5 млн т нефти и 700 млн м^3 природного газа, из которых 70% приходится на Жирновский район, который располагает значительными земельными ресурсами: земельный фонд района составляет 296,9 тыс. га,

основную часть занимают земли сельскохозяйственного назначения – 251,9 тыс. га или 84,8 %. При разработке и добыче углеводородов, перевозке буровых установок образуются рытвины, почвы переуплотняются, загрязняются и уничтожаются [1].

Цель написания статьи сводилась к изучению этапов рекультивации нарушенных земель при разработке полезных ископаемых на территории Волгоградского региона.

В исследовании использовались такие научные методы, как анализ научной литературы, фондовых и картографических материалов, обобщение исходных материалов полевых экспедиций совместно с сотрудниками ФГБУ ЦАС «Волгоградский» по агрохимическому обследованию нарушенных земель.

Климат Жирновского района умеренно континентальный, с холодной зимой и жарким засушливым летом. Январь – самый холодный месяц со среднемесячной температурой минус 10,5 °С, самый теплый – июль со среднемесячной температурой плюс 25,9 °С (рис. 1). В конце марта начинается теплый период и заканчивается в конце октября или в начале ноября. В первой декаде декабря образуется устойчивый снежный покров, в январе – феврале отмечается его наибольшая мощность, которая достигает 45 см. Частые оттепели препятствуют образованию более мощного снежного покрова. Безморозный период составляет 148–165 дней. Гидротермический коэффициент составляет 0,7, что говорит о недостаточном увлажнении района. Среднегодовое количество осадков – 350–400 мм, и большая их часть выпадает летом в виде ливней (рис. 2). На поверхностный сток расходуется около 100 мм осадков. Среднемноголетний модуль поверхностного стока для данной территории составляет 2,0 л/с с 1 км^2.

Жирновский район относится к Хопёрско-Иловлинско-Донскому гидрологическому району. Территория разработки углеводородов занимает юго-восточное окончание Приволжской возвышенности, сильно расчленённой овражно-балочной сетью, с наличием мелких и крупных ступеней в рельефе. Формирование рельефа возвышенности происходило под воздействием интенсивного проявления новейших тектонических поднятий и эрозионных процессов. На территории Жирновского района развиты эрозионно-долинно-балочные формы рельефа. Преобладание береговых и склонных оврагов связано с наличием значительных уклонов, неустойчивых к размыву пород, а также с выпадением осадков ливневого характера и быстрым сходом снега во время непродолжительной весны [2–4].

Почва территории разработки и добычи углеводородов Жирновского района представлена среднеглинистым механическим составом (содержание физической глины составляет 29,16–36,39 % по всему профилю). Реакция почвенного раствора верхних горизонтов слабощелочная (pH 7,57) и щелочная в нижних горизонтах (pH 8,23).

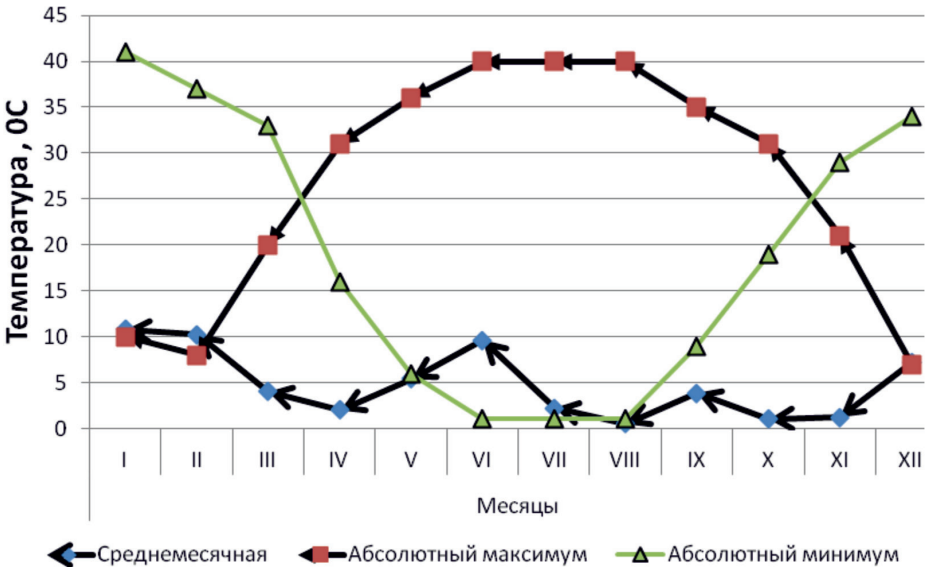


Рис. 1. Средняя температура воздуха Жирновского района Волгоградской области

По данным лабораторных исследований ФГБУ «ЦАС «Волгоградский» почва в районе обследования малогумусная – в верхнем горизонте, потенциально плодородном, содержится 2,07 % органического вещества, при понижении, в подгоризонте В – до 0,73 %. Емкость поглощенных оснований почвы территории добычи углеводородов небольшая, сумма поглощенных оснований в горизонте А равна 18,83 мг. экв/100 г.

На территории Жирновского района на землях, нарушаемых в процессе разработки углеводородов, предусмотрено сельскохозяйственное направление рекультивации. Сельскохозяйственное направление рекультивации предусматривает создание на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий.

Выбор направления рекультивации определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.02-85 «Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации». Выбранное направление рекультивации должно с наибольшим эффектом и наименьшими затратами обеспечить решение задач рационального и комплексного использования земельных ресурсов района, создания гармоничных ландшафтов, отвечающих хозяйственным, эстетическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

В соответствии с Земельным кодексом РФ предприятия, учреждения и организации при разработке полезных ископаемых, проведения строительных и других работ обязаны после окончания работ за свой счет привести нарушенные земли в состояние, пригодное для дальнейшего использования по назначению.

Согласно ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» рекультивация выполняется в два этапа: технический и биологический. Рекультивация производится с учетом местных почвенно-климатических условий и характеристики нарушенных земель.

Технический этап рекультивации включает в себя подготовку земель для сохранения плодородного слоя почвы и последующего целевого использования. Нормы снятия плодородного слоя почвы устанавливаются в зависимости от уровня плодородия нарушаемых почв. Производство работ по снятию растительного грунта в первую очередь должно осуществляться на период строительства поисковых скважин по добыче углеводородов в границах временного отвода земли. Перед производством работ растительный грунт должен быть снят на ширину монтажной зоны. На основании проведенных исследований состава почв территории разработки углеводородов Жирновского района ФГБУ ЦАС «Волгоградский» преобладают почвы каштанового типа. Рекомендованная на основании проведенных исследований глубина снятия плодородного слоя согласно ГОСТ 17.5.3.06-85 «Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ» составляет 0,40 м.

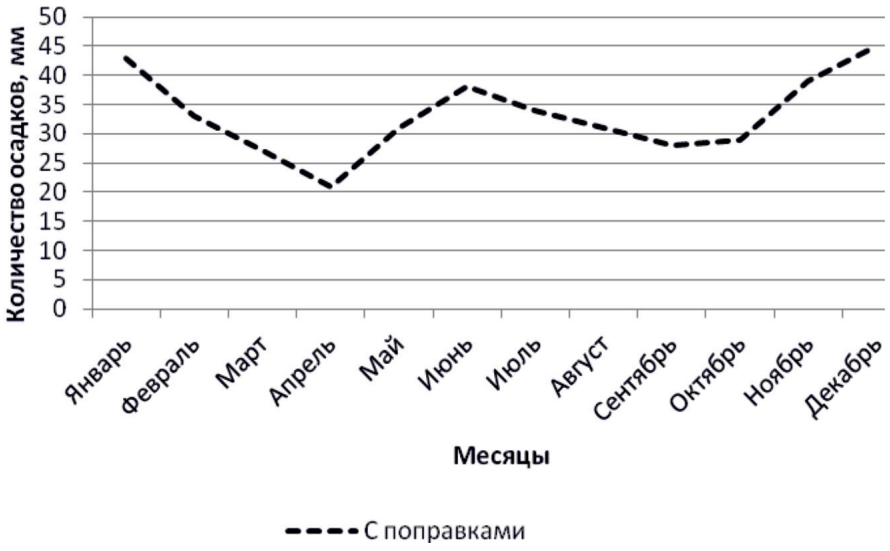


Рис. 2. Среднее количество осадков в Жирновском районе Волгоградской области

При строительстве поисковых скважин, в среднем отводится площадь около 50 000 м^2, при глубине снятия плодородного слоя 0,40 м норма снятия плодородного слоя составит примерно 20000 м^3. Плодородный слой снимается бульдозером (Т-170) и укладывается во временный отвал на ненарушенную поверхность в границах полосы временного отвода. Восстановление плодородного слоя после завершения работ осуществляется с использованием техники: (бульдозер (Т-170), экскаватор, а/с КАМАЗ). Планировку грунта производят бульдозером на тракторах класса 14–30 кН, самоходный скрепер. Уплотнение грунта проводят вибрационными катками.

Следующий этап биологический, который включает комплекс агротехнических фитомелиоративных мероприятий, направленных на закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой растений, создание сомкнутого травостоя и предотвращения развития водной эрозии почв, нарушенных в период строительства скважины.

Биологический этап рекультивации должен соответствовать следующим требованиям: поверхность почвы должна быть максимально выровненной и пригодной для проведения механизированных работ; верхний горизонт не должен содержать твердых включений, препятствующих механической обработке; последний проход почвообрабатывающего орудия при биологической рекультивации должен осуществляться поперек склона во избежание процессов водной эрозии; почва должна быть рыхлой и иметь объемную массу (степень плотности почвы) не более 1,22 г/см^3; содержание гумуса, основных элементов питания (азот фосфор, калий), мощность гумусового горизонта должна быть не ниже, чем эти параметры до начала строительных работ.

Механизированные работы по биологической рекультивации выполняются только в ранневесеннее или осеннее время, при достижении почвой состояния «физической спелости».

Для восстановления содержания питательных веществ в почве, доступных для растений, необходимо внести полный комплекс органических и минеральных удобрений. Нормы удобрений применяются на основании данных агрохимической характеристики почв Жирновского района, а также потребности растений. Так как район проведения мероприятий по рекультивации земель расположен в сухостепной зоне, наиболее пригодной культурой является многолетнее растение – люцерна желтая с мощной корневой системой. В таблице показан перечень работ по биологической рекультивации земель, а также рекомендуемая техника для площади 4,5 га, т.е. средний участок, отводимый при разработке углеводородов.

Решающее влияние на рост люцерны желтой оказывает навоз и минеральные удобрения. Доза органических удобрений (навоза) составляет 100 т/га, внесение минеральных удобрений: фосфатных – 60 кг/га, калийных – 40 кг/га, азотных – 80 кг/га. Норма высева люцерны жёлтой составляет 24 кг/га. Обязательной технологической операцией является выравнивание верхнего слоя почвы – предпосевное и послепосевное прикатывание. Внесение органического удобрения необходимо проводить осенью под вспашку, минеральных удобрений 50 % весной при посеве, 50 % в летний период с поливной водой. Орошение осуществляют мобильной передвижной дождевальной установкой ДКШ-64 «Волжанка» [6–8].

Перечень работ по биологической рекультивации земель, рассчитанных на 4,5 га

Наименование работ	Количество	Рекомендуемая техника
Внесение органических удобрений с механизированной загрузкой, с разбрасыванием, навоз, т/га	100	МТЗ-80, РУМ-5
Внесение органических удобрений с механизированной загрузкой, с разбрасыванием, кг/га: диаммофос хлористый калий	 80 40	МТЗ-80, РУМ-5
Дискование на глубину 12–14 см, га	4,5	ДТ-75, дисковая борона БДН 2,0
Предпосевная культивация на глубину 3 см, га	4,5	Т-150, КПС-4,0*2
Предпосевное прикатывание	4,5	МТЗ-82, КВНП 10
Посев многолетних трав (люцерна желтая), кг/га	24	Т-150, агратор диск 9000
Послепосевное прикатывание почвы, га	4,5	МТЗ-82, КВНП 10

В результате проведенных исследований почв Жирновского района Волгоградской области совместно с ФГБУ ЦАС «Волгоградский» получено, что в верхнем слое содержится 2,07% гумуса, pH составляет 7,57 по всему профилю, почва содержит физическую глину и представлена среднеглинистым механическим составом. Поэтому при разработке углеводородов верхний слой почвы перемещается во временный отвал для дальнейшего использования. На основании анализа климатических условий, плодородия почвы для проведения биологической рекультивации предложена люцерна желтая, имеющая мощную корневую систему.

Выводы

Таким образом, установлено, что рекультивация земель, нарушенных в ходе разработки углеводородов, позволит вернуть их для сельскохозяйственного использования. Обследование почв, проведение технического и биологического этапов рекультивации дают возможность восстановить плодородие почвы, нарушенное при разработке углеводородов.

Список литературы

1. Брылев В.А. Ландшафтные исследования нефтегазоносных территорий, как фактор устойчивого равзития Нижнего Поволжья / В.А. Брылев, С.И. Пряхин // Вестник Воронеж. Гос. Ун-та: География. Геоэкология. – 2011. – № 1. – С. 34–36.

2. Природные условия и ресурсы Волгоградской области: учебник / В.А. Брылев, И.М. Шабунина, В.А. Харланов, А.Н. Сажин; под ред. проф. В.А. Брылева. – Волгоград: Перемена, 1995. – 264 с.

3. Степанова Н.Е. Исследование почвенно-климатических условий светло-каштановых почв Городищенского района Волгоградской области / Н.Е. Степанова // Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы и перспективы развития современной аграрной науки». 01 июля 2014 г. – Изд. Николаевская государственная сельскохозяйственная опытная станция ИОЗ Национальной академии аграрных наук Украины, 2014. – С. 57–58.

4. Степанова Н.Е. Агрохимические показатели орошаемых почв Городищенского района Волгоградской области/ Н.Е. Степанова, И.А. Сулицкая // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летнему юбилею академика М.С. Григорова и 50-летию эколого-мелиоративного факультета. 12–14 ноября 2014 г., Волгоград. Том 2. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015. – С. 55–56.

5. Епифанова И.А Оптимизация затрат биологической стадии очистки нефтезагрязненных земель / И.А. Епифанова, М.Р. Цыбульникова // Экономика минерального и углеводородного сырья. – Томск, 2015. – С. 647–648.

6. Шейнфельд С.А. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для нефтедобывающего комплекса / С.А. Шейнфельд, П.В. Касьянов // Экологический вестник России. – 2015. – № 7. – 274 с.

7. Плескачёв Ю.Н. Биотехнологии в Волгоградской области / Ю.Н. Плескачёв, Н.И. Сёмина // Поле деятельности. – 2013. – № 1. – С. 17–18.

References

1. Brylev V.A. Landscape studies oil and gas bearing territories, as a factor of sustainable development of the Lower Volga region [Landshaftnye issledovaniia neftegazonosnykh territorii, kak faktor ustoichivogo razvitiia Nizhnego Povolzh'ia]. Vestnik Voronezh. Gos. Un-ta – Bulletin Of Voronezh. State. University, 2011, no. 1, pp. 34–36.

2. Brylev V.A. Prirodnye usloviia i resursy Volgogradskoi oblasti [Natural conditions and resources of the Volgograd region]. Volgograd: Peremena, Volgograd: Peremena, 1995, 264.

3. Stepanova N.E. Issledovanie pochvenno-klimaticheskikh uslovii svetlo-kashtanovykh pochv Gorodishchenskogo raiona Volgogradskoi oblasti [The study of soil and climatic conditions of light-chestnut soils of the gorodishchensky district of the Volgograd region]. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiia sovremennoi agrarnoi nauki». (g. Nikolaevsk, Ukraina, 1-1 iiulia 2014 g.) [Proceedings of Materials of International scientific-practical Internet-conference «Problems and prospects of development of modern agricultural science». (Nikolaevsk, Ukraine, July 1–1, 2014)], The national Academy of agrarian Sciences of Ukraine, Izd. Nikolaevskaia gosudarstvennaia sel'skokhoziaistvennaia opytnaia stantsiia IOZ Natsional'noi akademii agrarnykh nauk Ukrainy, 2014, pp. 57–58.

4. Stepanova N.E. Agrokhimicheskie pokazateli oroshaemykh pochv Gorodishchenskogo raiona Volgogradskoi oblasti [Agrochemical parameters of the irrigated soils of the gorodishchensky district of the Volgograd region]. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 80-letnemu iubileiu akademika Grigorova M.S. i 50-letiiu ekologo-meliorativnogo fakul'teta. (g. Volgograd, 12–14 noiabria 2014 g.) [Proceedings of Materials of International scientific-practical conference dedicated to 80-anniversary of academician M.S. Grigorova and the 50th anniversary of reclamation of the Department. (Volgograd, November 12–14, 2014)], FSBEI HPE Volgograd SAU, FGBOU VPO Volgogradskii GAU, 2014, pp. 55–56.

5. Epifanova I.A Cost optimization of biological treatment of oil-contaminated soil [Optimizatsiia zatrat biologicheskoi stadii ochistki neftezagriaznennykh zemel']. Ekonomika mineral'nogo i uglevodorodnogo syr'ia – The economy of mineral and hydrocarbons, 2015, no. 1, pp. 647-648.

6. Sheinfel'd S.A. Sbornik innovatsionnykh reshenii po sokhraneniiu bioraznoobraziia dlia neftedobyvaiushchego kompleksa [A collection of innovative solutions for biodiversity conservation for oil-producing complex]. Moscow, Ekologicheskii vestnik Rossii, 2015, 274.

7. Pleskachev Iu.N. Biotechnology in the Volgograd region Biotekhnologii v Volgogradskoi oblasti]. Pole deiatel'nosti – Biotechnology in the Volgograd region, 2013, no. 1, pp. 17–18.

УДК 550.7:551.243.4:553.98(571.56)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕНОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ АТРИБУТОВ

Феоктистова О.В.

