

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,831

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,333

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 электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

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.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.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); 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. Егорова 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 Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,831.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,333.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

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

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 30.12.2022

Дата выхода номера – 31.01.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 29,25

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/12-2022

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1)

СТАТЬИ

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ (<i>LARIX SIBIRICA</i> L.) В ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Неверов Н.А., Полякова Е.В.</i>	9
ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ В КОРОТКОРОТАЦИОННЫХ СЕВООБОРОТАХ С ШИРОКИМ АССОРТИМЕНТОМ КУЛЬТУР <i>Плаксина В.С., Астахов А.А., Пронудин К.А.</i>	15

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ТЕБЕРДИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА <i>Атанов И.В., Динаев А.А., Шутко А.П., Зеленская Т.Г., Хасай Н.Ю.</i>	21
СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ НА АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКАХ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) <i>Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Софронов Р.Р., Иванова А.З.</i>	30
ПРОВЕДЕНИЕ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ГРАНИЦАХ ГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ РОССИЙСКОГО И БЕЛОРУССКОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА <i>Иванова Е.Ю.</i>	39
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ И ТУРИСТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА <i>Караганова Н.Г., Еремеева С.С., Мартынкин С.В., Гаврилов О.Е., Михайлов Д.А.</i>	44
ВЫЯВЛЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОЗЕР ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИШИМСКОЙ РАВНИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ <i>Корнеевкова Н.Ю., Расулова А.М.</i>	49
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ ОКРУГОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ <i>Корниенко О.С.</i>	55
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО НОРМАТИВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОТХОДАМИ <i>Кутышкин А.В.</i>	61
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГУБКИНСКОГО ЗАКАЗНИКА И ЕГО РОЛЬ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНА <i>Лопина Е.М., Корнилов А.Г., Юдина Ю.В., Павлюк Я.В.</i>	68

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА К КОНЦЕНТРАЦИЯМ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ (ПАРАМЕТРА ХПК/ВВ) В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА	
<i>Мискевич И.В., Нецветаева О.П., Кузнецов Е.А.</i>	75
ПРИМЕНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ	
<i>Пархоменко В.П.</i>	80
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ НА РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РОССИИ	
<i>Сафиуллин Р.Г.</i>	86
ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОДНОЛЕТНИХ КАПУСТНЫХ ТРАВ НА СУХУЮ МАССУ	
<i>Ураев Г.А., Лебедев В.Н.</i>	92

Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

СТАТЬИ

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАЛЫШЕВСКОГО ГОРИЗОНТА БЕРЕГОВОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
<i>Горбунов П.А., Лебедев М.В., Яневиц Р.Б., Фищенко А.Н., Архипов А.В., Великих А.В., Афлятонова А.Р., Сахипова Ж.А., Бердышева Т.В., Дорохов А.Р.</i>	98
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)	
<i>Зиппа Е.В., Пургина Д.В., Дребот В.В.</i>	110
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ ПОЧВ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Кайгородов Р.В.</i>	116
ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВЫ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ)	
<i>Осипова Н.А., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.</i>	124
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	
<i>Худякова Л.И., Котова И.Ю.</i>	136
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВЕХОВЫХ БОЛОТ ЮЖНОПРИБЕЛОМОРСКОГО ТИПА	
<i>Шпанов Д.А., Зубов И.Н., Пономарева Т.И., Штанг А.К., Орлов А.С., Забелина С.А., Селянина С.Б.</i>	142

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)

СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ АКТИВИЗАЦИИ ХИМИКО-ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В КОКСОВОЙ ЗОНЕ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	
<i>Бобков В.И., Никифоров В.А., Панченко С.В.</i>	148

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ МЕТОДОВ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНИТОРИНГЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АРКТИКИ <i>Калашиник А.И.</i>	155
ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСТАШКОВСКОЙ МОРЕНЫ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (ВНЕ ЕГО ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА) <i>Котюков П.В., Ланге И.Ю., Лебедева Я.А.</i>	161
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ <i>Мальшиев А.В., Васильев С.С., Пермяков П.П., Большев К.Н.</i>	169
ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА <i>Матвеев А.И., Попова К.С.</i>	175
ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ МЕДИ ДИАТОМИТОМ <i>Пимнева Л.А.</i>	181
МЕТОДИКА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ НЕ ЗАТРОНУТЫХ ТЕРМОКАРСТОМ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ <i>Прудецкий Н.Д., Соколов К.О., Попков П.А.</i>	186
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ НА ПРОЕКТЕ ПЛОТИНА СУЛТАНА, ОБЛАСТЬ ГАЗНИ – АФГАНИСТАН <i>Сафари М.А., Лыонг Т.Л., Елиев М.А.</i>	193
КОЛИЧЕСТВО НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В ЗАСОЛЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ <i>Таптырова Н.И., Тимофеев А.М., Степанов А.В., Кравцова О.Н., Протодьяконова Н.А.</i>	201
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ <i>Чимитдоржиева Э.О., Корсунова Ц.Д-Ц., Чимитдоржиева Г.Д.</i>	206

Сельскохозяйственные науки (4.1.6)

СТАТЬЯ

АГРОЛЕСОВОДСТВО В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РОССИИ <i>Михин В.И., Михина Е.А.</i>	212
---	-----

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА «ТАТАРСКОЕ ГОРОДИЩЕ» СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ <i>Степаненко Е.Е., Безгина Ю.А., Окрут С.В., Халикова В.А., Мурадова А.В., Тибилова А.А.</i>	217
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ И УСТРАНЕНИЕ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ТЕРРИТОРИИ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ <i>Узденова А.Б.</i>	223
ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ И ИНДЕКСОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА) <i>Хасанова Г.Ф.</i>	229

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1)

ARTICLES

DYNAMICS OF RADIAL GROWTH OF LARCH (<i>LARIX SIBIRICA</i> L.) IN THE TUNDRA FORESTS OF THE ARKHANGELSK REGION <i>Neverov N.A., Polyakova E.V.</i>	9
--	---

CONTAMINATION OF CROPS IN SHORT-ROTATION CROP ROTATIONS WITH A WIDE RANGE OF CROPS <i>Plaksina V.S., Astashov A.A., Pronudin K.A.</i>	15
---	----

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

MONITORING OF THE ECOLOGICAL AND PHYTOSANITARY STATUS OF DARK CONIFEROUS FORESTS OF THE TEBERDA NATIONAL PARK <i>Atanov I.V., Dinaev A.A., Shutko A.P., Zelenskaya T.G., Khasay N.Yu.</i>	21
---	----

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS IN ANTHROPOGENIC DISTURBED AREAS (SOUTH-WESTERN YAKUTIA) <i>Desyatkin R.V., Nikolaeva M.C., Sofronov R.R., Ivanova A.Z.</i>	30
---	----

FOREST PATHOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF VEGETATION WITHIN THE BORDERS OF URBAN SPECIALLY PROTECTED TERRITORIES ON THE BASIS OF RUSSIAN AND BELARUSIAN ENVIRONMENTAL LEGISLATION <i>Ivanova E.Yu.</i>	39
---	----

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION AND TOURIST ACTIVITIES IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS ON THE TERRITORY OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT <i>Karaganova N.G., Eremeeva S.S., Martynkin S.V., Gavrilov O.E., Mikhailov D.A.</i>	44
---	----

IDENTIFICATION OF UNIQUE LAKES OF PROTECTED AREAS OF THE ISHIM PLAIN USING GEOINFORMATION SYSTEMS <i>Korneenkova N.Yu., Rasulova A.M.</i>	49
---	----

EFFICIENCY OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF PRIMORSKY AND CONTINENTAL URBAN DISTRICTS OF PRIMORSKY KRAI <i>Kornienko O.S.</i>	55
---	----