ООО «ИНГЕОСЕРВИС», Тюмень, e-mail: info@ingeos.info

В данной статье рассматривается изучение потенциала продуктивности сенонских отложений на примере одного из месторождений севера Западной Сибири. В тектоническом отношении рассматриваемое месторождение приурочено к центральной части Северного крупного вала и северо-восточной части Пякупурской малой впадины, осложняющей Варьеганско-Пурпейскую зону линейных структур. Среди возможных источников углеводородов надсеноманские отложения в Западной Сибири выделяются в отдельную группу, так как их газоносность приурочена к нетрадиционному типу коллектора – глинистым опокам. Отсутствие коллектора в классическом представлении обусловливает трудность определения характера насыщения по данным ГИС и требует тщательного петрофизического обоснования для определения параметров ФЕС. На региональном и площадном этапах изучения сейсморазведочными работами МОГТ 2D и 3D надсеноманского комплекса было установлено, что залежи сенона приурочены к антиклинальным структурам, включающим в себя сеноманские газовые залежи, и в сейсмическом волновом поле проявляются в виде динамических аномалий типа «яркое пятно». Совместный анализ геолого-геофизических параметров залежей сенона и сеномана выявил ряд закономерностей, позволяющих выработать новые подходы к изучению перспектив сенонских залежей и на основе корреляционного анализа сейсмических данных определить классы потенциальной продуктивности резервуара на примере изучаемого месторождения. В рамках данной статьи приводится корреляционный анализ атрибутов сейсмической записи надсеноманского интервала с параметрами сеноманской залежи, на основе которого определяются граничные значения для исследования чувствительности волнового сейсмического поля, выделения классов аномалий AVO и определения классов потенциальной продуктивности газонасыщенного резервуара в сеноне.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Северный свод, сеноман, сенон, класс аномалии AVO, газовая залежь

THE DEFINITION OF CLASSES OF POTENTIAL PRODUCTIVITY SENENSKY SEDIMENTS BASED ON CORELATION OF SEISMIC ATTRIBUTES FOR CONDITIONS OF WEST SIBERIAN NORTH

Feoktistova O.V.

OOO «INGEOSERVIS», Tyumen, e-mail: info@ingeos.info

This article discusses the study of the productivity potential of the Senonian deposits on the example of one of the fields of the North of Western Siberia. In the tectonic relation the Deposit is confined to the Central North large shaft and the North-Eastern part Total minor depression that complicates Vareganskiy-Purpeyskaya area linear structures. Among the possible sources of hydrocarbons adenomas deposits in Western Siberia are highlighted in a separate group, since their content is confined to the non-traditional type of collector – clay flasks. The absence of a collector in the classical representation makes it difficult to determine the nature of saturation according to the log data and requires petrophysical justification for determining the parameters of filtration-capacitive properties. At the regional and area under study seismic surveys CDP 2D and 3D adenomyoma complex it was found that deposits of Cenon are confined to anticlinal structures, which includes the Cenomanian gas deposits, in the seismic wave field are shown in the form of dynamic anomalies of the type «bright spot». Joint analysis of geological and geophysical parameters of the Senon and senoman deposits revealed a number of regularities that allow to develop new approaches to the study of the prospects of the Senon deposits and on the basis of correlation analysis of seismic data to determine the classes of potential productivity of the reservoir on the example of the field under study. In this article is correlation analysis of attributes of seismic record adenomyoma interval parameters of the Cenomanian deposits on the basis of which are determined by the boundary values to study the sensitivity of seismic wave fields, identifying classes of AVO anomalies and determine the class of the potential productivity of gas-saturated reservoir in Cenon.

Keywords: Western Siberia, Northern arch, cenomanian, senon, AVO anomaly class, gas deposit

Газоносность сенонских отложений подтверждена испытаниями в скважинах ряда месторождений Западной Сибири, что позволяет отнести их к одному из наиболее приоритетных направлений поиска углеводородов среди возможных источников УВ-сырья в Западной Сибири [1]. Относительно малые глубины залегания и наличие развитой инфраструктуры в пределах выявленных залежей сенона обусловили возросший интерес к перспективам добычи и изучению коллекторских свойств нижнеберезовской подсвиты.

Породы данного интервала характеризуются относительно высокой пористостью, аномально низкой проницаемостью и наличием набухающих в воде минералов. Высокая неснижаемая водонасыщенность в сочетании с высокой сорбционной способностью затрудняют определение пара-

метров коллектора при петрофизических исследованиях керна и осложняют их выделение по материалам ГИС. Показания значений удельного электрического сопротивления (УЭС) на диаграммах каротажа, являющегося основным критерием для выделения перспективных прослоев, в условиях отсутствия лабораторных и петрофизических данных, являются недостаточно обоснованными и, следовательно, малоинформативными. В условиях низкой информативности имеющихся данных ГИС важное значение для изучения газоносности сенона приобретает сейсморазведка 3D.

На региональном и площадном этапах изучения сейсморазведочными работами МОГТ 2D и 3D надсеноманского комплекса было установлено, что залежи сенона приурочены к антиклинальным структурам, включающим в себя сеноманские газовые залежи. Они имеют площадь как меньшую, так и большую по сравнению с последними и в сейсмическом волновом поле проявляются в виде динамических аномалий [2].

Изучение атрибутов сейсмической записи надсеноманского интервала и проведение корреляционного анализа с параметрами сеноманской залежи позволил выявить ряд закономерностей, позволяющих выделить классы потенциальной продуктивности коллектора в сеноне, определить граничные значения информативного атрибута и выделить классы AVO-аномалий для обоснования и определения по данным ГИС граничных значений удельного электрического сопротивления по каждому классу.

Краткая характеристика участка работ

В тектоническом отношении рассматриваемое месторождение приурочено к центральной части Северного крупного вала и северо-восточной части Пякупурской малой впадины, осложняющей Варьеганско-Пурпейскую зону линейных структур.

Сеноманские отложения представлены песчано-алевритовыми слабосцементированными разностями пород, чередующимися с глиной, сильно алевритистой, переходящей в алевролиты. Вышезалегающие отложения сенона сложены опоками и кремнистыми аргиллитами и являются коллекторами с низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС).

Ранее в пределах данного месторождения в интервале сенона по диаграммам каротажа и сейсмическим атрибутам были определены критерии для оценки перспектив газоносности [3]. В данной статье приводится корреляционный анализ атрибутов сейсмической записи надсеноманского интервала с параметрами сеноманской залежи, на основе которого определяются граничные значения информативного атрибута для исследования чувствительности волнового сейсмического поля на аномалии AVO и определения классов потенциальной продуктивности залежи в интервале отложений сенона.

Анализ сейсмических данных

На временных сейсмических разрезах в интервале сенона фиксируется динамическая аномалия, которая обусловлена резким понижением акустической жесткости пород нижней подсвиты березовской свиты. Сейсмическая аномалия приурочена к отражающему горизонту $С_1$, отождествляемому с кровлей нижнеберезовской подсвиты (пласт $С_1$). Отражающий горизонт Г отождествляется с кровлей покурской свиты (пласт $ПК_1$) – кровлей сеноманской залежи. Ниже по разрезу фиксируется поверхность газо-водяного контакта – ГВК (рис. 1).

Визуальный анализ показывает, что усиление динамической аномалии в интервале сенона и увеличение периода отраженной волны $С_1$ связано с уменьшением времени прихода волны (t0 $С_1$). Существует предположение, что емкостные характеристики, как и геометрия резервуаров в интервале сенона и сеномана, контролируются структурным планом, а для сенонских залежей, в предположении их «флюидодинамического» характера образования, и удаленностью по вертикали от залежи в сеномане.

Выделение классов потенциальной перспективности отложений сенона проводилось на основании связи атрибута сейсмической записи в данном интервале с глубиной залегания кровли нижнеберезовской подсвиты по графику Нгл ОГ $С_1$ (а.о., м) – атрибут «энергия» ОГ $С_1$. Локализация точек на графике позволила выделить 3 класса по признакам Нгл ОГ $С_1$ (а.о., м); атрибут «энергия». Контуры классов определены по данному графику по абсолютным отметкам залегания пласта и приведены на рис. 2.

Анализ скважинных данных

При отсутствии лабораторных петрофизических данных определение характера насыщения в скважинах является приблизительным, что обусловливает практическую невозможность корректного количественного определения подсчетных параметров пластов-коллекторов по данным методов ГИС.

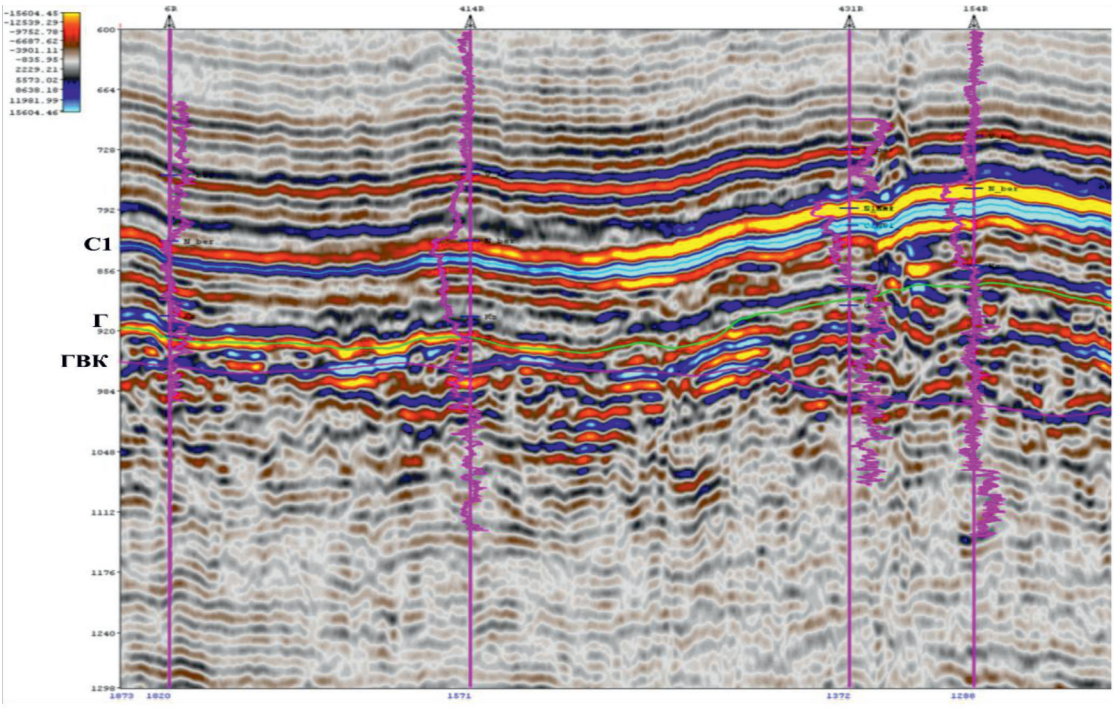


Рис. 1. Динамическая аномалия в интервале отложений сенона

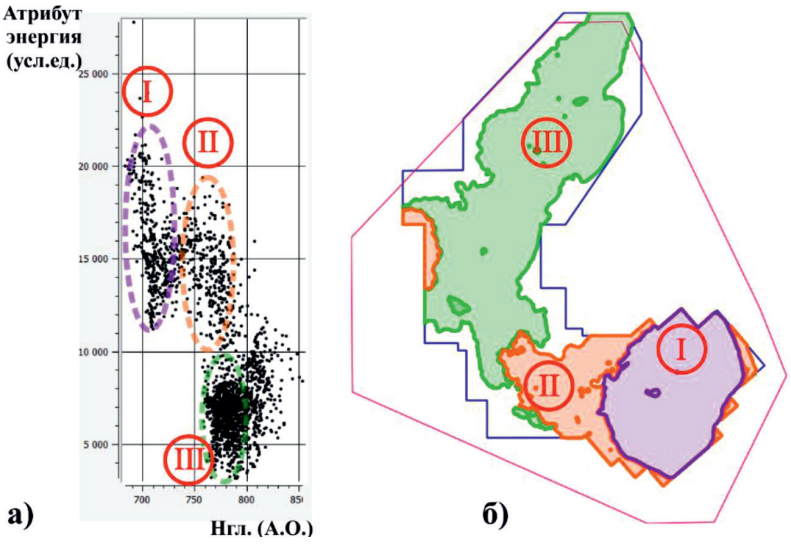


Рис. 2. Выделение классов по двум признакам: «абсолютные отметки кровли нижнеберезовской подсвиты»; атрибут «энергия»; а) график зависимости атрибута «энергия» вдоль ОГ $С_1$ от глубины залегания кровли коллектора пласта $С_1$, б) схема контуров классов

Из 140 поисково-разведочных скважин на площади, керн из интервала нижнеберезовской подсвиты был отобран в одной – скважине 384. По данным макроописания керн представлен глинами и опоками, с трещинно-поровым типом пустотного пространства. Испытания в данном интервале не проводились. По показаниям газового каротажа интервал характеризуется как газонасыщенный. Низкая продуктивность отложений нижнеберезовской подсвиты может объясняться плохим качеством первичного и вторичного вскрытия. Высокая гидрофильность опок, являющихся коллекторами, приводит при контакте с буровым раствором к их разбуханию, закрытию трещин и поровых каналов, формированию больших зон проникновения.

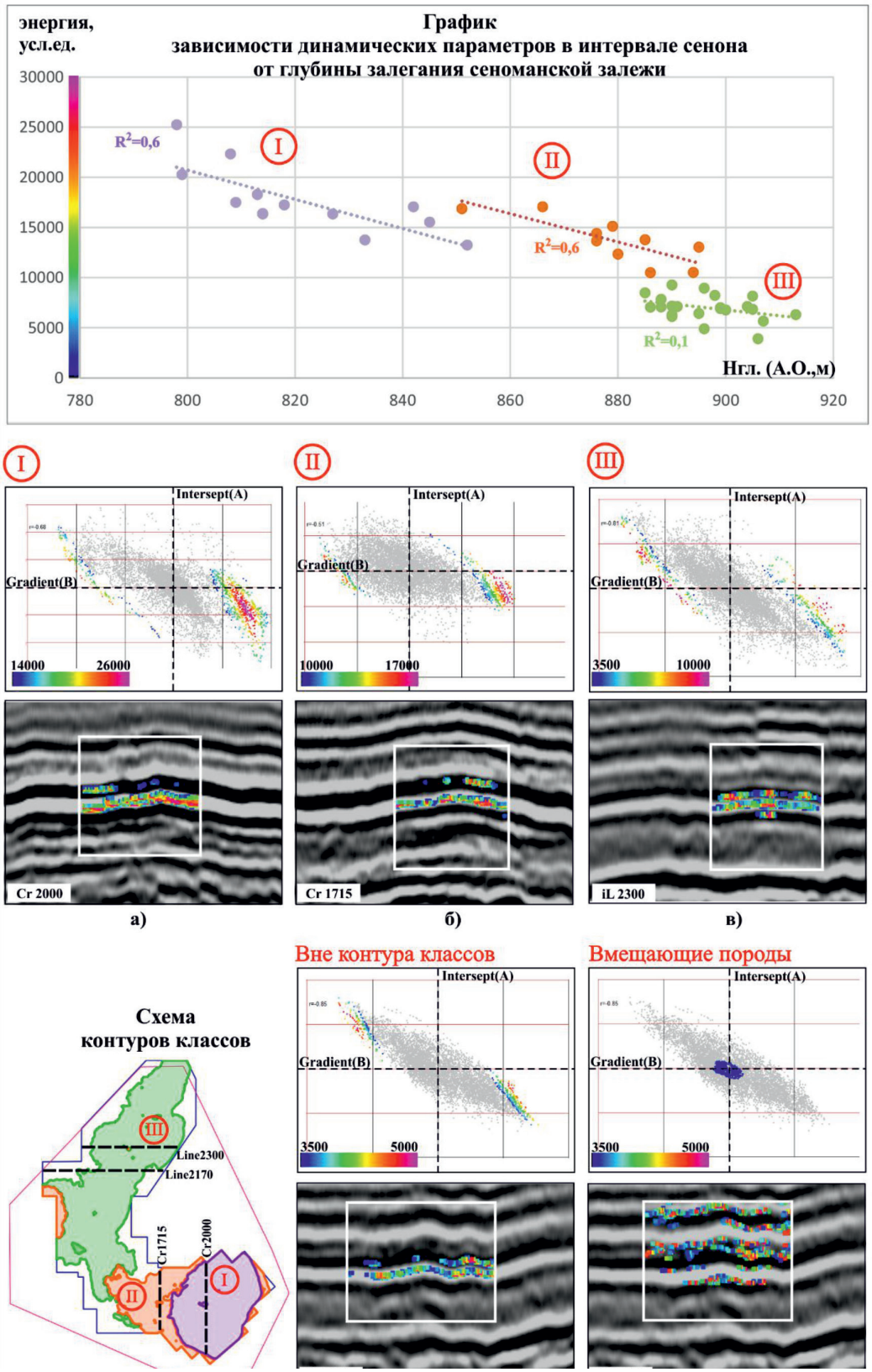


Рис. 3. Классификация AVO-аномалий в интервале сенона в зависимости от глубины залегания кровли сеноманской залежи: а, б, в) кросс-плоты AVO в пределах выделенных классов с селекцией точек на временных сейсмических разрезах; г, д) кросс-плоты AVO за контуром классов с селекцией точек на временных сейсмических разрезах

Интервал выноса керна еще по одной скважине 431 пришелся на верхнеберезовскую подсвиту. В скважине 431 при испытании получен приток газа. Дебит газа составил на 4-мм шайбе – 5,1 тыс.м^3/сут.

Практическое отсутствие отобранного керна не позволяет разработать полноценную методику интерпретации ГИС для отложений данного интервала.

Таким образом, оценка насыщения в сеноне по материалам комплекса ГИС для данного месторождения достаточно приблизительна и носит качественный характер, в связи с чем и возникла необходимость разработки дополнительных методик изучения потенциала газоносности сенона, основанных на анализе сейсмических данных.

Интерпретация результатов кросс-плотов AVO в интервале отложений нижнеберезовской подсвиты

Для изучения связей сейсмических характеристик аномалии в сеноне с параметрами сеноманской залежи были построены кросс-плоты Нгл ОГ ПК$_1$ (а.о., м) – атрибут «энергия» по каждому классу (рис. 3) и установлено, что в пределах классов, характеризующихся близостью отложений сенона к купольной части сеноманской залежи, энергия сейсмического волнового поля и теснота связи Нгл ОГ ПК$_1$ (а.о., м) – атрибут «энергия» выше.

Для оценки перспектив газоносности по сейсмическим данным в пределах каждого класса были построены кросс-плоты AVO, где в качестве третьей переменной в цветокодированном виде учитывался информативный атрибут «энергия» (C$_1$) (рис. 4).

Анализ вариаций амплитуд с удалением является одним из самых важных сейсмических инструментов изучения литологического состава изучаемых отложений [4] Способность идентифицировать насыщение пород сделала данный вид сейсмической интерпретации стандартом при изучении газоносности отложений. При использовании данной методики для интерпретации положено в основу уравнение Цеппритца о том, что ближние сейсмические трассы несут информацию об акустических импедансах (акустической жесткости среды), дальние – о контрасте коэффициента Пуассона [5]. Но все чаще признается, что атрибуты AVO должны сопровождаться мерой вероятности получаемого конкретного результата.

Довольно перспективным считаем решение данной проблемы на основе привлечения статистических методов и комплексного анализа петрофизических трендов, устанавливаемых по каротажным данным в пределах каждого класса.