ON THE USE OF A DYNAMIC STANDARD FOR ASSESSING THE FUNCTIONING OF A REGIONAL SYSTEM FOR CLEANING LAND CONTAMINATED WITH INDUSTRIAL WASTE <i>Kutyshkin A.V.</i>	61
---	----

TOURIST AND RECREATION POTENTIAL OF THE GUBKINSKY RESERVE AND ITS ROLE IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION <i>Lopina E.M., Kornilov A.G., Yudina Yu.V., Pavlyuk Y.V.</i>	68
---	----

USING THE RATIO OF CHEMICAL OXYGEN CONSUMPTION TO SUSPENDED MATTER CONCENTRATIONS (COD/BB PARAMETER) IN GEOECOLOGICAL STUDIES OF WATER BODIES THE EUROPEAN NORTH <i>Miskevich I.V., Netsvetaeva O.P., Kuznetsov E.A.</i>	75
---	----

APPLICATION OF THE GLOBAL CLIMATE MODEL TO ANALYZE THE ARCTIC SEA ICE COVER VARIABILITY <i>Parkhomenko V.P.</i>	80
ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DECARBONIZATION OF THE ECONOMY ON THE REGIONAL SYSTEMS OF RUSSIA <i>Safullin R.G.</i>	86
THE ESTIMATE OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING ANNUAL CABBAGE GRASSES BY DRY WEIGHT <i>Uraev G.A., Lebedev V.N.</i>	92

Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

ARTICLES

SEQUENCE-STRATIGRAPHIC MODEL OF THE MALYSHEVSKY HORIZON OF A BEREGOVOE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD AND ITS PRACTICAL APPLICATIONS <i>Gorbunov P.A., Lebedev M.V., Yanevits R.B., Fischenko A.N., Arkhipov A.V., Velikhikh A.V., Aflyatonova A.R., Sakhipova Zh.A., Berdysheva T.V., Dorokhov A.R.</i>	98
CHEMICAL COMPOSITION AND GEOTHERMAL REGIME OF THERMAL WATER OF THE BAIKAL FOLDED REGION (REPUBLIC OF BURYATIA) <i>Zippa E.V., Purgina D.V., Drebot V.V.</i>	110
DIFFERENTIATION OF TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS IN THE GENETIC PROFILES OF SOILS IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION <i>Kaygorodov R.V.</i>	116
THE EFFECTS OF HEAVY METALS IN SOILS AS A RISK FACTOR FOR THE HEALTH OF THE POPULATION (CASE-STUDY OF COAL-MINING AREAS) <i>Osipova N.A., Filimonenko E.A., Yazikov E.G.</i>	124
USE OF MAGNESIUM-CONTAINING MINING WASTE <i>Khudyakova L.I., Kotova I.Yu.</i>	136
SEASONAL DYNAMICS OF MICROORGANISMS ABUNDANCE IN PEAT DEPOSITS OF BOGS OF THE SOUTH-BELOMORIAN TYPE <i>Shpanov D.A., Zubov I.N., Ponomareva T.I., Shtang A.K., Orlov A.S., Zabelina S.A., Selyanina S.B.</i>	142

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)

ARTICLES

PECULIARITIES OF HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER DURING ACTIVATION OF CHEMICAL AND ENERGY TECHNOLOGICAL RECOVERY PROCESSES IN COKE ZONE OF ORE-THERMAL FURNACE <i>Bobkov V.I., Nikiforov V.A., Panchenko S.V.</i>	148
APPLICATION OF MULTIDISCIPLINARY METHODS AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN MONITORING OF LIQUID INDUSTRIAL WASTE STORAGES IN THE WESTERN PART OF THE ARCTIC <i>Kalashnik A.I.</i>	155

EFFECT OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF OSTASHKOVO MORAINЕ AT THE TERRITORY OF SAINT PETERSBURG (OUTSIDE ITS HISTORICAL CENTER) <i>Kotiukov P.V., Lange Yu.I., Lebedeva Ya.A.</i>	161
MODELING OF THERMAL INTERACTION OF THE CENTRAL COOLING SUPPLY PIPELINE SYSTEM WITH FROZEN GROUND <i>Malyshev A.V., Vasilev S.S., Permyakov P.P., Bolshev K.N.</i>	169
THE PROBLEM OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF COAL FOR CONSUMERS IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH <i>Matveev A.I., Popov K.S.</i>	175
PURIFICATION OF NATURAL AND INDUSTRIAL WATERS FROM COPPER CATIONS WITH DIATOMITE <i>Pimneva L.A.</i>	181
MAPPING OF ICE WEDGES NOT AFFECTED BY THERMOKARST ACCORDING TO GPR DATA <i>Prudetskiy N.D., Sokolov K.O., Popkov P.A.</i>	186
ANALYSIS AND EVALUATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DATA PROCESSING USING ONLINE SERVICE AT THE SULTAN DAM PROJECT, GHAZNI REGION – AFGHANISTAN <i>Safari M.A., Luong T.L., Elshewy M.A.</i>	193
THE AMOUNT OF UNFROZEN WATER IN SALINE SANDY SOILS <i>Tappyrova N.I., Timofeev A.M., Stepanov A.V., Kravtsova O.N., Protodyakonova N.A.</i>	201
BIOLOGICAL ACTIVITY OF FROZEN SOILS <i>Chimitdorzhieva E.O., Korsunova Ts.D-Ts., Chimitdorzhieva G.D.</i>	206

Agricultural sciences (4.1.6)

ARTICLE

AGROFORESTRY IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL FOREST-STEPPE OF RUSSIA <i>Mikhin V.I., Mikhina E.A.</i>	212
---	-----

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE NATURAL AND ARCHAEOLOGICAL MUSEUM-RESERVE «TATARSKOE GORODISCHE» OF THE STAVROPOL TERRITORY <i>Stepanenko E.E., Bezgina Yu.A., Okrut S.V., Khalikova V.A., Muradova A.V., Tibilova A.A.</i>	217
RECLAMATION OF DISTURBED LAND AND ELIMINATION OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE ON THE TERRITORY OF THE KABARDINO-BALKARIA <i>Uzdenova A.B.</i>	223
USE OF INDICATORS AND INDICES IN MODELING THE TRANSFORMATION PROCESSES OF NATURAL COMPLEXES (USING THE EXAMPLE OF THE MIDDLE MOUNTAINS OF THE SOUTHERN URALS) <i>Khasanova G.F.</i>	229

СТАТЬИ

УДК 630*161

**ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО РОСТА
ЛИСТВЕННИЦЫ (*LARIX SIBIRICA* L.)
В ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Неверов Н.А., Полякова Е.В.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск,
e-mail: na-neverov@yandex.ru*

На севере Европейской части России древостои с высокой долей лиственницы выполняют природоохранную функцию и способствуют повышению продуктивности лесов. Однако доля лиственницы неуклонно снижается и в настоящее время достигает 0,2% от лесопокрытой площади региона. Цель данного исследования – выявить особенности динамики радиального прироста лиственницы, произрастающей в притундровой тайге Архангельской области на территории распространения карстующихся пород (известняк, гипс, доломит) пермского и каменноугольного периодов. Изучались естественные перестойные древостои с участием лиственницы. Всего заложено семь пробных площадей, из них шесть в притундровых лесах и одна – в подзоне средней тайги. На каждой пробной площади отобрано по 30 кернов древесины лиственницы возрастным буром на высоте груди. С помощью прибора Lintab 6 и программного обеспечения Tsap-Win определялись параметры ширины годичного кольца с точностью до 0,01 мм. Средняя ширина годичного кольца варьирует в пределах 0,6–0,9 мм, причем в притундровой тайге радиальный рост лиственницы не уступает деревьям из средней тайги. Данные выводы подтверждаются статистически. По динамике радиального роста наблюдается плавное снижение роста с 0,7–1,7 мм в 10 лет до 0,2–0,6 мм в 230 лет. Столь низкие различия по скорости радиального роста между притундровой и средней тайгой заключаются, на наш взгляд, в неглубоком залегании карстующихся пород, которые, снижая pH, повышают почвенное плодородие, а также длительном периоде белых ночей и высокой фотосинтетической продуктивности хвои лиственницы.