В данном случае использование технологии анализа AVO в общей последовательности атрибутного анализа проводилось на завершающем этапе.

Технологическая схема комплексирования:

1. Проведение корреляционного анализа по сейсмическим данным, выбор информативных параметров (Нгл ОГ С1 (а.о., м) – атрибут «энергия» ОГ С1), классификация на основе проведенного анализа.

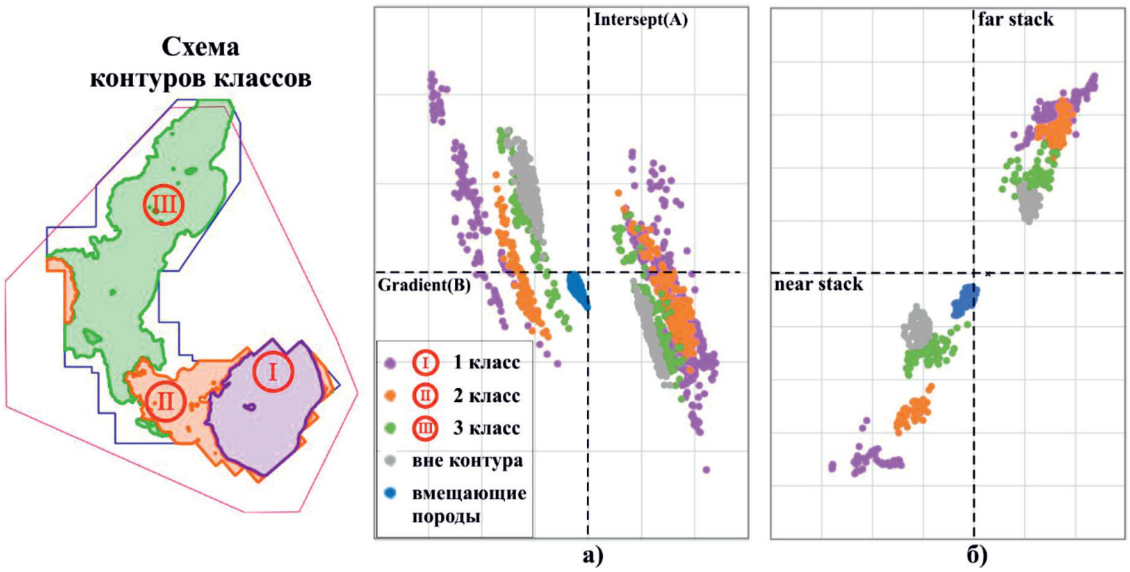


Рис. 4. Результаты интерпретации аномалий AVO: а) кросс-плот «Intersept – Gradient»; б) кросс-плот «near stack – far stack»

2. Статистический корреляционный анализ (Нгл ОГ ПК1 (а.о., м) – атрибут «энергия») в пределах выделенных классов, анализ тесноты связи между выбранными параметрами, определение граничных значений информативного атрибута «энергия» для присвоения классам рангов перспективности.

3. Построение трехмерных кросс-плотов AVO с учетом определенных граничных значений информативного атрибута в пределах выделенных классов, присвоение рангов газоносности.

Характер распределения точек анализа на кросс-плотах AVO (intercept-gradient и near stack-far stack) позволяет провести ранжирование перспектив по классам (рис. 4).

Поскольку в пределах контура 1 класса контрастность по параметрам AVO выше и установлена газоносность по данным бурения при испытании скважины 431, можно с высокой долей уверенности присвоить данному классу ранг высокоперспективного коллектора, 2 классу – ранг потенциально перспективного коллектора.

Данные 3 класса и данные «вне контура классов» перекрываются, что говорит о неясном насыщении коллектора выделенного нами 3 класса. Данные, локализованные в самом центре кросс-плота, принадлежат интервалу вмещающих пород.

Таким образом, в результате изучения взаимной корреляции параметра динамической аномалии с глубиной залегания кровли сеноманской залежи выявлено, что точки анализа можно локализовать и разделить на классы. В пределах выделенных классов выполнен анализ взаимной корреляции атрибутов сейсмической записи интервала отложений нижнеберезовской подсвиты с параметрами залежи в сеномане. Анализ показал чувствительность параметров залежи сенона к удаленности по вертикали от сеноманской залежи. Теснота связи параметров сенона с параметрами сеномана выше для 1 и 2 классов, расположенных в самой высокой части залежи. В пределах всех выделенных классов выполнен AVO-анализ, который подтвердил предлагаемую классификацию, проведенную по графикам Нгл (а. о.) ($С_1$) атрибут «энергия», и Нгл (а. о.) $ПК_1$ – атрибут «энергия» и позволил оценить вероятность и степень насыщенности высокоперспективного газового резервуара.

Выводы

В результате изучения взаимной корреляции параметров динамической аномалии в интервале нижнеберезовской подсвиты с глубиной залегания кровли нижнеберезовской подсвиты выявлено, что данные группируются в классы по признакам Нгл ОГ $С_1$ (а.о., м) – атрибут «энергия» и Нгл ОГ $ПК_1$ (а.о., м) – атрибут «энергия».

В пределах выделенных классов проведен анализ взаимной корреляции атрибутов сейсмической записи интервала сенона с параметрами сеноманской залежи. Анализ показал чувствительность параметров залежи сенона к мощности сеноманской залежи.

В пределах выделенных классов выполнен AVO-анализ, который позволил оценить вероятность и степень насыщенности высокоперспективного газового резервуара по площади.

Граничные значения сейсмического атрибута и абсолютных отметок кровли нижнеберезовской подсвиты по каждому классу могут служить основанием для районирования площади по перспективности.

Важнейшим выводом данной работы является заключение о том, что одним из самых значимых факторов, влияющих на размер площади газоносности и емкость коллектора в сеноне, является амплитуда структурной ловушки, которая выражается в высоте газовой залежи в сеномане.

Так как надсеноманские отложения крайне мало изучены бурением, то важнейшей практической значимостью работы является установление критериев определения потенциала перспектив сенона по сейсмическим данным в условиях отсутствия данных бурения в интервале отложений нижнеберезовской подсвиты или для принятия граничных значений по ГИС при оценке перспектив данного пласта.

Данная работа проводилась на базе материалов, систематизированных и обработанных в ООО «ИНГЕОСЕРВИС» (г. Тюмень). Автор выражает свою благодарность руководству компании за предоставленные материалы.

Список литературы

1. Черепанов В.В., Пятницкий Ю.И., Хабибулин Д.Я., Ситдиков Н.Р., Варягов С.А., Нерсесов С.В., Оглодков Д.Ю. Разработка технологии освоения нетрадиционных коллекторов надсеноманских отложений на этапе геологоразведочных работ с целью вовлечения ресурсной базы газовых месторождений ОАО «Газпром» в Ямало-Ненецком автономном округе // Георесурсы. – 2014. – № 4. – С. 59–64.

2. Пережогин А.С., Нежданов А.А., Смирнов А.С. Перспективы освоения сенонского газоносного комплекса севера Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 6(52). – С. 42–46.

3. Феоктистова О.В. Критерии выявления газонасыщенных резервуаров сенона в пределах Северного свода Западной Сибири по технологии AVO-анализа с использо-

ванием трехмерных кросс-плотов // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 2. – С. 151–157.

4. John P. Castagna. Recent advances in seismic lithologic analysis // Geophysics. – January-February 2001. – vol. 66, № 1. – P. 42–46.

5. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Published in the United States of America by Cambridge University Press. – N.Y., 2009. URL:www.cambridge.org/9780521861366 (дата обращения: 18.02.2018).

References

1. Cherepanov V.V. Development of technology for the development of unconventional reservoirs adenomas deposits on the exploration phase for the involvement of the resource base the gas fields of OAO Gazprom in the Yamalo-Nenets Autonomous district [Razrabotka tekhnologii osvoeniia netraditsionnykh kollektorov nadsenomanskikh otlozhenii na etape geologorazvedochnykh rabot s tsel'iu vovlecheniia resursnoi bazy gazovykh mestorozhdenii OAO «Gazprom» v Iamalo-Nenetskom avtonomnom okruge]. Georesursy – geological resources, 2014, no. 4, pp. 59–64.

2. Perezhogin A.S. Prospects for the development of saranskogo gas complex in the North of Western Siberia [Perspektivy osvoeniia senonskogo gazonosnogo kompleksa severa Zapadnoi Sibiri]. Ekspozitsiia Neft' Gaz – Exposition Oil Gas, 2016, no. 6, pp. 42–46.

3. Feoktistova O.V. Criteria for the identification of gas-saturated reservoirs of the senones within the northern arch of the western Siberia on the technology of AVO analysis using three-dimensional cross-plot [kriterii vyiavleniia gazonasyshchennykh rezervuarov senona v predelakh Severnogo svoda Zapadnoi Sibiri po tekhnologii AVO-analiza s ispolzovaniem trekhmernykh krossplotov]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – Progress of modern natural Sciences, 2018, no. 2. available at: https://www.natural-sciences.ru/ru/issue/view?id=582 (accessed 12.03.2018).

4. John P. Castagna Recent advances in seismic lithologic analysis. Geophysics, 2001, no. 66, pp. 42–46.

5. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. N.Y., Cambridge University Press, 2009, 511 p.

УДК 528.9:911.52

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ

Фролов А.А.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: f-v1984@mail.ru

Раскрыто понятие «изменчивости» как сложного свойства географических систем, отражающего многообразие видов пространственно-временных изменений в ландшафтах, выраженных на территории в существовании коренных и переменных состояний геосистем. Показаны два подхода геоинформационного картографирования изменчивости геосистем. Первый подход заключается в разработке и реализации алгоритмов прогнозного геоинформационного моделирования и картографирования возможных изменений состояния геосистем под влиянием естественных или антропогенных факторов, например, при изменении климата или после пожаров. Информационной основой первого подхода являются различные ландшафтные карты, в том числе полученные при реализации второго подхода, отражающие современное состояние территории, данные ретроспективного изучения развития региона, а также сценарии изменения влияющих факторов, по отношению к которым будет осуществляться прогноз (например, сценарий изменения климата или информация о намечаемой хозяйственной деятельности). В итоге создаются прогнозные карты возможных изменений состояния геосистем, отражающих их временную изменчивость. Второй подход заключается в геоинформационном анализе и картографировании ландшафтной структуры территории в ее динамическом понимании, т.е. структуры коренных и переменных состояний, отражающих разные стороны пространственной изменчивости геосистем. Информационной основой этого подхода служат данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), материалы комплексных полевых исследований ландшафтов, картографические и литературные данные. С использованием методов геосистемного картографирования в сочетании с различными автоматизированными алгоритмами обработки данных дистанционного зондирования Земли создавались растровые и векторные ландшафтные карты, а также производные от них серии аналитических карт, отражающих разные стороны пространственной изменчивости геосистем.

Ключевые слова: ландшафтная структура, изменчивость геосистем, геоинформационное картографирование, ландшафт, данные дистанционного зондирования Земли

GIS-MAPPING IN THE STUDY OF LANDSCAPE CHANGEABLENESS

Frolov A.A.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: f-v1984@mail.ru

The notion of «changeableness» as a complex property of geographical systems that reflects the diversity of the types of spatial-temporal changes in landscapes expressed on the territory in the existence of radical and variable states of geosystems is disclosed. Shown two approaches of geoinformation mapping of geosystem changeableness. The first approach is to develop and implement algorithms for prognosis geoinformation modeling and mapping of possible changes in the state of geosystems under the influence of natural or anthropogenic factors, for example, with climate change or after fires. The information basis for the first approach is various landscape maps, including those obtained with the implementation of the second approach, reflecting the current state of the territory, the retrospective study of the development of the region, and scenarios for changing the influencing factors to which the forecast will be implemented (for example, the scenario of change climate or information about planned economic activity). As a result, prognostic maps of possible changes in the state of geosystems reflecting their temporal variability are created. The second approach is geoinformation analysis and mapping of the landscape structure of the territory in its dynamic understanding, that is structures of radical and variable states, reflecting different aspects of geosystem changeableness. Information basis of this approach is data from the Earth remote sensing (ERS), the materials of field researches of landscapes, cartographic and literature data. Using the methods of geosystem mapping in combination with various automated algorithms for processing remote sensing data, raster and vector landscape maps were created, as well as derived from them series of analytical maps reflecting different aspects of spatial of geosystem changeableness.

Keywords: landscape structure, changeableness of geosystems, GIS mapping, landscape, remote sensing data

Изменчивость – сложное свойство ландшафтов (геосистем), отражающее многообразие видов пространственно-временных изменений состояния геосистем. Пространственно-временная изменчивость геосистем одновременно проявляется в резких и постепенных пространственных, сукцессионных, естественных и антропогенных, катастрофических, эволюционных и динамических преобразованиях. Основатель сибирской физико-географической школы академик В.Б. Сочава разработал учение о геосистемах [1], в соответствии с которым геосистемы представлены разного рода коренными структурами и переменными состояниями, подчиненными определенному инварианту, изменение которого выражается в эволюции геосистемы. Все изменения, происходящие в рамках одного инварианта есть динамика геосистем, определяемая естественными и антропогенными причинами. Антропогенное воздействие на при-

родные ландшафты формирует высокое разнообразие переменных состояний геосистем, и чем сильнее это влияние, тем значительнее степень отклонения от коренного состояния (антропогенно-нарушенные, антропогенно-измененные геосистемы, геотехнические системы).

Изучение пространственно-временной изменчивости геосистем (ландшафтов), вызванной влиянием природных и антропогенных факторов, является одной из важнейших задач физической географии и геоэкологии. Заблаговременная оценка возможных трансформаций ландшафтов подразумевает разработку прогнозов изменений и оценку вероятного ущерба или выгоды. В настоящее время для изучения изменчивости геосистем и их компонентов широко применяют инструменты геоинформационного картографирования с использованием ГИС-технологий на основе материалов полевых исследований ландшафтов, картографической информации и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2–5]. Накопленный в этих исследованиях опыт показан в ряде работ на примере прогноза и геоинформационного картографирования изменчивости ландшафтов Прибайкалья.

Материалы и методы исследования

Цель исследования – освещение некоторых подходов геоинформационного картографирования изменчивости ландшафтов.

В качестве объекта исследования выбраны ландшафты территории Прибайкалья. Район исследования отличается неоднородной историей развития, контрастной физико-географической и ландшафтной обстановкой, с большим разнообразием видов антропогенно трансформированных комплексов, наличием уникальных и реликтовых природных геосистем. На территории Прибайкалья представлен широкий спектр ландшафтов: от степных, лесостепных, подтаежных и таежных равнинных до горно-таежных, подгольцовых и гольцовых горных ландшафтов [6, 7]. Данная территория несет в себе важную средозащитную функцию, препятствуя негативному влиянию на уникальный пресноводный объект – озеро Байкал.

Рассмотрим два подхода к геоинформационному картографированию пространственно-временной изменчивости ландшафтов:

1. Прогнозное ГИС-картографирование возможных трансформаций состояния геосистем при воздействии разных факторов.

2. ГИС-анализ ландшафтной структуры территории в ее динамическом понимании, т.е. структуры коренных и переменных состояний геосистем, показывающих различные аспекты пространственной изменчивости ландшафтов.

Первый подход отражает принципы изучения временной перспективной изменчивости ландшафтов с помощью построения прогнозных карт ожидаемых трансформаций геосистем. Данный подход реализуется методами эволюционного картографирования, в котором выделяются два основных способа изменения карт:

1) типологическое изменение ландшафтных выделов без трансформации сетки границ, что проявляется, например, в результате колебаний показателей регионального и глобального фона;

2) изменение границ ландшафтных выделов в результате трансформации рельефа, коренных пород и почв, катастрофических процессов и др.

Мы применяли первый способ эволюционного картографирования перспективных изменений на фоне колебаний климатических характеристик. Прогнозное картографирование климатогенных трансформаций ландшафтов производилось в разных масштабах:

1) картографирование изменений в геомной структуре (региональный уровень) территории Прибайкалья при климатических колебаниях [8];

2) проведение геоинформационно-картографического анализа трансформаций геосистем уровня групп фаций (локальный уровень) с использованием модели клеточного автомата (КА) [9].

Основой создания прогнозных карт является анализ площади распространения различных геомов и сопряженных с ними классов и групп фаций по высоте их местоположения, при этом строятся территориальные графы смежности, характеризующие пространственное соседство геосистем. Все исследования осуществляются с учетом высоты, которая рассматривается в качестве характеристики состояния геосистем, что оправдано на территориях с выраженным горным и горно-равнинным рельефом. Клеточный автомат (КА) как математико-картографическая модель трансформации состояния геосистем показывает пространственное распределение и локальные взаимодействия ландшафтных выделов друг с другом, моделирующие природные взаимосвязи, на

фоне климатических изменений. На основе такого подхода реализованы созданные алгоритмы прогнозного картографирования климатогенных изменений геосистем на региональном (геом) и локальном (группа фаций) масштабном уровне [8, 9].

Второй подход реализовывался по двум направлениям:

1) построение оперативных растровых карт ландшафтной структуры на базе космических снимков Landsat 5 TM, 8 OLI методом контролируемой классификации [10];

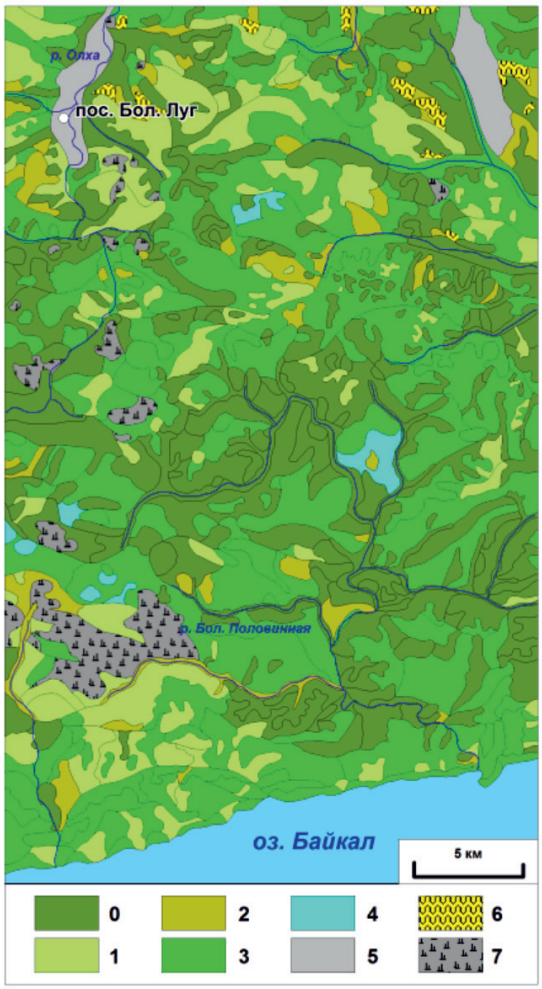
2) создание векторных карт ландшафтной структуры и производных от них инвентаризационных карт, отражающих разные стороны изменчивости ландшафтов [11].