Ключевые слова: лиственница (*Larix sibirica* L.), ширина годичного слоя, притундровые леса, Архангельская область

**DYNAMICS OF RADIAL GROWTH OF LARCH (*LARIX SIBIRICA* L.)
IN THE TUNDRA FORESTS OF THE ARKHANGELSK REGION**

Neverov N.A., Polyakova E.V.

*N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,
Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: na-neverov@yandex.ru*

In the north of the European part of Russia, forest stands with a high proportion of larch perform a conservation function and contribute to an increase in forest productivity. However, the proportion of larch is steadily declining, and currently reaches 0.2% of the forested area of the region. The purpose of this study is to identify the features of the dynamics of the radial growth of larch growing in the taiga of the Arkhangelsk region on the territory of distribution of karst rocks (limestone, gypsum, dolomite) of the Permian and Carboniferous periods. Natural overgrown forests with larch were studied. A total of 7 trial plots were established, of which 6 were in tundra forests and one was in the middle taiga subzone. On each trial plot, 30 larch wood cores were taken with an age borer at breast height. Using the Lintab 6 device and the Tsap-Win software, the annual ring width parameters were determined with an accuracy of 0.01 mm. The average width of the annual ring varies within 0.6-0.9 mm, and in the near-tundra taiga, the radial growth of larch is not inferior to trees from the middle taiga. These conclusions are confirmed statistically. According to the dynamics of radial growth, there is a gradual decrease in growth from 0.7-1.7 mm at 10 years to 0.2-0.6 mm at 230 years. Such low differences in the rate of radial growth between the near-tundra and middle taiga, in our opinion, are due to the shallow occurrence of karst rocks, which, by lowering pH, increase soil fertility, as well as the long period of white nights and the high photosynthetic productivity of larch needles.

Keywords: larch (*Larix sibirica* L.), annual layer width, tundra forests, Arkhangelsk region

Леса притундровой зоны обладают наибольшей фитомассой по сравнению с остальными подзонами тайги региона. Они являются неотъемлемой частью в жизненных циклах экосистем и формируют условия обитания многих живых организмов. Притундровые леса выступают в роли основы биогеоценозов. Их сохранение весьма важно для поддержания уникального биоразнообразия и сложных биологических круговоротов [1]. В Архангельской области расположено 32% от всех притундровых

лесов Европейской части России. В породном составе преобладают ельники (более 70%), березняки (около 16%), сосняки (11%); лиственничниками занято порядка 2% покрытой лесом площади. К перестойным насаждениям относится 90% древостоев со средним классом бонитета (Va-Vб).

Основными лимитирующими факторами продуктивности древостоев являются недостаток солнечной энергии и бедность почв. Однако на локальном уровне за счет микроклиматических условий, обуслов-

ленных микрорельефом, во многих типах ландшафта возможно ослабление действия этих факторов.

Низкая продуктивность притундровых лесов компенсируется их повышенной устойчивостью к неблагоприятным климато-эдафическим факторам. Однако данные лесные экосистемы остаются весьма уязвимыми при любой антропогенной нагрузке [2].

На севере Европейской части России древостои с участием лиственницы имеют высокую природоохранную ценность. Лиственница способствует повышению продуктивности древостоев, однако ее доля в составе лесов неуклонно падает не только в Архангельской области, но также в некоторых районах Восточной Сибири [3]. За последние 300 лет доля лиственницы на лесопокрытой площади региона снизилась с 5% в 1960 г. до 0,24% в 2008 г. [4]. Это связано с интенсивными рубками, в первую очередь на нужды кораблестроения, в течение XVIII–XX вв. и значительным снижением количества пожаров, которые, уничтожая лесную подстилку, способствуют

прорастанию семян лиственницы и более успешному возобновлению породы.

На данный момент на территории Пинежского, Мезенского и Лешуконского районов сконцентрировано 95% всех лиственничников региона [4]. Высокопродуктивные древостои с преобладанием или высокой долей лиственницы в составе (III класс бонитета) тяготеют к близкому залеганию или выходу на дневную поверхность известняков, гипсов и доломитов, на которых формируются плодородные, хорошо дренированные почвы [5].

Цель данного исследования – выявить особенности динамики радиального прироста лиственницы, произрастающей в подзоне притундровых лесов Архангельской области.

Материалы и методы исследования

Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) – вид, наиболее характерный для Урала и Сибири, но по «карстовым коридорам» и «карстовым островам» он может проникать далеко на запад [6].

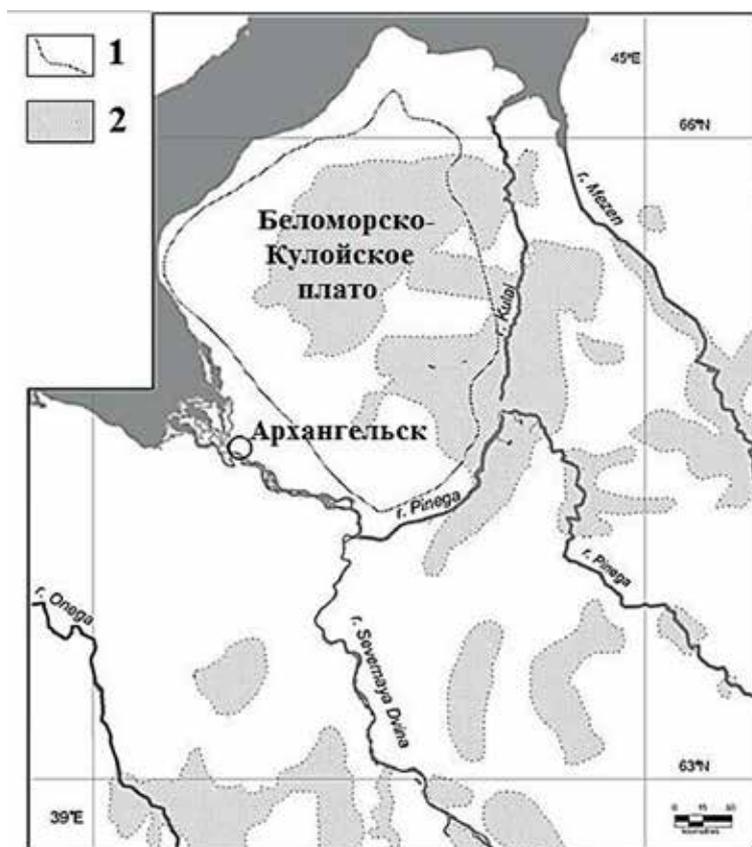


Рис. 1. Распространение лиственничных лесов в подзоне северной тайги Архангельской области, по [6]:
1 – граница Беломорско-Кулойского плато, 2 – леса с насаждениями лиственницы