По первому направлению второго подхода в одной из работ [10] показана методология и результаты создания растровых карт ландшафтов Южного Прибайкалья на основе космических снимков Landsat 8 OLI. Эти данные определяют геосистемы как локального, так и регионального масштаба, но при этом покрывают значительную площадь территории. Применяя методы автоматизированной обработки космических снимков, основанные на яркостном анализе, созданы разновременные «индексные» изображения NDVI, по которым изучалось состояние геосистем, определялись коренные биогеоценозы и их переменные состояния. Эти изображения впоследствии использовались для верификации результатов автоматического дешифрирования данных ДЗЗ на территорию исследования. На основе космических снимков Landsat методом контролируемой классификации с обучением (способ спектрально-пространственной классификации ECHO) [12, 13] построена растровая ландшафтная карта на район Южного Прибайкалья. Автоматическая обработка данных Landsat дала возможность осуществить количественный анализ пространственной структуры ландшафтов, оперативно проанализировать долю присутствия тех или иных видов естественных и антропогенно-нарушенных геосистем на территории исследования, определить площади их распространения и приуроченность к определенным местоположениям [10].

Второе направление второго подхода связано с созданием векторных ландшафтно-типологических карт локального масштаба (уровня биогеоценозов), отражающих разные стороны изменчивости геосистем. Информационной основой данного подхода служат материалы комплексных полевых исследований ландшафтов, данные ДЗЗ, цифровая модель рельефа, картографические и литературные источники, совместное использование которых в сочетании с методами лабораторной обработки пространственной информации позволило сделать анализ ландшафтной структуры участка территории Южного Прибайкалья и создать векторную ландшафтную карту [11]. Карта и база данных ГИС является основой для дальнейшего геоинформационного анализа района исследования, в результате которого создаются серии оценочных карт, показывающих разные стороны изменчивости ландшафтов (структура геомов, факторально-динамические ряды (классы) фаций, динамические состояния геосистем (биогеоценозов) (рисунок), степень антропогенной нарушенности геосистем, серийность геосистем (группы фаций)).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве примера построена оценочная карта динамических состояний геосистем как одного из показателей изменчивости ландшафтов территории Южного Прибайкалья (рисунок). Динамические (переменные) состояния – состояния геосистемы локального уровня (фации), сменяющие друг друга в процессе восстановительной многолетней динамики (сукцессии) после определенного воздействия (вырубки леса, пожара и др.). Каждое динамическое состояние проявляется на местности в определенном биогеоценозе, которые сменяют друг друга в процессе сукцессии: от серийных биогеоценозов на начальных сукцессионных стадиях до коренных на конечных сукцессионных стадиях (климакс). А.А. Крауклис выделял три переменных состояния фации: активизация, стагнация, нормализация [14]. Активизация свойственна для начальных сукцессионных стадий, сопровождается увеличением продуцирования биомассы, что характерно для молодых травянистых, кустарниковых и лесных сообществ. Стагнация сопровождается уменьшением продуцирования биомассы, накоплением медленно гумусирующейся отмершей органики, что характерно, например, для темнохвойных и светлохвойных мелколесий. Состояние нормализации сочетает в себе черты и активизации и стагнации, но те и другие проявляются в умеренной степени (лиственные, светло- и темнохвойно-лиственные крупнолесья).



Динамические состояния геосистем участка территории Южного Прибайкалья

Легенда

0 – коренное состояние (ненарушенные сосновые, лиственнично-сосновые, пихтово-кедровые крупнолесья на приводораздельных участках и пологих склонах);

1 – активизация (нарушенные после пожаров и рубок молодые березовые, осиновые леса и кустарниковые сообщества на водоразделах, склонах и в долинах);

2 – стагнация (высокосомкнутые кедровые, пихтовые и сосновые мелколесья с примесью осины и березы, высокосомкнутый средневозрастный лиственный лес на водоразделах, склонах и в долинах);

3 – нормализация (сосново-, лиственнично-, кедрово-, пихтово-осиново-березовые крупнолесья на склоновых и приводораздельных местоположениях);

4 – стагнация и нормализация (пихтово-кедровые с примесью осины и березы крупнолесья с вкраплениями стагнирующих пятен (участков темнохвойного мелколесья).

Антропогенно-трансформированные территории:

5 – селитебные территории;

6 – земли сельскохозяйственного использования;

7 – свежие гари.

Дополнительно на территории исследования, где антропогенное влияние сведено к минимуму, выделены геосистемы в коренном неизмененном состоянии с полноразвитыми почвами и естественными развитыми биоценозами, отвечающими внешним природным условиям (географическому фону), что характерно для состояния климакса.

На территории Южного Прибайкалья, где сосредоточены промышленные объекты и населенные пункты, распространены антропогенно-измененные биогеоценозы, которые в результате интенсивного антропогенного влияния не успевают пройти процесс стабилизирующей динамики. К таким биогеоценозам относятся луга в долинах рек, обустроенные под сенокосы и пастбища, а также ослабленные промышленным загрязнением и угнетаемые частыми пожарами изреженные сосново-березовые леса на склонах разной экспозиции.

Особо нужно отметить наличие на приводораздельных местоположениях горно-таежных ландшафтов темнохвойных лесов в стадии нормализации, в которых имеются вкрапления стагнирующих пятен (участков темнохвойного мелколесья), происхождение которых для нас остается не в полной мере ясным.

Заключение

Рассмотренные геоинформационно-картографические подходы к изучению изменчивости ландшафтов раскрывают ее сущность с разных сторон, дополняя друг друга. Один из подходов раскрывает пространственную изменчивость (изменение в пространстве), отображая на картах ландшафтную структуру территории, т.е. структуру коренных и переменных состояний геосистем в определенный момент времени. Важнейшей составляющей данного подхода является активное использование пространственной информации (данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) (космические снимки, цифровые модели рельефа), картографические произведения (топографические и тематические карты различного содержания и масштаба, материалы лесоустройства), базы данных ГИС. Построенные с использованием этого подхода ландшафтные карты, в свою очередь,

являются основой для реализации другого подхода, который направлен на изучение возможных изменений (прогнозирования) состояния геосистем во времени, отражая временную изменчивость ландшафтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00462 «мол_а».

Список литературы

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 318 с.

2. Буренина Т.А., Назимова Д.И. Географические исследования лесов Сибири // География и природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 165–172.

3. Корниенко С.Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 67–73.

4. Остроухов А.В. Оценка динамики антропогенной трансформации темнохвойных лесов северного Сихотэ-Алиня на основе дистанционного зондирования // География и природные ресурсы. – 2014. – № 1. – С. 155–160.

5. Хромых В.В., Хромых О.В. Использование ГИС-технологий для изучения динамики долинных ландшафтов (на примере долины Нижней Томи) // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 300–1. – С. 230–233.

6. Плюснин В.М., Сороковой А.А. Геоинформационный анализ ландшафтной структуры Байкальской природной территории. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. – 188 с.

7. Сочава В.Б., Ряшин В.А., Белов А.В. Главнейшие природные рубежи в южной части Восточной Сибири // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальн. Востока. – 1963. – Вып.4. – С. 19–24.

8. Фролов А.А. Прогнозное картографирование изменений ландшафтной структуры Предбайкалья при потеплении климата // Геодезия и картография. – 2010. – № 9. – С. 27–32.

9. Фролов А.А., Черкашин А.К. Эволюционное геоинформационное моделирование и картографирование // Геодезия и картография. – 2009. – № 6. – С. 40–45.

10. Фролов А.А. Картографирование ландшафтов Южного Прибайкалья на основе спутниковых данных Landsat // Геодезия и картография. – 2016. – № 10. – С. 22–29.

11. Фролов А.А. Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 156–166.

12. Тутубалина О.В. Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв»: учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2009. – 112 с.

13. Landgrebe D., Biehl L. An Introduction and Reference for MultiSpec Version 9.2011. West Lafayette, Indiana USA. Purdue University. – 2011. – 189 p.

14. Крауклис А.А. Натурная модель // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 28–49.

References

1. Sochava V.B. Vvedenie v uchenie o geosistemakh [Introduction to the theory of geosystems]. Novosibirsk, Nauka, 1978, 318.

2. Burenina T.A., Nazimova D.I. Geographical research of Siberian forests [Geograficheskie issledovaniia lesov Sibiri]. Geografiia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2007, no. 3, pp. 165–172.

3. Kornienko S.G. Assessment of transformations of natural landscapes of the Taz Peninsula according to space survey data [Otsenka transformatsii prirodnykh landshaftov Tazovskogo poluostrova po dannym kosmicheskoi s»emki]. Geografiia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2011, no. 1, pp. 67–73.

4. Ostroukhov A.V. Assessment of the dynamics of anthropogenic transformation of dark coniferous forests of the northern Sikhote-Alin on the basis of remote sensing [Otsenka dinamiki antropogennoi transformatsii temnokhvoinykh lesov severnogo Sikhote-Alinia na osnove distantsionnogo zondirovaniia]. Geografiia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2014, no. 1, pp. 155–160.

5. Khromykh V.V., Khromykh O.V. The use of GIS-technologies for studying the dynamics of valley landscapes (on the example of the Lower Tom valley) [Ispol'zovanie GIS-tekhnologii dlia izucheniia dinamiki dolinnykh landshaftov (na primere doliny Nizhnei Tomi)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University, 2007, no. 300, pp. 230–233.

6. Pliusnin V.M., Sorokovoi A.A. Geoinformatsionnyi analiz landshaftnoi struktury Baikal'skoi prirodnoi territorii [Geoinformation analysis of the landscape structure of the Baikal natural territory]. Novosibirsk, Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2013, 188.

7. Sochava V.B., Riashin V.A., Belov A.V. The main natural boundaries in the southern part of Eastern Siberia [Glavneishie prirodnye rubezhi v iuzhnoi chasti Vostochnoi Sibiri]. Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka – Reports of the Institute of Geography of Siberia and the Far East, 1963, no. 4, pp. 19–24.

8. Frolov A.A. Forecast mapping of changes in the landscape structure of the Baikal region under climate warming [Prognoznoe kartografirovanie izmenenii landshaftnoi struktury Predbaikal'ia pri poteplenii klimata]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2010, no. 9, pp. 27–32.

9. Frolov A.A., Cherkashin A.K. Evolutionary geoinformation modeling and mapping [Evoliutsionnoe geoinformatsionnoe modelirovanie i kartografirovanie]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2009, no. 6, pp. 40–45.

10. Frolov A.A. Mapping of landscapes of the Southern Baikal region based on Landsat satellite data [Kartografirovanie landshaftov Iuzhnogo Pribaikal'ia na osnove sputnikovykh dannykh Landsat]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2016, no. 10, pp. 22–29.

11. Frolov A.A. Geoinformational mapping of landscape variability (Exemplified by Southern Cisbaikalia) [Geoinformatsionnoe kartografirovanie izmenchivosti landshaftov (na primere Iuzhnogo Pribaikal'ia)]. Geografiia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2015, no. 1, pp. 156–166.

12. Tutubalina O.V. Komp'iuternyi praktikum po kursu Kosmicheskie metody issledovaniia pochv: uchebnoe posobie [Computer workshop on the course «Space Methods of Soil Research»: a textbook]. Moscow, Geograficheskii fakul'tet MGU, 2009, 112.

13. Landgrebe D., Biehl L. An Introduction and Reference for MultiSpec Version 9.2011. West Lafayette, Indiana USA, Purdue University, 2011, 189 p.

14. Krauklis A.A. Naturnaia model' [Full-scale model]. Prirodnye rezhimy i topogeosistemy Priangarskoi taigi [Natural regimes and topogeosystems of the Angara taiga].Novosibirsk, Nauka, 1975, pp. 28–49.

УДК 622.692

К ВОПРОСУ О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РЕЗЕРВУАРАХ

[1,2]Шайхутдинова М.Ш., [3]Дудников Ю.В., [4]Ямалетдинова К.Ш., [4]Гоц С.С.

[1]АО «Транснефть-Урал», Уфа;

[2]ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа;

[3]Управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Республике Башкортостан, Уфа;

[4]ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: margarita.shajkhutdinova@yandex.ru

Донные отложения, образующиеся в резервуарах, являются производной составной частью нефти, и поэтому их свойства главным образом зависят от состава исходной нефти. Электрофизические свойства АСПО (асфальтосмолопарафиновые отложения) и нефти существенно различаются в зависимости от температуры исследования. При длительной эксплуатации резервуаров с течением времени накапливаются донные отложения, сокращающие полезную ёмкость и затрудняющие их эксплуатацию. Донные отложения распределяются от основания резервуара и выше неравномерно, наибольшая толщина наблюдается в участках, удалённых от приёмо-раздаточных патрубков, что не позволяет точно замерять фактическое количество нефти в резервуаре. Теоретическим аспектом предотвращения образования и накопления донных отложений является обеспечение вихревого течения жидкости. Нами разработана конструкция резервуара, в основе которой используется рассматриваемый аспект. В работе также приводится сравнительный анализ некоторых существующих и применяющихся в настоящее время из большого количества методов и устройств, конструкция которых направлена на предотвращение образования и накопления донных отложений. Существующие средства предотвращения образования и накопления донных отложений, нашедшие наибольшее применение, основаны на механическом методе перемешивания. Предлагаемая конструкция резервуара для предотвращения образования и накопления донных отложений отличается от классической конструкции резервуара расположением приёмо-раздаточных патрубков. Входной и выходной патрубок устанавливаются на диаметрально-противоположной стороне стенки корпуса резервуара и за счёт постоянного движения потока жидкости внутри резервуара, поступления продукта с одной стороны и откачки с диаметрально противоположной, вследствие чего не происходит отстаивания продукта в зонах, отдалённых от приёмо-раздаточных патрубков.

Ключевые слова: донные отложения, предотвращение образования и накопления, конструкция резервуара

TO THE QUASTION ABOUT PREVENTION FORMING AND ACCUMULATION BOTTOM SEDIMENTS IN OIL STORAGES

[1,2]Shaykhutdinova M.Sh., [3]Dydnikov Yu.V., [4]Yamaletdinova K.Sh., [4]Gots S.S.

[1]Joint Stock Company «Transneft-Ural», Ufa;

[2]Ufa State Petroleum Technological University, Ufa;

[3]Federal Agency of Natural Resources Management, Ufa;

[4]Bashkir State University, Ufa, e-mail: margarita.shajkhutdinova@yandex.ru

Bottom sediments, which forming in oil storages are a derivative part of oil, and therefore their properties are mainly dependent on the original oil composition. The electrophysical properties of ASPO (asphaltic-resinous paraffin deposits) and oil vary significantly depending on the studying temperature. During long exploitation of reservoirs in time accumulates bottom sediments. They are reducing the formatted capacity of reservoirs and hampering their exploitation. The bottom sediments are distributed from bottom of reservoir and higher unevenly, a most thickness is observed in areas remote from the pipe headers, that does not allow exactly to measure the actual amount of oil in a reservoir. The theoretical aspect of prevention in forming and accumulation of bottom sediments is providing of vortical flow of liquid. We developed the construction of oil storage that based on studying theoretical aspect. In this work also carried out comparative analysis of some existing and using at the present time from big quantity methods and devices, the construction of which directed to prevention forming and accumulation asphalt-resin-paraffin deposits. Existing facilities for prevention forming and accumulation asphalt-resin-paraffin deposits, which find most application, are based on a mechanical method mixing. The offered reservoir construction for prevention forming and accumulation asphalt-resin-paraffin deposits differs from the classic reservoir construction with location of the pipe headers. Entrance and output branch pipe set on the diametrically opposite side of wall corps reservoir and due to constant motion stream liquid into a reservoir, product entrance from one side and pumping from diametrically–opposite side, because of whatever defending product in zones remote from pipe headers.

Keywords: bottom sediments, prevention forming and accumulation, oil storages construction

При длительной эксплуатации резервуаров с течением времени накапливаются донные отложения, сокращающие полезную ёмкость и затрудняющие их эксплуатацию. Донные отложения распределяются по поверхности дна резервуара неравномерно, наибольшая толщина наблюдается в участках, удалённых от приёмо-раздаточных патрубков, что не позволяет точно замерять фактическое количество нефти в резервуаре. Со временем осадок уплотняется и в отдельных зонах трудно поддаётся размыву, пре-

вращается в АСПО. Кроме того, при отстаивании нефти в течение длительного времени может наблюдаться появление воды на дне резервуара, что тоже послужит некорректному подсчету объема нефти в наземном нефтехранилище. Донные отложения, АСПО представляют собой многокомпонентную смесь, состоящую их различных углеводородов, парафинов, асфальтенов, смол, механических примесей и других компонентов [1]. По своей природе донные отложения, нефть занимают промежуточное положение между диэлектриками и полупроводниками [2–3].

Теоретическим аспектом предотвращения образования и накопления донных отложений является обеспечение квазивихревого течения жидкости. Основным уравнением, которое описывает течение жидкости, является уравнение неразрывности или непрерывности (1), которое представлено в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho \upsilon)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z}=0, \qquad (1)$$

где x, y, z – координаты движущейся частицы жидкости во времени t;
ω, υ, u – составляющие компоненты вектора скорости;
ρ – плотность жидкости.

При постоянном значении плотности $\rho = \text{const}$ уравнение неразрывности принимает следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial \upsilon}{\partial y}+\frac{\partial \rho}{\partial z}=0. \qquad (2)$$

Также при математическом описании вихревого движения жидкости используются теоремы Гельмгольца [4]. Вихрем скорости называется вектор, имеющий составляющие в каждой точке [5]:

$$\xi=\frac{1}{2}\times\left(\frac{\partial \omega}{\partial y}-\frac{\partial \upsilon}{\partial z}\right),\ \ \eta=\frac{1}{2}\times\left(\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial \omega}{\partial x}\right),$$

$$\zeta=\frac{1}{2}\times\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}\right), \qquad (3)$$

где ξ, η, ζ – компоненты по осям координат x, y, z вращательной или угловой скорости частицы жидкости при вращении вокруг своего центра тяжести.

Вихревой поверхностью называют поверхность, которую образуют вихревые линии, т.е. касательная точка которой проходит через вектор вихря и имеет вид

$$\xi\times\frac{df}{dx}+\eta\times\frac{df}{dy}+\zeta\times\frac{df}{dz}=0. \qquad (4)$$

При описании вихревого движения жидкости выделяют «вынужденные» и «свободные» вихри. Различают вихри Рэнкина, которые занимают промежуточное положение между двумя вышеназванными вихрями. Распределение скорости вихря Рэнкина имеет вид [6]:

$$\upsilon=\frac{C}{r}\times\left[1-\exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right)\right], \qquad (5)$$

где r – расстояние до оси вращения, м;
C и r_0 – константы, которые определяют интенсивность вихря и радиальную координату, условно разделяющую свободный и вынужденный вихри.