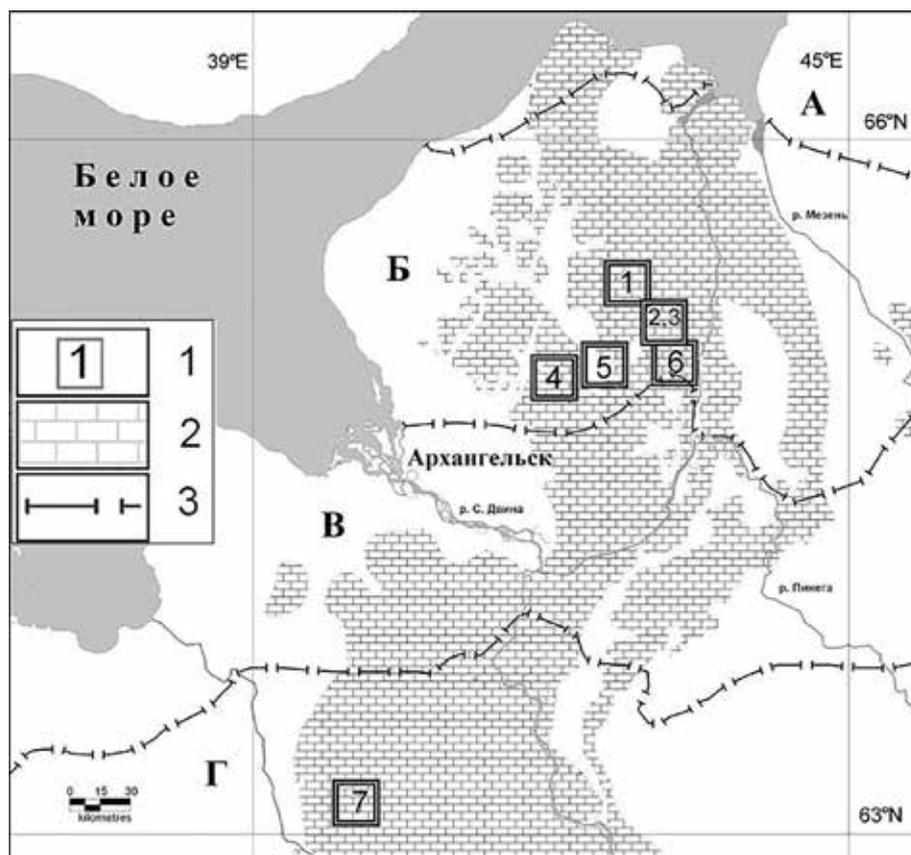


Рис. 2. Схема расположения пробных площадей:
 1 – номер пробной площади, 2 – полоса развития карстующихся пород, 3 – границы подзон:
 А – тундра, Б – притундровая тайга, В – северная тайга, Г – средняя тайга

Для территории исследования лиственничники продвигаются вплоть до Беломорско-Кулойского плато (рис. 1), для которого характерно развитие открытого карбонатного и сульфатного карста. Локальные изолированные карстовые впадины объединяются в протяженные вытянутые зоны, формирующиеся в процессе выщелачивания крупных эрозионных врезов. Такие особенности развития карстового процесса находят отражение в повышенных значениях индекса расчлененности рельефа и плотности бессточных впадин на цифровой модели рельефа [7].

Исследования проводились в двух северных районах Архангельской области (Мезенском и Пинежском) в естественных перестойных древостоях (более 200 лет) с преобладанием лиственницы, относящихся к подзоне притундровых лесов (рис. 2). Здесь заложено шесть временных пробных площадей (ПП). Седьмая ПП расположена в Плесецком районе (подзона средней тайги) в качестве фоновой.

На всех ПП выполнен комплекс лесоводственно-таксационных мероприятий и отобрано по 30 кернов древесины стволов на высоте 1,3 м возрастным буравом Huglof (Швеция). Измерения ширины годичного слоя древесины (ШГС) проводили с помощью прибора Lintab 6 и программного обеспечения TSAP-Win (версия 4.80) с точностью 0,01 мм. При построении графиков динамики радиального роста использовались средние значения за десятилетие. Статистическая обработка полученных данных (корреляция Пирсона) проводилась при помощи программного обеспечения Python версии 2.7.12, 2016, пакет SciPy версии 0.18.1, 2016.