В реальных условиях течение жидкости, которое похоже на вихри Ренкина, можно увидеть при сливе воды из ванной. Многие экспериментальные исследования были посвящены описанию вихревого течения жидкости, которое образовывалось благодаря вращению диска, каких-либо решёток, предметов, помещённых внутри сосуда [7]. Похожие исследования проведены [8] для жидкости, помещённой в усечённый конус, где также прослеживается образование вихрей в зависимости от значения числа Рейнольдса и угла сечения конуса. Для предотвращения образования донных отложений существует гипотеза искусственного формирования вихревого течения в трубках за счет применения их специальной конструкции, предложенных Шаубергером [9]. С целью повышения энергоэффективности технологических процессов трубопроводного транспорта В.В. Жолобов и другие в работе [10] описывают применение замкнутых вихревых образований при размыве донных отложений в вертикальных резервуарах, очистке стенок трубопровода.

С целью предотвращения образования и накопления донных отложений в настоящее время используется большое количество методов и устройств. Например, физический метод основан на воздействии на нефть, нефтепродукты механического, ультразвукового колебания, электрического, магнитного и электромагнитного полей; в основе механического колебания или воздействия лежит процесс перемешивания сред.

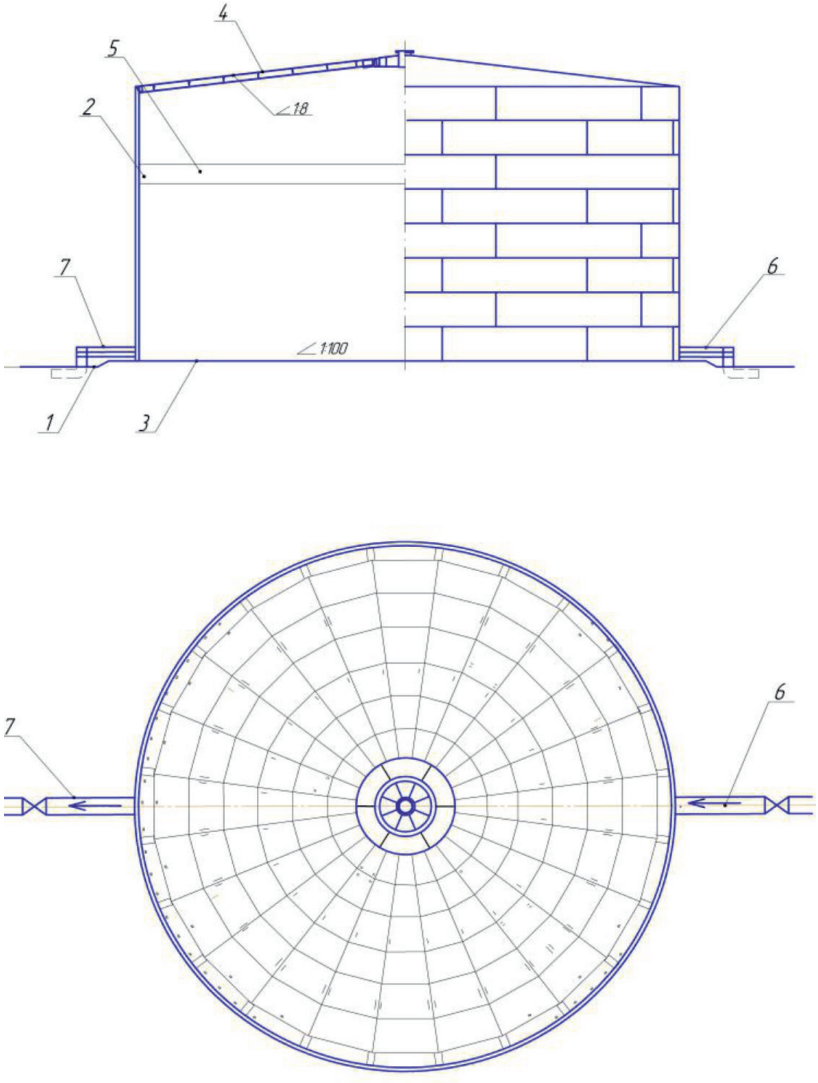
Процесс перемешивания жидких сред широко распространён в ряде производств. Под перемешиванием понимают процесс многократного относительного перемешивания макроскопических элементов объёма жидкой среды относительно друг друга под действием импульса, передаваемого среде механической мешалкой, струёй газа или

жидкости. Различают механический, пневматический и циркуляционный методы перемешивания.

Механический метод осуществляется путём механического воздействия рабочего органа (мешалки) на рабочую среду. Для ёмкостей номинальным объёмом от 0,01 до 100 м^3 различают лопастные, зубчатые, винтовые, турбинные, шнековые, якорные и т.д. Выбор той или иной мешалки обуславливается физико-химическими свойствами сред, значением вязкости, видом протекающей химической реакции и необходимой частотой вращения.

Пневматический метод основан на пропускании струи газа через слой жидкости и осуществляется подачей воздуха в нижнюю часть сосуда через трубу открытым концом, при этом конец трубы изгибают во избежание ударов струи о днище. Недостатками данного метода являются большой расход энергии на подачу газа (воздуха), воздействие на жидкую среду и при интенсивном перемешивании происходит накопление статического электричества, что может привести к воспламенению среды или взрыву.

Циркуляционный метод осуществляется за счёт применения насосов, которые забирают жидкость с нижней части ёмкости и сильной струёй возвращают обратно, в месте забора, либо в удалённую часть. Применяют центробежные насосы, инжекторные и диафрагмовые смесители. Недостатком является оседание вещества на дне ёмкости из-за наличия расстояния между насосом и дном, также при поломке насосов возможен простой оборудования.



Общий вид резервуара: 1 – фундамент; 2 – стенка; 3 – днище; 4 – крыша; 5 – понтон; 6 – входной патрубок; 7 – выходной патрубок

Существующие средства предотвращения образования и накопления донных отложений, нашедшие наибольшее применение, основаны на механическом методе перемешивания.

Предлагаемая конструкция резервуара (рисунок) для предотвращения образования и накопления донных отложений отличается от классической конструкции резервуара расположением приёмо-раздаточных патрубков. Входной и выходной патрубки устанавливаются на диаметрально противоположной стороне стенки корпуса резервуара. Данное расположение патрубков позволяет предотвратить образование и накопление донных отложений за счёт постоянного движения потока жидкости внутри резервуара, поступления продукта с одной стороны и откачки с диаметрально противоположной, вследствие чего не происходит отстаивания продукта в зонах, отдалённых от приёмо-раздаточных патрубков.

Заключение

В данной работе предлагается конструкция резервуара, в основе которой используются основы вихревого течения жидкости. Отличительной особенностью от классической конструкции резервуара является расположение приёмо-раздаточных патрубков, за счет которого и происходит предотвращение образования и накопления донных отложений в резервуаре.

Список литературы

1. К вопросу об исследовании физико-химического состава асфальтосмолопарафиновых отложений / М.Ш. Шайхутдинова [и др.] // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: сб. науч. тр. – Уфа: ООО «Монография», 2016. – Вып. 5 (10). – С. 363 решения: сб. науч. тр. – Уфа: ООО «Монография», 2016. – Вып. 5 (10). – 366.

2. Шайхутдинова М.Ш. Энергетические характеристики процессов электропроводности асфальтосмолопарафиновых отложений / М.Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: материалы Межд. молодежной науч. конф. (Уфа, 19–24 дек. 2016г.). – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. – С. 79–80.

3. Шайхутдинова М.Ш. Экспериментальное исследование на низких частотах частотной и температурной зависимостей электропроводности асфальтосмолопарафиновых отложений в резервуарах / М.Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56, № 1. – С. 141–144. URL: http://mi.mathnet.ru/rus/tvt/v56/i1/p141 (дата обращения: 18.02.2018). DOI: 10.7868/S0040364418010167.

4. Гельмгольц Г. Основы вихревой теории / Г. Гельмгольц. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 82 с.

5. Козлов В.В. Общая теория вихрей / В.В. Козлов. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2013. – 324 с.

6. Коркодинов Я.А. Применение эффекта Ранка – Хильша / Я.А. Коркодинов, О.Г. Хурматуллин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 42–54. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-effekta-ranka-hilsha (дата обращения: 18.02.2018).

7. Y. Wu. Effect of geometrical contraction on vortex breakdown of swirling turbulent flow in a model combustor / Y. Wu, C Carlsson, R. Szasz, L. Peng, L. Fuchs, X.S. Bai // Fuel. – 2016. – V. 170. – P. 210–225. URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.12.035 (дата обращения: 18.02.2018). DOI: 10.1016/j.fuel.2015.12.035.

8. Escudier M.P. Flow produced in a conical container by a rotating endwall / M.P. Escudier, J. O'Leary, R.J. Poole // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2007. – T. 28. – P. 1418–1428. URL: https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2007.04.018 (дата обращения: 18.02.2018). DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2007.04.018.

9. Шаубергер В. Энергия воды / В. Шаубергер. – М.: Яуза, 2007. – 320 с.

10. Ширяев А.М. О применении замкнутых вихревых образований для повышения энергоэффективности технологических процессов трубопроводного транспорта / А.М. Ширяев, В.В. Жолобов, С.А. Савинов // Наука и технологии транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 1(17). – С. 26–35.

References

1. Shaikhutdinova M.Sh., Iamaletdinova K.Sh., Gots S.S., Khafizov A.R., Iangurazova Z.A., Bondaruk A.M. K voprosu ob issledovanii fiziko-khimicheskogo sostava asfal'tosmoloparafinovykh otlozhenii [To the quastion about physicochemical composition of asphalt-resin-paraffin deposits]. Neftegazovye tekhnologii i novye materialy. Problemy i resheniia. [Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions.]. Ufa, OOO Monografiia, 2016, pp. 363–366.

2. Shaikhutdinova M.Sh., Gots S.S., Iamaletdinova K.Sh. Energeticheskie kharakteristiki protsessov elektroprovodnosti asfal'tosmoloparafinovykh otlozhenii [Energy characteristics of processes of electrical conductivity of asphaltic-resinous paraffin deposits]. Naukoemkie tekhnologii v reshenii problem neftegazovogo kompleksa (g. Ufa, 19–24 dekabria 2016 g.) [Proceedings of High technology in solving oil and gas complex problems (ufa, December 19–24, 2016)], ufa, RITs BashGU, 2016, pp. 79–80.

3. Shaikhutdinova M.Sh., Gots S.S., Iamaletdinova K.Sh. Low-Frequency Experimental Investigation of Frequency and Temperature Dependences of the Electrical Conductivity of Asphalt-Resin-Paraffin Deposits in Reservoirs [Eksperimental'noe issledovanie na nizkikh chastotakh chastotnoi i temperaturnoi zavisimostei elektroprovodnosti asfal'tosmoloparafinovykh otlozhenii v rezervuarakh]. Teplofizika vysokikh temperatur – High Temperature, 2018, vol. 56, no. 1. available at: http://mi.mathnet.ru/rus/tvt/v56/i1/p141 (accessed 18.02.2018). DOI: 10.7868/S0040364418010167.

4. Gel'mgol'ts G. Osnovy vikhrevoi teorii [Fundamentals of vortex theory]. Moscow-Izevsk, Institut komp'iuternykh issledovanii, 2002, 82.

5. Kozlov V.V. Obshchaia teoriia vikhrei [Common vortex theory]. Izevsk, Institut komp'iuternykh tekhnologii, 2013, 324.

6. Korkodinov Ia.A. The application of the Rank – Hilsh effect [Primenenie effekta Ranka – Khil'sha]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie – Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanical engineering, materials science, 2012, vol. 14, no. 4. available at: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-effekta-ranka-hilsha. (accessed 18.02.2018).

7. Wu Y., Carlsson C., Szasz R., Peng L., Fuchs L., Bai X.S. Effect of geometrical contraction on vortex breakdown of swirling turbulent flow in a model combustor . Fuel, 2016, no. 170. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.12.035 (accessed 18.02.2018). DOI: 10.1016/j.fuel.2015.12.035.

8. Escudier M.P., OLeary J., Poole R.J. Flow produced in a conical container by a rotating endwall. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2007, vol. 28, no. 6. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2007.04.018 (accessed 18.02.2018). DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2007.04.018.

9. Shauberger V. Energiia vody [Energy of water]. Moscow, Iauza, 2007, 320.

10. Shiriaev A.M., Zholobov V.V., Savinov S.A. About application of the closed vortex formations for increase of energy efficiency of technological processes of pipeline transport [O primenenii zamknutykh vikhrevykh obrazovanii dlia povysheniia energoeffektivnosti tekhnologicheskikh protsessov truboprovodnogo transporta]. Nauka i tekhnologii transporta nefti i nefteproduktov – Pipeline Science and Technology, 2015, no. 1, pp. 26–35.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.064.2:620.9(470)

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ И ПРОБЛЕМАХ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Родионова И.А., Шувалова О.В.

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: iarodionova@mail.ru, dvigh@mail.ru

В настоящее время широко обсуждается вопрос выделения государственных субсидий на развитие альтернативной энергетики в России. Задача внедрения альтернативных источников энергии поставлена в международных соглашениях, ратифицированных нашей страной. Тем не менее основная цель, поставленная в проекте Энергетической стратегии России до 2035 г., – это повышение энергоэффективности экономики. Изучен опыт энергетической политики, проводимой правительствами государств – лидеров в сфере альтернативной энергетики – Китая, США и Германии. Без мер государственной поддержки не удалось бы повысить роль альтернативных источников энергии в структуре топливно-энергетического баланса этих стран. На Западе реализация энергетической политики осуществляется в одних условиях, в России – в других. Результаты проведения такой политики существенным образом отличаются. Это показал опыт либерализации электроэнергетических рынков в России и Германии. Либерализация электроэнергетической отрасли в России привела к перераспределению капитала в пользу крупных финансово-промышленных группировок. В Германии процесс либерализации шёл вместе с развитием альтернативной энергетики, что способствовало появлению новых поставщиков электроэнергии. Крупные производители электроэнергии тоже включились в программы развития альтернативной энергетики, в том числе в программы создания крупных офшорных ветроэнергопарков. Коренным отличием ситуации в России от ситуации с энергоснабжением во многих странах мира (особенно европейских) является то, что наша страна по-прежнему обладает крупными запасами энергоресурсов (нефти, природного газа, угля, древесины). Важно трезво оценивать необходимость применения зарубежного опыта в России. Россия обладает уникальными природно-климатическими условиями, спецификой расселения населения и проблемами социально-экономического развития регионов страны. Программы развития альтернативной энергетики могут быть эффективно реализованы в отдалённых российских регионах. Главной целью энергетической политики России должно стать решение насущных задач модернизации, развития и поддержки всего российского ТЭК для бесперебойного снабжения российской экономики энергоресурсами.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, возобновляемая энергетика, либерализация электроэнергетики, энергетическая политика

THE EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY SUPPORT POLICIES IN RUSSIA

Rodionova I.A., Shuvalova O.V.

RUDN University, Moscow, e-mail: iarodionova@mail.ru, dvigh@mail.ru

The support of alternative energy use by the government of Russian Federation is widely discussed. Our country ratified international issues concerning the requirement to implement the state policy in the field of alternative energy use. However, the main goal of the Energy Strategy of Russia until 2035 is to increase the energy efficiency of the economy. This study describes the experience of the energy policy pursued by the governments of the leading states in the field of alternative energy use – China, the United States and Germany. It would be impossible to increase the role of alternative energy sources in the energy balance of these countries without government support measures. In the West, the implementation of the energy policy is carried out under one conditions, in Russia – in others. The results of such a policy differ significantly. This was shown by the experience of liberalization of the electricity markets in Russia and Germany. The liberalization of the electric power industry in Russia led to the redistribution of capital in favor of large financial and industrial groups. In Germany, the process of liberalization went along with the development of alternative energy, which contributed to the emergence of new electricity suppliers. Large power producers also joined the development programs of alternative energy, including the programs for creating large offshore wind farms. A fundamental difference between the situation in Russia and the situation with energy supply in many countries of the world (especially European countries) is the fact that Russia is energy rich resource country. Russia has oil, natural gas, coal, timber. The need to apply the experience of foreign countries in Russia is questionable. Russia has unique environment and economic conditions, population resettlement and social and economic problems in regions. It will be effectively to implement the policy of alternative energy use in the far East and the far North of Russia. The main goal of state energy policy in Russia should be to solve the urgent problems in energy sector, which include the modernization of energy industry for the uninterrupted energy supply of the Russian economy.

Keywords: alternative energy, renewable energy, liberalization of the electric power industry, energy policy

В условиях глобализации общественность разных стран всерьёз задумывается об исчерпаемости энергоресурсов, о необходимости бережного отношения к энергии и природе. Вне всякого сомнения, необходимо думать о будущем, экспериментировать, искать и использовать новые энергоносители и возможности их применения. Появляется всё больше возможностей для изучения и использования успешного опы-

та по внедрению альтернативных источников энергии (АИЭ), новейших технологий для получения электроэнергии.

Одним из ключевых факторов влияния является поддержка обществом этих процессов. Ведь именно на них ложится основное бремя налоговой нагрузки для финансирования программ по внедрению АИЭ. Для оказания помощи в сокращении энерго- и материалоемкости и соответствующего воздействия на окружающую среду, ЮНЕП и ЮНИДО начали реализацию Программы по обеспечению ресурсоэффективного и более чистого производства. С 2016 г. официально вступили в силу 17 целей в области устойчивого развития, изложенные в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», которая была принята мировыми лидерами в сентябре 2015 г. на историческом саммите ООН [1]. Тема использования альтернативных источников энергии стала неотъемлемой частью отчетов, выпускаемых ведущими мировыми энергетическими организациями – Международным энергетическим агентством (International Energy Agency), Международным агентством по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency), сетью организаций по политике в области возобновляемой энергетики (Renewable Energy Policy Network for the 21 century) и др.

Иными словами, в условиях глобализации Россия должна выполнять определённые международные обязательства, так как задача внедрения альтернативных источников энергии поставлена в международных соглашениях, ратифицированных в том числе и нашей страной. Но следует весьма осмотрительно относиться к самым, на первый взгляд, привлекательным идеям и новациям, предлагаемым нам из-за рубежа.

Цель настоящего исследования – оценить целесообразность проведения широкомасштабной государственной политики в области развития альтернативных источников энергии с учётом международного опыта и российской специфики.

Материалы и методы исследования

Роль АИЭ в энергетической политике уже много лет широко обсуждается и в специализированной литературе, и в средствах массовой информации. Разброс мнений и оценок о необходимости использования альтернативных источников энергии диаметрально противоположный.

Характеризуя альтернативную энергетику, учёные «делают упор» на экономическую составляющую – на расчеты эффективности [2–5]. Ведь до сих пор многие энергетические производства, основанные на использовании альтернативных источников энергии, нерентабельны и дотируются государством. Так, например, Германия тратит десятки миллиардов евро на поддержку отрасли [6–8]. Многим другим европейским странам такая политика «не по карману» [9]. Поскольку использование альтернативных источников энергии невыгодно (по сравнению с производством энергии из ископаемых видов топлива), программы развития альтернативных источников энергии в странах, богатых энергоресурсами, например в Австралии и ЮАР, идут трудно [10, 11].

Тем не менее, несмотря на сложности, связанные с развитием производств, основанных на использовании альтернативных источников энергии, интерес к ним со стороны всех стран мира растет. Это объясняется тем, что данные производства имеют мультипликационный эффект, стимулируют развитие высокотехнологичных производств, в том числе солнечная энергетика [12–14]. К тому же развитие альтернативной энергетики способствует подъему экономики в сельской местности. А многим странам, бедных собственными энергоносителями, эта программа позволяет сократить зависимость от импорта (как собственно в Германии, Японии и др).

Любая страна в мире стремится к бесперебойному энергоснабжению своих жителей и своей экономики. В этом – цели энергетической политики государств [15–17]. Однако коренным отличием ситуации в России от ситуации с энергоснабжением во многих странах мира (особенно европейских) является то, что наша страна по-прежнему обладает крупными запасами энергоресурсов (нефти, природного газа, угля, древесины). Этот фактор, на наш взгляд, оказывает решающее влияние в деле обеспечения экономики энергоресурсами. Данные, приводимые в таблице, иллюстрируют уровень запасов первичных энергоресурсов в США, ЕС, России и Китае (таблица).

Но необходимо также учитывать показатели обеспеченности энергоресурсами в расчёте на душу населения. Важно анализировать и потребности экономики, и особенности структуры производства электроэнергии в странах мира. Так, например, производство электроэнергии в Китае почти за 20 лет (с 1999 по 2017 гг.) выросло

в 5 раз, и на эту страну (при 18% мирового населения) приходится ныне 25% мирового производства электроэнергии. Это в два раза больше, чем суммарное производство всех стран ЕС в 2016 г. Напомним, что за тот же период практически не выросло производство электроэнергии в США и в ЕС (рост в 1,1 раза), да и в России оно увеличилось лишь в 1,4 раза. Но важна ещё и структура производства и потребления электроэнергии.

Доля стран и групп стран в мировых запасах энергоресурсов, 2017 г. (%)

	Запасы нефти	Запасы природного газа	Запасы угля	Потребление первичной энергии
США	2,8	4,7	22,1	17,1
ЕС	0,3	0,7	6,6	12,4
Россия	6,4	17,3	14,1	5,1
Китай	1,5	2,9	21,4	23,2

Примечание. Рассчитано по: [18].

В настоящее время, как в России, так и в США, и в Китае наиболее значительная доля электроэнергии производится на тепловых станциях (63, 65 и 75% соответственно) [19]. При этом в России и США значительная (а в России – большая) часть тепловых станций работает на природном газе, а в Китае – на угле. По объёмам добычи и потребления угля Китай занимает первое место в мире. К тому же и по размерам своего экономического гидропотенциала Китай занимает первое место (далее следуют Россия, Бразилия, Канада и Индия). Но при этом и по развитию альтернативной энергетики – Китай достиг очень значительных результатов: среди стран мира – 1-е место (опередив США) [20].

Не стоит забывать и о развитии атомной энергетики. По мнению экспертов, при росте энергопотребления в условиях неоиндустриализации необходим прорыв в энергетике, который могут обеспечить только атомные технологии (а не локальные решения в виде солнечных панелей или ветряков) [21]. Без атомной энергии не решить проблем повышения экономической эффективности и увеличения доли безуглеродных электростанций.

Роль программ развития возобновляемых источников энергии в новейших процессах в электроэнергетической отрасли

Установленная мощность электростанций альтернативных источников энергии в мире составляет 912 ГВт (2016 г.). Наиболее успешными странами в этой области являются Китай (мощность производства электроэнергии с использованием альтернативных источников энергии – 258 ГВт), США (145 ГВт) и Германия (98 ГВт). Современная Россия только начинает развивать альтернативную энергетику [22].

Мы согласны с мнением Б.А. Суденко в том плане, что при решении вопросов о возобновляемых источниках энергии в первую очередь надо понять, какие именно и где их можно использовать в нашей стране, базируясь на практическом опыте и здравом смысле [23]. И не стоит делать то, что считается ныне в мире просто модным, или политически выгодным или оправданным.

Характеризуя альтернативную энергетику, большинство ученых за рубежом делает упор на экономическую составляющую – на расчеты эффективности. Вот и нам необходимо сначала все рассчитать. Например, как в Германии, так и в России главным образом государство влияет на современные процессы в электроэнергетической отрасли. При этом без мер государственной поддержки не удалось бы повысить роль альтернативных источников энергии в структуре топливно-энергетического баланса Германии, реализовать масштабные инфраструктурные проекты, внедрить достижения высоких технологий в электроэнергетическую отрасль.

Следует напомнить, что в Германии и России не столь давно была проведена либерализация электроэнергетической отрасли. Исходной целью либерализации электроэнергетического рынка в Германии стало снижение цен на электроэнергию. Российское правительство при проведении либерализации ставило задачу увеличения инвестиционной привлекательности отрасли для обновления парка электростанций.

В результате либерализации компании начали объединяться, и сначала в обеих странах стала формироваться ещё большая монополия крупнейших электроэнергетиче-

ских компаний в отрасли. Но, как показало время, в дальнейшем территориально-организационная структура электроэнергетики Германии изменилась и позиции монополий пошатнулись. В последние годы в этой стране благодаря государственной поддержке появились независимые производители экологически чистой электроэнергии, вырабатываемой на базе альтернативных источников энергии. Внедрение альтернативных источников энергии способствовало решению стратегически важной государственной задачи – снижению зависимости страны от импорта энергоресурсов.

В Германии в условиях государственной поддержки внедрения альтернативных источников энергии, строительства новых линий электропередачи, развития технологий повышения энергоэффективности и аккумулирования электроэнергии, развития сектора финансовых услуги в электроэнергетике и внедрения достижений информационно-коммуникационных технологий в электроэнергетическую отрасль крупнейшие электроэнергетические компании начали менять свою специализацию и заниматься обозначенными выше направлениями. Одним из важных направлений деятельности крупных электроэнергетических компаний стало строительство крупных ветроэнергопарков, парков солнечных батарей. Германия стремится к увеличению взаимодействия с другими странами в рамках Единой энергосистемы Европы, в частности мы наблюдаем процесс создания единой общеевропейской биржи. Германия находится в центре Европы и заинтересована стать электроэнергетическим «хабом» – распределителем электроэнергетических потоков внутри Европейского союза [24].

Исходные принципы организации энергосистемы в России и Германии до начала либерализации существенным образом отличались. В ходе электрификации Германии энергоснабжающие предприятия расширяли зоны своего влияния. Для того, чтобы прокладывать линии электропередачи по территориям муниципальных образований, с ними заключались концессионные договоры. Постепенно зоны снабжения смыкались, и между различными компаниями заключались демаркационные договоры о разграничении сфер влияния. В итоге сформировалась естественная монополия энергоснабжающих предприятий по всей стране. С 1935 по 1998 г. в Германии действовал Энергохозяйственный закон, который закреплял естественную монополию компаний на поставки электроэнергии в зоне их снабжения. Прокладывать по одной и той же территории линии электропередачи, дублирующие друг друга, невыгодно. Поэтому кто владел линиями электропередачи, тот и являлся монополистом на поставку электроэнергии в регионе. В 1998 г. Германия включилась в либерализацию электроэнергетического рынка, предполагающую устранение естественной монополии компаний в зонах своего снабжения путем внедрения конкурентных отношений. Новый Энергохозяйственный закон обязывал энергоснабжающие компании выделять из своей структуры бизнес, связанный с передачей электроэнергии.

Энергосистема России в отличие от стран Запада представляла собой единый неразрывный технологический, производственный, институциональный комплекс. Ведь он создавался по единому энергохозяйственному плану – государственному плану электрификации России «ГОЭЛРО», разработанному в 1920 г. В 1990-е гг. энергосистема России была искусственно раздроблена. Были образованы независимые друг от друга территориальные и оптовые генерирующие компании, сетевые предприятия, и сбытовые организации. «Искусственность» дробления единой энергосистемы России (в результате либерализации) подтверждается тем, что компании объединяют свои активы [25].

Несмотря на проведенную либерализацию отрасли в России, до сих пор основные электроэнергетические мощности сосредоточены в руках государства. Итогом либерализации в России стало разделение единой энергосистемы, созданной по государственному плану электрификации России, на мелкие компании и их приватизация. В настоящее время происходит консолидация активов электроэнергетических компаний. Наибольших успехов в этом добились государственные компании «Газпром» и «Интер-РАО» (в собственности Роснефти), а также частная компания «Т-Плюс» (входит в корпорацию «Ренова» Виктора Вексельберга). В отрасли работают также государственные корпорации «РусГидро» и «Росэнергоатом», которые не были приватизированы в ходе либерализации. Остальными электроэнергетическими генерирующими мощностями завладели крупные промышленные корпорации «Онэксим», «Лукойл», «Норильский никель», «Русский алюминий», «Сибирская угольная энергетическая компания», «Синтез» и др.

По-прежнему все линии передачи электроэнергии на большие расстояния, входящие в единую энергосистему России, находятся в собственности государства. Государство несёт ответственность за бесперебойное снабжение потребителя электроэнергией. В России бремя оплаты основных расходов на выработку электроэнергии несут промышленные предприятия. Цена на электроэнергию в промышленном секторе выше, чем цена на электроэнергию для домохозяйств, которая до сих пор субсидируется государством.

Программы использования альтернативных источников энергии в России развивались в последние годы довольно вяло. Основная цель, поставленная в проекте Энергетической стратегии России до 2035 года, – повышение энергоэффективности экономики [26]. Но сейчас им стало уделяться много больше внимания, при этом мнения экспертов расходятся и нет однозначной оценки дальнейшего развития ситуации в России [27, 28].

Дискуссия о проблемах развития альтернативной энергетики в России

Иными словами, возникают многие вопросы о возможности и необходимости развития возобновляемой энергетики в нашей стране, о том, какие источники энергии целесообразнее использовать и в каких именно регионах России. Однако речь уж точно не идёт о повсеместном их применении, по нашему глубокому убеждению.

Хотя в СМИ уже появились сообщения о том, что структуры «Росатома» планируют инвестировать более 80 млрд руб. в строительство к 2020 г. ветроэлектростанций (ВЭС) при отсутствии на сегодняшний день отечественного производства генераторов и лопастей для них. Идут разговоры о госпрограмме с участием «Роснано» с выделением немалых государственных средств на её развитие. При этом ссылаются на успешный опыт и передовые позиции в области АИЭ таких стран, как Китай, США, Великобритания и т.д. Никакие международные соглашения не обязывают Россию, очертя голову и без очевидной экономической выгоды или хотя бы целесообразности, бросаться в развитие возобновляемой энергетики (ветровой, солнечной и др.) [23].

Действительно, Россия – страна с суровыми природно-климатическими условиями на большей части ее территории. И не стоит ссылаться на такие факторы, благоприятствующие, например, развитию солнечной энергетики в России, как высокий научно-технологический потенциал, которым обладает Россия, и достаточный уровень солнечного излучения на большей части территории. Мы не такая солнечная страна, как Испания. И даже не США. Россия – огромная страна, со своими особенностями размещения населения, где 2/3 территории страны приходится на зону вечной мерзлоты (с суровыми климатическими условиями). И не стоит делать ставку на весьма маломощную (и дорогостоящую) возобновляемую энергетику. Стоит задуматься о внедрении экологически более чистых технологий сжигания каменного угля, о переходе к использованию альтернативных видов топлива, и в первую очередь древесины, по «запасам» отходов которой мы занимаем лидирующее положение в мире.

Ученые и практики задаются также вопросом о том, останется ли в результате жизненное пространство для самого человека (с учетом роста численности населения) в связи с размещением на планете соответствующего по мощности количества ВИЭ всех видов (солнечные, ветровые, приливные электростанции и т.д.) с учетом прогрессирующего потребления [23]. А ещё остаются вопросы по поводу возможного изменения климата, в результате недополученного земной поверхностью солнечного света, отраженного и поглощённого солнечными панелями, по поводу влияния ветровых двигателей на здоровье населения и т.д.

Не секрет, что из-за дороговизны ВИЭ их бурное развитие в ведущих странах мира в последнее десятилетие стало возможным лишь благодаря государственной финансовой поддержке. В настоящее время в мировой практике существует несколько механизмов поддержки проектов электрогенерации на основе ВИЭ. Наиболее популярны из них два: зелёные тарифы и зелёные сертификаты [27]. В России до 2024 г. действует адресная программа по возобновляемым источникам энергии. Но вопросов очень и очень много. Так, рассуждая о будущем возобновляемой энергетики в России, крупные промышленные потребители («Сообщество потребителей энергии») выступают против любого продления механизмов поддержки зеленой энергетики после 2024 г. и настаивают на их сворачивании. Основная причина недовольства – рост платежей: общий платеж за строительство 6 ГВт возрастет до рекордных 2,3–2,5 трлн руб. Основной аргумент потребителей –

поддержка ВИЭ обходится слишком дорого. В «Сообществе потребителей» считают, что нужно переходить к стимулированию спроса на возобновляемые источники на розничном рынке. При этом многие эксперты и практики ныне считают, что ВИЭ в России вряд ли станут конкурентоспособны по сравнению с традиционной генерацией даже в 2020-е гг. из-за дешевизны топлива, из-за девальвации и кратного роста инвестиций в ВИЭ [28].

Дискуссия продолжается. При этом просто необходимо учитывать «Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года» (ИНЭИ РАН и ФГБУ «РЭА») с прогнозом развития топливно-энергетического комплекса России, учетом демографических факторов, динамики технологического развития, энергетической и экологической политики различных странах мира. Необходим анализ ситуации на мировых энергетических рынках для обеспечения национального стратегического планирования и инвестиционных решений [29].

Заключение

По мнению экспертов и многих авторитетных организаций, в последующие годы в структуре потребления первичной энергии в России по-прежнему будут преобладать ископаемые виды топлива. Возобновляемая энергетика, и по нашему глубокому убеждению, не станет «альтернативой» для традиционных видов топлива в прямом смысле этого слова, в чем убеждены многие ученые и практики. Но проекты возобновляемой энергетики (малая гидроэнергетика, солнечная, ветровая энергетика, биотопливо), вне всякого сомнения, могут быть реализованы в отдельных российских регионах (а таких на огромной территории страны очень много). Поэтому необходимо развивать новые технологии, в том числе в энергетическом секторе.

Но в настоящее время важнее для страны решение насущных задач модернизации, развития и поддержки всего российского ТЭК. Безусловно, необходимо учитывать опыт других государств. Но следует учитывать специфику экономических и, главное, природно-климатических условий России. Целесообразно анализировать опыт энергетической политики, проводимой правительствами государств – лидеров в сфере альтернативной энергетики. Однако важно трезво оценивать необходимость применения этого опыта для России с её уникальными природно-климатическими условиями, спецификой расселения населения, особенностями и проблемами социально-экономического развития регионов страны.

Список литературы

1. Преобразование мира: «Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»: Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года. [Электронный ресурс]. – URL: http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf (дата обращения: 09.02.2018).

2. Anglani N., Muliere G. The Impact of Renewable Energy and Energy Efficient Technologies, what to choose in case of limited supportive actions: a case study. IJEEE (International Journal of Energy and Environmental Engineering). – 2011. – Vol. 2, Issue 4, 17 Dec 2011 [DoA: 09.02.2018]. Available from: http://journals.azad.ac.ir/ijeee/public/Paper.aspx?id=922.

3. Мастепанов А.М. Об энергетической ситуации в условиях новых вызовов и геополитических реалий // Академия энергетики. Издательский Дом «Президент-Нева» (Санкт-Петербург). – 2015. – № 3 (65). – С. 4–10. ISSN: 1813-7881.

4. Growitsch Chr. Die deutsche Energiepolitik aus ökonomischer Perspektive. Energiewende – Quo vadis? – 2016. – P. 89–92. DOI: 10.1007/978-3-658-11799-3_8, [DoA: 09.02.2018]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/301256708_Die_deutsche_Energiepolitik_aus_okonomischer_Perspektive?ev=prf_high.

5. Cherniaev M., Rodionova I. Analysis of sustainable development factors in fuel and energy industry and conditions for achievement energy efficiency and energy security. International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – Vol 7 (5). – P. 16–27 [DoA: 09.02.2018]. Available from: https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5480.

6. Growitsch Chr., Meier H. Regionale Verteilungswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Perspektiven der Wirtschaftspolitik. – 2015. – Vol. 16, Issue 1. DOI: 10.1515/pwp-2015-0007 [DoA: 09.02.2018]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/276786113_Regionale_Verteilungswirkungen_des_Erneuerbare-Energien-Gesetzes.

7. Horschig T., Thran D. Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation. Energy, Sustainability and Society. – 2017: 7: 5. DOI: 10.1186/s13705-017-0107-2 [DoA: 09.02.2018]. Available from: http://link.springer.com/article/10.1186/s13705-017-0107-2.

8. Сумин А.М. Энергетическая политика современной Германии: тенденции, проблемы, перспективы. – М.: Газойл пресс, 2017. – 270 с.

9. Chodkowska-Miszczuk J. at al. The role of energy policy in agricultural biogas energy production in Visegrad countries. Bulletin of Geography. Socio-economic Series. – 2017. – № 35. – P. 19–34. [DoA: 09.02.2018] Available from: http://www.bulletinofgeography.umk.pl/35_2017/02_Chodkowska.pdf.

10. Liam W., Brown C., Foster J., Wagner L. Australian renewable energy policy: barriers and challenges. Renewable Energy. – 2013. – № 60. – P. 711–721. DOI:10.1016/j.renene.2013.06.024. [DoA: 09.02.2018]. Available from: https://www.academia.edu/22592143/Australian_renewable_energy_policy_Barriers_and_challenges.

11. Lombard A. at al. The spatial distribution of renewable energy infrastructure in three particular provinces of South Africa. Bulletin of Geography. Socio-economic Series. – 2015. – № 30. – P. 19–36. DOI: 10.1515/bog-2017-0002. [DoA: 09.02.2018]. Available from: http://apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/BGSS/article/view/bog-2015-0036/7240.

12. Yun Li, Dan Nie, Xingang Zhao, Yanbin Li. Market structure and performance: An empirical study of the Chinese solar cell industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 70. – P. 78–82. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.064 [DoA: 09.02.2018]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308103.

13. Акимова В.В. Типология стран по уровню развития солнечной энергетики // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2015. – № 4. – С. 89–95.

14. Akimova V.V., Tikhotskaya I.S. A way to a sustainable future: the solar industry in Japan // Geography, Environment, Sustainability (GES). – 2015. – Vol. 8, № 03. – P. 92–100. DOI: http://dx.doi.org/10.24057/2071-9388-2015-8-3-92-100.

15. Родионова И.А., Шувалова О.В. Некоторые структурные особенности развития мировой энергетики, основанной на альтернативных возобновляемых источниках энергии // Вестник Финансовой академии. – 2011. – № 5 (65). – С. 74–82.

16. Липина С.А., Родионова И.А. Зелёная экономика в России: модель и прогнозы развития // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 5462–5466.

17. Липина С.А., Родионова И.А. Отраслевые особенности и перспективы развития «зелёной экономики» в России (анализ материалов по реализации Энергетической стратегии) // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 8–1 (85–1). – С. 142–148.

18. BP Statistical Review of World Energy. Available from. – 2016. URL: http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf [DoA 09.02.2018].

19. Прогноз развития топливно-энергетического комплекса мира. Тенденции развития энергетики крупных стран. – 2017. URL: https://sites.google.com/site/eeseaec/energetika-stran-mira/energetika-krupnejsih-stran-mira/ieo-2017-energetika-krupnyh-stran-2015-2050-gg (дата обращения 09.02.2018).

20. China will allocate $ 360 billion for renewable energy sources. Available from: http://theworldonly.org/kitaj-vydelit-360-milliardov-na-vozobnovlyaemye-istochniki-energii/ [DoA 09.02.2018].

21. Лосев А. Ядерная энергетика и технологический суверенитет // Атомный эксперт. – 2018. – № 1. URL: http://atomicexpert.com/page2213466.html (дата обращения 09.02.2018).

22. REN21. 2017. Renewables 2017 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818107-0-7. Available from: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf [DoA 09.02.2018].

23. Суденко Б.А. Деньги «на ветер», или почему возобновляемая устремилась в альтернативные? // Электронный журнал по энергосбережению Энергосовет. – 2016. – № 3 (45). URL: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=617 (дата обращения: 09.02.2018).

24. Horschig T., Thran D. Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation // Energy, Sustainability and Society. – 2017. – № 7(1). Available from: https://energsustainsoc.springeropen.com/articles/10.1186/s13705-017-0107-2 DOI: 10.1186/s13705-017-0107-2 [DoA 09.02.2018].

25. Rodionova I.A., Shuvalova O.V., Sakharchuk N.S. The impact of globalization on the development of alternative energy in Russia // Globalization and its socio-economic consequences, 17Th International Scientific Conference Proceedings. – 2017. – P. 2191–2198. ISSN 2454-0943. Available from: http://ke.uniza.sk/sites/default/files/content_files/part_v_final_4.pdf [DoA 09.02.2018].

26. Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года» (проект) / Министерство энергетики Российской Федерации. – М., 2017. URL: http://minenergo.gov.ru/node/1920 (дата обращения: 09.02.2018).

27. Андриенко В. Альтернативная энергетика России. AltEnergy.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/148/Alternativnaya_energetika_Rossii (дата обращения: 09.02.2018).

28. Потребители устали от зеленой энергии // Региональная Энергетика и Энергосбережение. 12 декабря 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://energy.s-kon.ru/potrebiteli-ustali-ot-zelenoj-energii/ (дата обращения: 09.02.2018).

29. Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года. – М.: Институт энергетических исследований РАН, Российское энергетическое агентство, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eriras.ru/files/inei_rea_final1_0404dlja_sajta.pdf (дата обращения: 09.02.2018).

References

1. Preobrazovanie mira: «Povestke dnia v oblasti ustoichivogo razvitiia na period do 2030 goda»: Rezoliutsiia, priniataia General'noi Assambleei 25 sentiabria 2015 goda [Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development, adopted on 25 September 2015 by UN General Assembly]. Available at: http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf (accessed 9 February 2018).

2. Anglani N., Muliere G. The Impact of Renewable Energy and Energy Efficient Technologies, what to choose in case of limited supportive actions: a case study. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 2011, vol. 2, no. 4. Available at: http://journals.azad.ac.ir/ijeee/public/Paper.aspx?id=922. (accessed 09.02.2018).

3. Mastepanov A.M. Energy of the countries of the world in conditions of new challenges and geopolitical realities [Ob energeticheskoi situatsii v usloviiakh novykh vyzovov i geopoliticheskikh realii]. Akademiia energetiki – Academy of Energy, 2015, no. 3, pp. 4–10.

4. Growitsch Chr. German energy policy from an economic perspective. Energiewende – Quo vadis, 2016, no. 1. Available at: https://www.researchgate.net/publication/301256708_Die_deutsche_Energiepolitik_aus_okonomischer_Perspektive?ev=prf_high. (accessed 09.02.2018).

5. Cherniaev M., Rodionova I. Analysis of sustainable development factors in fuel and energy industry and conditions for achievement energy efficiency and energy security. International Journal of Energy Economics and Policy, 2017, no. 7. Available at: https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5480. (accessed 09.02.2018).

6. Growitsch Chr., Meier H. Regional money redistribution within Germany caused by Renewable Energy Act. Perspectives of economic policy. Perspectives of economic policy, 2015, vol. 1, no. 16. Available at: https://www.researchgate.net/publication/276786113_Regionale_Verteilungswirkungen_des_Erneuerbare-Energien-Gesetzes. (accessed 09.02.2018). DOI: 10.1515/pwp-2015-0007.

7. Horschig T., Thraen D. Are decisions well supported for the energy transition. A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation. Energy, Sustainability and Society, 2017, vol. 5, no. 7. Available at: http://link.springer.com/article/10.1186/s13705-017-0107-2. (accessed 09.02.2018). DOI: 10.1186/s13705-017-0107-2.

8. Sumin A.M. Energeticheskaia politika sovremennoi Germanii: tendentsii, problemy, perspektivy [Energy policy of modern Germany: trends, problems, prospects]. Moscow, Gazoil press, 2017, 270.

9. Chodkowska-Miszczuk J. The role of energy policy in agricultural biogas energy production in Visegrad countries.. Bulletin of Geography Socio-economic Series, 2017, no. 35. Available at: http://www.bulletinofgeography.umk.pl/35_2017/02_Chodkowska.pdf. (accessed 09.02.2018).

10. Liam W., Brown C., Foster J., Wagner L. Australian renewable energy policy: barriers and challenges. Renewable Energy, 2013, no. 60. Available at: https://www.academia.edu/22592143/Australian_renewable_energy_policy_Barriers_and_challenges. (accessed 09.02.2018). DOI: 10.1016/j.renene.2013.06.024.

11. Lombard A. The spatial distribution of renewable energy infrastructure in three particular provinces of South Africa. Bulletin of Geography. Socio-economic Series, 2015, no. 30. Available at: http://apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/BGSS/article/view/bog-2015-0036/7240 . (accessed 09.02.2018). DOI: 10.1515/bog-2017-0002.

12. Yun Li, Dan Nie, Xingang Zhao, Yanbin Li Market structure and performance: An empirical study of the Chinese

solar cell industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, no. 70. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308103. (accessed 09.02.2018). DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.064.

13. Akimova V.V. Typology of countries in terms of the level of development of solar energy [Tipologiia stran po urovniu razvitiia solnechnoi energetiki]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriia 5: Geografiia – Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography, 2015, no. 4, pp. 89–95.

14. Akimova V.V., Tikhotskaya I.S. A way to a sustainable future: the solar industry in Japan. Geography, Environment, Sustainability, 2015, vol. 3, no. 8, pp. 92–100. DOI: http://dx.doi.org/10.24057/2071-9388-2015-8-3-92-100.

15. Rodionova I.A., Shuvalova O.V. Features of the world energy industry structure based on alternative renewable energy sources [Nekotorye strukturnye osobennosti razvitiia mirovoi energetiki, osnovannoi na al'ternativnykh vozobnovliaemykh istochnikakh energii]. Vestnik Finansovoi akademii – Bulletin of the Financial Academy, 2011, no. 5, pp. 74–82.

16. Lipina S.A., Rodionova I.A. Green economy in Russia: model and development forecasts [Zelenaia ekonomika v Rossii: model' i prognozy razvitiia]. Fundamental'nye issledovaniia – Basic research, 2015, no. 2. available at: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38369. (accessed 09.02.2018).

17. Lipina S.A., Rodionova I.A. Sectoral features and prospects for the development of the «green economy» in Russia (analysis of materials on the implementation of the Energy Strategy) [Otraslevye osobennosti i perspektivy razvitiia «zelenoi ekonomiki» v Rossii (analiz materialov po realizatsii Energeticheskoi strategii)]. Ekonomika i predprinimatel'stvo – Economics and Entrepreneurship, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 142–148.

18. BP Statistical Review of World Energy (2016). Available at: http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf (accessed 9 February 2018).

19. Prognoz razvitiia toplivno-energeticheskogo kompleksa mira (2017). Tendentsii razvitiia energetiki krupnykh stran [IEO 2017. Trends in the development of energy in big countries]. Available at: https://sites.google.com/site/eeseaec/energetika-stran-mira/energetika-krupnejsih-stran-mira/ieo-2017-energetika-krupnyh-stran-2015-2050-gg (accessed 9 February 2018).

20. China will allocate 360 billion dollars for renewable energy sources. Available at: http://theworldonly.org/kitaj-vydelit-360-milliardov-na-vozobnovlyaemye-istochniki-energii/ (accessed 9 February 2018).

21. Losev A. Jadernaja jenergetika i tehnologicheskij suverenitet // Zhurnal «Atomnyj jekspert». 2018. no. 1. URL: http://atomic-expert.com/page2213466.html [DoA 09.02.2018]. (In Russ.).

22. REN21. 2017. Renewables 2017 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818107-0-7. Available from: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf [DoA 09.02.2018].

23. Sudenko B.A. Den'gi «na veter» ili pochemu vozobnovljaemaja ustremilas' v al'ternativnye? // Jelektronnyj zhurnal po jenergosberezheniju Jenergosovet. – 2016. – no. 3 (45). URL: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=617 [DoA 09.02.2018]. (In Russ.).

24. Horschig T., Thran D. Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation // Energy, Sustainability and Society. – 2017. – no. 7(1). Available from: https://energsustainsoc.springeropen.com/articles/10.1186/s13705-017-0107-2 DOI: 10.1186/s13705-017-0107-2 [DoA 09.02.2018].

25. Rodionova I.A., Shuvalova O.V., Sakharchuk N.S. The impact of globalization on the development of alternative energy in Russia // Globalization and its socio-economic consequences, 17Th International Scientific Conference Proceedings. – 2017. – P. 2191–2198. ISSN 2454-0943. Available from: http://ke.uniza.sk/sites/default/files/content_files/part_v_final_4.pdf [DoA 09.02.2018].

26. Jenergeticheskaja strategija Rossijskoj Federacii do 2035 goda» (proekt) / Ministerstvo jenergetiki Rossijskoj Federacii. [M.], 2017. URL: http://minenergo.gov.ru/node/1920 [DoA 09.02.2018]. (In Russ.).

27. Andrienko V. Alternativnaia energetika Rossii. AltEnergy.ru. URL: http://zvt.abok.ru/articles/148/Alternativnaya_energetika_Rossii [DoA 09.02.2018]. (In Russ.)

28. Potrebiteli ustali ot zelenoi energii. Regionalnaia Energetika I Energosberejenie. 12 Desember 2017. URL: https://energy.s-kon.ru/potrebiteli-ustali-ot-zelenoj-energii/ [DoA 09.02.2018]. (In Russ.).

29. Prognoz razvitiia energetiki mira I Rossii do 2035 goda. Moskva: Institut energeticheskikh issledovanij RAN, Rossiiskoe energeticheskoe agentstvo. URL: https://www.eriras.ru/files/inei_rea_final1_0404dlja_sajta.pdf [DoA 09.02.2018]. (In Russ.).

УДК 551.583

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ростом Г.Р.

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», Липецк, e-mail: rostom@mail.ru

В статье сделана попытка оценить различные сценарии изменения климата на Земле. Целью исследования является определение наиболее реалистичного сценария будущих климатических изменений. Выяснено, что существующие объективные данные об изменении климата при тиражировании в значительной степени искажаются. Приведены выверенные величины наблюдаемых показателей изменения климатических характеристик за последние несколько десятилетий. Подчеркнуто, что в распределении наблюдаемых климатических характеристик существуют значительные территориальные различия, которые часто имеют противоположные знаки. Эту особенность необходимо учитывать при применении усредненных характеристик к конкретным территориям. Общепризнанным ведущим фактором изменения климата считается антропогенная компонента, а именно – увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере. Автор считает неубедительным метод сопоставления хода показателей, который использовался для выявления данного ведущего фактора. Приведены результаты научных исследований, выявивших важную роль природных факторов в климатической системе (обмен атмосферы с океаном, круговорот углерода и метана). Возросшая антропогенная компонента в данном случае рассматривается не как решающий фактор изменений, а как один из факторов, направленность действия которого совпала с направленностью действия других факторов. Касаясь возможных сценариев дальнейшего изменения климатических характеристик, автор указывает на необходимость учета того факта, что все они построены на основе линейных трендов, тогда как поведение климатической системы описывается нелинейными законами. В этой связи необходимо учитывать возможные искажения сценариев, построенные на их основе. Делается вывод о том, что многообразие сценариев поведения климатической системы связано не с точностью расчетов, а с многообразием математических моделей, положенных в основу прогнозных моделей. Существующие модели прогнозируют не только возможное повышение температуры приземного воздуха в будущем на различное число градусов, но также и ее понижение и наступление ледникового периода

Ключевые слова: климатическая система, сценарии изменения климата, антропогенное воздействие

EVALUATION OF POSSIBLE CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Rostom G.R.

Lipetsk State Pedagogical P. Semenov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, e-mail: rostom@mail.ru

The article makes an attempt to evaluate various scenarios of climate change on the Earth. The purpose of the study is to determine the most realistic scenario for future climate change. It was founded out that the existing objective data on climate changes is largely distorted when replicated. Verified values of observed changes in climatic characteristics over the past few decades are presented. It is emphasized that the distribution of observed climatic characteristics have various territorial differences and opposite signs. This feature should be taken into account when applying average characteristics to specific areas. The generally recognized leading factor in climate change is the anthropogenic component, namely, the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. The author considers the method of comparing the graphs, which was used to identify the leading factor as unconvincing. Results of scientific research that have revealed the importance of natural factors in the climate system are shown (the exchange between the atmosphere and the ocean, the carbon and methane cycles). The increased anthropogenic component in this case is considered not as a decisive factor of changes, but as one of the factors whose action direction is consistent with the action direction of other factors. Concerning possible scenarios of further changes in climatic characteristics it is important to take into account that they are all built on the basis of linear trends, whereas the behavior of the climate system is described by nonlinear laws. In this regard, it is necessary to take into account the possible distortions of the scenarios, built on their basis. It is concluded that the variety of scenarios of the behavior of the climate system is not due to the accuracy of the calculations, but to the variety of mathematical models that form the basics of the forecast models. Existing models predict not only a possible increase in the temperature of surface air in the future by a different number of degrees, but also its decrease and the onset of a glacial period.

Keywords: climatic system, climate change scenarios, anthropogenic impact

В наше время не только специалистам, но и простым образованным людям все чаще приходится обращаться к сведениям, характеризующим глобальные изменения климата Земли. Такие сведения касаются интересов каждого жителя нашей планеты. Благополучие многих людей, судьба крупных компаний и целых стран напрямую зависит от того, какие изменения климатических характеристик произойдут в обозримом будущем. Для устойчивого развития очень важным является правильный прогноз развития событий, чтобы успеть правильно выбрать стратегию и тактику поведения. Именно поэтому изменения климата определены как глобальная проблема человечества, а адаптация к климатическим изменениям является важной международ-

ной задачей. Вместе с тем именно благодаря большому интересу и востребованности данной информации в обществе она подверглась значительным искажениям. Одни искажают информацию намеренно, чтобы получить материальные выгоды. Другие делают это неосознанно, находясь под влиянием средств массовой информации, которые не всегда корректно отображают действительность. В этой связи важным является использование корректных и неискаженных данных о происходящих изменениях климата Земли, определение оптимальных сценариев дальнейшего развития этих изменений.

Исходные материалы

Наименее предвзятыми считаются данные международных организаций в области изменения климата. Для изучения вопроса изменения климата Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и Организация ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП) в 1988 г. создали принципиально новое образование – Межправительственную группу экспертов по проблеме изменения климата (МГЭИК). МГЭИК не проводит собственных научных исследований. Деятельность этой организации состоит в подготовке максимально полных научных обзоров проблемы изменения климата на основе научных публикаций, которые в итоге составляют цельный оценочный доклад. Раз в шесть лет выпускается Доклад по изменению климата, который готовят эксперты. Их кандидатуры выдвигает международное научное сообщество через национальных представителей МГЭИК в различных странах. Каждого из ведущих авторов утверждает бюро МГЭИК. При этом обязательным требованием к кандидату является опыт работы в науке по соответствующему профилю. Например, над Пятым оценочным докладом, который вышел в 2013 г., трудились более 830 экспертов по целому ряду научных, технических и социально-экономических дисциплин. Их работу многократно анализировали и редактировали более 2 000 редакторов-рецензентов. Каждый Доклад – это системно организованное изложение строго научных результатов, накопленных за истекший период, с оценками степени уверенности и меры согласия научного сообщества по основным формулируемым в Докладе выводам. Все Доклады свободно распространяются в информационном пространстве (интернете), а резюме его томов переводятся на русский язык [1, 2]. Сведения, содержащиеся в Докладе, можно считать наиболее достоверным источником информации о климате Земли и его изменении.

Другим не менее важным источником объективной информации являются труды ученых, крупнейших научных институтов и коллективов. Зная исходные научные постулаты и аксиомы, лежащие в основе той или иной научной школы или научных воззрений конкретного ученого, можно получить более широкое представление о возможных моделях явления, включающее иной набор факторов и в итоге дающее иные результаты. Часто такие результаты подкрепляют и с еще большей убедительностью доказывают общепринятые воззрения. Но иногда позволяют увидеть возможные аспекты переоценки тех или иных факторов, недостаточную обоснованность тех или иных выводов.

Результаты исследования и их обсуждение

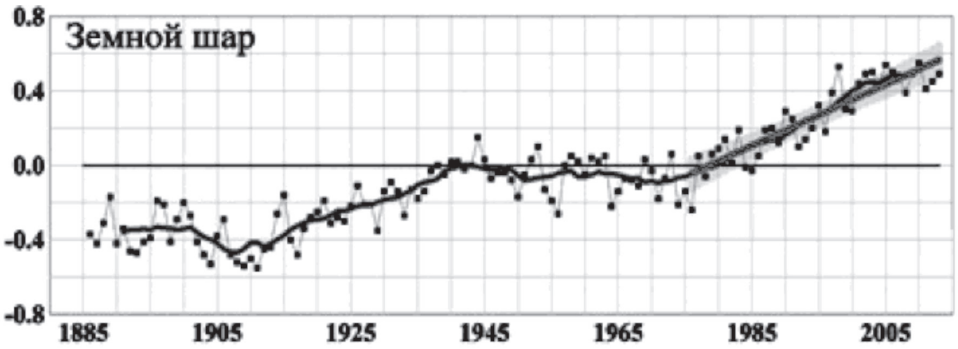
Несмотря на то, что потепление климатической системы является неоспоримым фактом, более корректным термином для характеристики происходящих на Земле явлений является «изменение климата», поскольку кроме повышения температуры (потепления в целом) происходят и другие существенные изменения (в том числе и уменьшение температуры). В таблице приведены некоторые выверенные общие данные о наблюдаемых изменениях климатической системы Земли.

Анализ таблицы позволяет говорить о том, что значения параметров изменения климатических показателей не так уж и велики. Некоторые значения настолько малы (температуры воздуха, уровня океана), что они близки к допустимой погрешности измерений. В данном случае необходимо понимать, что полученные значения являются трендовыми, получены статистически и имеют определенную степень неопределенности и достоверности. Для их расчета использовались косвенные методы, поскольку анализировались показатели за период, когда прямые систематические наблюдения ещё не велись. Например, с 1998 г. (т.е. уже 19 лет) температура приземного воздуха не увеличивалась. Но это не опровергает положения о глобальном ее повышении. Средний тренд изменения температуры приземного воздуха, несмотря на ежегодные отклонения, имеет тенденцию увеличения (рисунок).

Величина некоторых изменений в атмосфере, океане и криосфере

Показатель	Среднее значение показателя в исходном периоде	Среднее значение показателя в наше время	Изменение показателя за соответствующий период
глобальная усредненная температура приземного воздуха	1880 г. –0,35 °C	2012 г. 0,45 °C	увеличение, от 0,74 °C до 0,85 °C
средний глобальный уровень моря	1901 г 0 м	2010 г. 0,19 м	увеличение, 0,19 м
атмосферная концентрация CO_2, (ppm – количество молекул на миллион молекул сухого воздуха	1960 г. 320 ppm	2011 г 391 ppm	увеличение, 71 ppm
среднегодовое значение площади арктического морского льда	1979 г 8 млн км^2	2013 г. 6 млн км^2	уменьшение, за десятилетие на 0,45–0,51 млн км^2 (3,5–4,1%)
толщина арктического морского льда	1979 г данные не приведены	2012 г. данные не приведены	уменьшение, за 20 лет на 1,3–2,3 м
среднегодовое значение площади антарктического морского льда			увеличение, за десятилетие на 0,13–0,2 млн км^2 (1,2–1,8%)

Примечание. Составлено по [1, 2].



Годовые аномалии температуры приземного воздуха [1]

В то же время многие климатологи считают, что изменения температуры приземного воздуха являются абсолютно не значимыми для оценки количества тепловой энергии в климатической системе Земли. Почти вся кинетическая и тепловая энергия сосредоточивается в океане. На его долю приходится более 90% аккумулированной энергии. Повышение температуры вод океана и является наиболее важным фактором, способствующим увеличению количества энергии, содержащейся во всей климатической системе Земли. Поэтому немаловажным доказательством глобального потепления может стать рост теплосодержания океанских вод. На эту особенность климатической системы указывают В.И. Бинеко [3], В.Н. Малинин [4], A. Cazenave [5], G. Choblet [6], D.J. Easterbrook [7]. Но человеку важнее знать параметры, касающиеся непосредственно его самого – поэтому вопрос о температуре океанских вод совсем слабо освещается в научных изданиях.

Усредненные трендовые значения наблюдаемых изменений не учитывают не только значительного разброса показателей по вертикальной структуре и сезонам, но и в плане географического (территориального) распределения. Так, средняя приземная температура воздуха в различных районах Земли не только в разной степени увеличивалась, но и уменьшалась. Так же неравномерно изменялись количество осадков, уровень моря в различных регионах, площадь льда в разных секторах Арктики и Антарктики [1]. Например, за более чем

100 лет в районе северной Атлантики температура приземного воздуха опустилась на 0,6 °С, тогда как в Центральной Азии она поднялась на 2,5 °С. На севере Европы происходило увеличение количества осадков на 100 мм/год за десятилетие, а на юге Европы – уменьшение ежегодного количества осадков на 100 мм/год за десятилетие. На востоке Тихого океана происходило уменьшение поверхностного уровня на 10 мм/год, а на западе – увеличение поверхностного уровня на 10 мм/год [1]. Выявленные региональные различия указывают на неоднородность процессов в климатической системе Земли и неоднозначную реакцию на них различных регионов. Неоднородность в поведении климатической системы выявили в своих исследованиях А.И. Куликов [8] и F.B. Avila [9].

В Докладе МГЭИК определены наиболее вероятные факторы изменения климата. Было доказано, что они не являются простыми колебаниями климатических показателей, которые происходят без какого-либо внешнего воздействия, т.е. только из-за внутренней изменчивости климатической системы. Внешними по отношению к климатической системе воздействиями считают вулканические извержения, изменения яркости Солнца. Сюда же относят антропогенное воздействие, которое включает в себя выбросы парниковых газов. Любое из этих воздействий могло вызывать изменение климата. Выявление наиболее существенного фактора, повлиявшего на изменение климата, проводились с помощью модельных имитаций. Наиболее существенное воздействие определялось по наиболее заметному «отпечатку» на климатические характеристики. Или, говоря простым языком, наиболее существенный фактор определялся при помощи наложения графика наблюдаемых изменений (повышения глобальной приземной температуры) с графиками хода различных факторов. Фактор, ход графика которого оказался наиболее близким к ходу графика повышения температуры, принят как наиболее существенный. Оказалось, что ход глобальной приземной температуры больше совпадает с ходом влияния антропогенной компоненты. Вместе с тем, если следовать строго научному подходу, устанавливать прямую причинно-следственную связь между двумя явлениями на основе одного лишь совпадения хода графиков выглядит не слишком убедительно. Хотя автор целиком и полностью поддерживает идею необходимости уменьшения концентрации парниковых газов в атмосфере для того, чтобы как можно дольше сохранить устойчивость экосистемы Земли.

Достаточно большое число ученых не ограничиваются сопоставлениями хода показателей и применяют различные математические модели для установления причинно-следственных связей между наблюдаемыми показателями изменения климата и возможными факторами этих изменений. Все альтернативные воззрения на происходящие процессы в климатической системе можно разделить на две группы. Одна группа авторов считает происходящие климатические изменения несущественными. Так, D. Lüthi [10], J.P. Petit [11], L. Loulergue [12] на основании изучения концентрации диоксида углерода и метана в кернах антарктических льдов воссоздали особенности климата прошедших 800 тыс. лет. На этой основе он делает вывод о незначительных колебаниях показателей в современной климатической системе. Вторая группа авторов в своих моделях подтверждают существование тренда к повышению температуры приземного воздуха, но в своих моделях включают большее количество разнообразных факторов. В результате более существенным фактором, влияющим на климатические изменения, оказался природный. Антропогенный фактор при этом рассматривается как запускающий механизмом [13–15]. Например, И.И. Мохову [16, 17] и В.А. Семенову [18] удалось установить, что наиболее существенное влияние на изменение климатической системы оказывает естественный цикл углерода, включая цикл метана.

Л. Диневич и др. [19] склоняются к мнению, что наблюдаемые изменения климата доказывают уменьшающуюся солнечную активность, которая в конечном итоге приведет к ледниковому периоду. К такому же выводу, основанному на циклах гелиомагнитной активности и обращения Солнца пришла группа ученых института океанологии РАН [20].

Заключение

Несомненно то, что с 1950 гг. происходит повышение температуры приземного воздуха. Доказательства потепления климата Земли следуют из нескольких независимых климатических показателей и включают в себя изменения температуры поверхности атмосферы и океана; ледников; снежного покрова, морского льда; уровня моря и водяного пара в атмосфере. Ученые многих

стран многократно проводили независимые проверки этих изменений. Нет сомнения в том, что по сравнению с XIX веком мир стал теплее.

Однако это вовсе не означает, что, во-первых, процесс потепления будет происходить и дальше. Во-вторых, что главным фактором изменений в климатической системе является антропогенный. Необходимо понимать, что установленные закономерности изменения климатических показателей являются трендовыми, поэтому они не всегда однозначно и повсеместно выполняются. Слабо учитываются территориальные различия в изменении климатических показателей. А они достаточно существенны и подчас имеют различные знаки. Совсем не учитывается вероятностный характер вывода о том, что антропогенное воздействие на климатическую систему является доминирующей причиной наблюдаемого потепления. Если же говорить о прогнозных сценариях, то необходимо учитывать тот факт, что климатическая система является нелинейной, а установленные линейные закономерности для её развития весьма условны. Таким образом, говорить о наблюдаемых изменениях климата и прогнозных сценариях его изменения необходимо с учетом вероятностного характера многих показателей и их географической дифференциации в широких пределах. Необходимо также учитывать многообразие математических моделей, положенных в основу прогнозных моделей.

Список литературы

1. Изменение климата, 2013. Физическая научная основа. Резюме для политиков, техническое резюме и часто задаваемые вопросы. МГЭИК. – 2013. – 204 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure _ru.pdf (дата обращения: 15.02.2018).

2. Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с. URL: http://www.wwf.ru/data/climate/ipcc_review.pdf. (дата обращения: 15.02.2018).

3. Биненко В.И. Киотский протокол и некоторые аспекты современного изменения климата (по результатам научных чтений, посвящённых 95-летию академика РАН К.Я. Кондратьева) // Региональная экология. – 2015. – № 2(37). – С. 3–15.

4. Малинин В.Н. Об изменениях глобального климата в начале 21-го столетия // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – № 15. – С. 150–154.

5. Cazenave A., Remy F. Sea level and climate: measurements and causes of changes. Wires climate change. – 2011. – vol. 2, no. 5. – P. 647–662. DOI: 10.1002/wcc.139/.

6. Choblet G., Husson L., Bodin T. Probabilistic surface reconstruction of coastal sea level rise during the twentieth century. Journal of Geophysical Research. Solid Earth. – 2014. – vol.119, no.12. – P. 9206–9236. DOI: 10.1002/2014JB011639.

7. Easterbrook D.J. Geologic evidence of recurring climate cycles and their implications for the cause of global climate changes. The Past is the Key to the Future. Evidence-based climate science Geological Society of America Abstracts with Programs. 2011, vol. 39, no. 6, pp. 3 – 51. DOI: 10.1016/b978-0-12-385956-3.10001-4/.

8. Куликов А.И. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. – 2014. – Т. 20, № 3 (60). – С. 5–13.

9. Avila F.B., Pitman A.J., Donat M.G., Alexander L.V., Abramowitz G. Climate model simulated changes in temperature extremes due to land cover change // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2012. – vol 117. DOI: 10.1029/2011JD016382. Available at: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2011JD016382 (accessed 28.02.2018).

10. Luthi D., Le Floch M., Bereiter B., et al. High-resolution carbon dioxide concentration record 650.000–800.000 years before present // Nature. – 2008. – vol. 453, no. 7193. – P. 379–382.

11. Petit J.P., Jouzel J., Raynaud D., et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature. – 1999. – vol. 399, no 6735. – P. 429–436.

12. Loulergue L., Schilt A., Spahni R., et al. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH4 over the past 800.000 years // Nature. – 2008. – vol. 453, no. 7193. – P. 383–386.

13. Жарников В.Б. Роль техногенеза в глобальном изменении климата // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 144–148.

14. Канило П.М. Антропогенно-экологические факторы глобального потепления климата // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 8 (114). – С. 53–60.

15. Спорышев П.В. Причины наблюдаемых изменений климата // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2014. – № 574. – С. 39–124.

16. Мохов И.И. Оценки влияния изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // Доклады АН. – 2012. – Т. 443, № 2. – С.225–231.

17. Мохов И.И. Результаты российских исследований климата в 2007–2010 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 49, № 1. – С.3–18.

18. Семенов В.А. Моделирование влияния естественной долгопериодной изменчивости в северной Атлантике на формирование аномалий климата // Морской гидрофизический журнал. – 2014. – № 4. – С. 14–27.

19. Вакуленко Н.В., Нигматулин Р.И., Сонечкин Д.М. К вопросу о глобальном изменении климата // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 9. – С. 89–97.

20. Диневич Л. К вопросу об изменении климата // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 2. – С. 60–63.

References

1. Izmenenie klimata, 2013. Fizicheskaia nauchnaia osnova. Reziume dlia politikov, tekhnicheskoe reziume i chasto zadavaemye voprosy. MGEIK. – 2013. – 204 p. [Climate Change, 2013.: Physical Bases. Summary for politicians, technical summaries and frequently asked questions. The IPCC. 2013: 204.]. Available at: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_ru.pdf (accessed 15 February 2018).

2. Kokorin A.O. Izmenenie klimata: obzor Piatogo otsenochnogo doklada MGEIK. M.: Vsemirnyi fond dikoi prirody (WWF). –2014. – 80 p. [Climate change: review of the IPCC Fifth Assessment Report. M.: World Wildlife Fund (WWF). 2014: 80.]. Available at: http://www.wwf.ru/data/climate/ipcc_review.pdf (accessed 15 February 2018).

3. Binenko V.I. The Kyoto Protocol and some aspects of the current climate change (based on the results of scientific readings devoted to the 95th birthday of academician Y. Kondratyev). [Kiotskii protokol i nekotorye aspekty sovremennogo izmeneniia klimata (po rezul'tatam nauchnykh chtenii, posviashchennykh

95-letiiu akademika RAN K. Ia. Kondrat'eva)]. Regional'naia ekologiia – Regional ecology, 2015, no. 2, pp. 3–15.

4. Malinin V.N. About changes in the global climate at the beginning of the 21st century [Ob izmeneniiakh global'nogo klimata v nachale 21-go stoletiia]. Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta – Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University, 2010, no. 15, pp. 150–154.

5. Cazenave A., Remy F. Sea level and climate: measurements and causes of changes. Wires climate change, 2011, no. 5, pp. 647–662. DOI: 10.1002/wcc.139/

6. Choblet G., Husson L., Bodin T. Probabilistic surface reconstruction of coastal sea level rise during the twentieth century. . Journal of Geophysical Research. Solid Earth, 2014, no. 12, pp. 9206–9236. DOI: 10.1002/2014JB011639.

7. Easterbrook D.J. Geologic evidence of recurring climate cycles and their implications for the cause of global climate changes-the past is the key to the future. . Evidence-based climate science. Geological Society of America Abstracts with Programs, 2011, no. 6, pp. 3–51. DOI: 1016/b978-0-12-385956-3.10001-4.

8. Kulikov A.I. About global climate change and its ecosystem effects [O global'nom izmenenii klimata i ego ekosistemnykh sledstviiakh]. Aridnye ekosistemy – Arid ecosystems, 2014, no. 3, pp. 5–13.

9. Avila F.B., Pitman A.J., Donat M.G., Alexander L.V., Abramowitz G. Climate model simulated changes in temperature extremes due to land cover change // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011, no. 117. Available at: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/ 10.1029/2011JD016382. (accessed 28.02.2018). doi: DOI:10.1029/2011JD016382.

10. Luthi D., Le Floch M., Bereiter B. High-resolution carbon dioxide concentration record 650.000-800.000 years before present // Nature, 2008, no. 7193, pp. 379–382.

11. Petit J.P., Jouzel J., Raynaud D. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature, 1999, no. 6735, pp. 429–436.

12. Loulergue L., Schilt A., Spahni R. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH4 over the past 800.000 years // Nature, 2008, no. 7193, pp. 383–386.

13. Zharnikov V.B. The role of technogenesis in global climate change [Rol' tekhnogeneza v global'nom izmenenii klimata]. Interekspo Geo-Sibir' – Interexpo Geo-Siberia, 2010, no. 2, pp. 144–148.

14. Kanilo P.M. Anthropogenically-ecological factors of global warming of the climate [Antropogenno-ekologicheskie faktory global'nogo potepleniia klimata]. Energosberezhenie. Energetika. Energoaudit – Energy saving. Power engineering. Energy audit, 2013, no. 8, pp. 53–60.

15. Sporyshev P.V. The causes of observed climate change [Prichiny nabliudaemykh izmenenii klimata]. Trudy glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova – Papers of the main geophysical observatory. A.I. Voeikov, 2014, no. 574, pp. 39–124.

16. Mokhov I.I. Estimates of the influence of changes in global near-surface temperature with different natural and anthropogenic factors on the basis of observational data [Otsenki vliianiia izmenenii global'noi pripoverkhnostnoi temperatury s raznymi estestvennymi i antropogennymi faktorami na osnove dannykh nabliudenii]. Doklady Akademii Nauk – Academy of science reports, 2012, no. 2, pp. 225–231.

17. Mokhov I.I. The results of Russian climate studies in 2007–2010 [Rezul'taty rossiiskikh issledovanii klimata v 2007 2010 gg.]. Izvestiia RAN. Fizika atmosfery i okeana – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Atmosphere and ocean physics, 2013, no. 1, pp. 3–18.

18. Semenov V.A. Modeling of the influence of natural long-term variability in the northern Atlantic on the formation of climate anomalies [Modelirovanie vliianiia estestvennoi dolgoperiodnoi izmenchivosti v severnoi Atlantike na formirovanie anomalii klimata]. Morskoi gidrofizicheskii zhurnal – Marine Hydrophysical Journal, 2014, no. 4, pp. 14–27.

19. Vakulenko N.V., Nigmatulin R.I., Sonechkin D.M. On the issue of global climate change. [K voprosu o global'nom izmenenii klimata]. Meteorologiia i gidrologiia – Meteorology and Hydrology, 2015, no. 9, pp. 89–97.

20. Dinevich L. On the issue of climate change [K voprosu ob izmenenii klimata]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies, 2013, no. 2, pp. 60–63.