Результаты исследования и их обсуждение

Климат региона умеренный. В зоне притундровых лесов среднегодовая температура составляет 0 °С, средняя температура июля 14,6 °С. Период с температурами выше 10 °С длится 75–85 дней, годовое количество осадков в среднем составляет 649 мм [8].

Таблица 1

Характеристика исследуемых древостоев

№ ПП	Состав древостоя	Группа возраста	Среднее		Полнота древостоя	Бонитет
			Диаметр, см	Высота, м		
1	6ЕЗЛ1Б	перестойные	55	21	0,6	IV
2	6ЕЗЛ1Б	перестойные	45	23,5	0,7	III
3	6ЕЗЛ1Б	перестойные	44	21	0,7	IV
4	6ЕЗЛ1Б	перестойные	48	23	0,6	III
5	5С4Л1Б	перестойные	45	24	0,6	IV
6	6ЕЗЛ1Б	перестойные	43	23	0,6	III
7	5ЛЗЕ2С	перестойные	40	25	0,6	III

В подзоне средней тайги более благоприятные климатические условия: среднегодовая температура 1,1 °С, средняя температура июля 17,3 °С, период с температурами выше 10 °С длится 88–108 дней, годовое количество осадков в среднем составляет 576 мм. Следует отметить, что притундровые леса района исследования расположены вблизи полярного круга, что обуславливает продолжительный световой день и высокое естественное освещение ночью в период с 13 мая по 30 июля.

Таксационная характеристика исследуемых древостоев представлена в табл. 1.

Средняя ширина годичного слоя (ШГС) в притундровых лиственничниках варьирует в пределах от 0,68 до 0,78 мм (табл. 2). Несколько выше ШГС у деревьев с ПП № 4, значение показателя приближается к фоновому (0,92 и 0,93 соответственно).

Таблица 2

Характеристика древесины лиственницы на пробных площадях

№ ПП	Ширина годичного слоя, мм
1	0,74±0,03
2	0,68±0,02
3	0,78±0,05
4	0,92±0,11
5	0,77±0,03
6	0,70±0,07
7	0,93±0,03

По данным ГСССД 69-84 [9] средние значения ШГС для спелых древостоев III класса бонитета севера Европейской части России составляют 0,95 мм. Исследования зарубежных коллег в притундровых лесах Архангельской области констатируют средние

значения ШГС порядка 1 мм у лиственничников 150-го возраста [10].

Ширина годичного слоя у лиственницы в исследуемых древостоях за первое десятилетие колеблется в пределах от 0,6 до 1,8 мм. Столь значительные различия связаны в первую очередь с происхождением самих древостоев. Насаждения, сформировавшиеся на гарях или вырубках, будут иметь большие значения радиального роста, чем насаждения, пройденные проходными или подневольными рубками. В целом для всех насаждений характерен спад радиального роста после 140–150 лет. В возрасте более 200 лет радиальный рост лиственницы колеблется в пределах 0,2–0,7 мм (рис. 3).

ШГС у лиственничников северной тайги в средней Сибири колеблется в пределах от 0,77 до 1,9 мм в зависимости от лесорастительных условий [11]. В условиях Центральной Азии (Хангай, Монголия) древостой в возрасте 250–300 лет имеют ШГС от 0,54 до 0,85 мм [12], а на полуострове Таймыр (на северной границе леса) в возрасте 60 лет – 0,9 мм [13]. Вышеперечисленные факты говорят о том, что исследуемые лиственничные древостой достаточно продуктивны.

При выявлении различий динамики радиального роста отмечены следующие закономерности. Исследуемые древостой имеют достоверные различия по динамике радиального роста, сведения приведены в табл. 3. Наибольшие различия выявлены между значениями у притундровых лиственничников с ПП № 6 и ПП № 4. Фоновая ПП № 7 имеет достоверные различия с ПП № 3. Полученные данные говорят о том, что некоторые притундровые лиственничники не уступают в динамике роста древостоем из подзоны средней тайги.

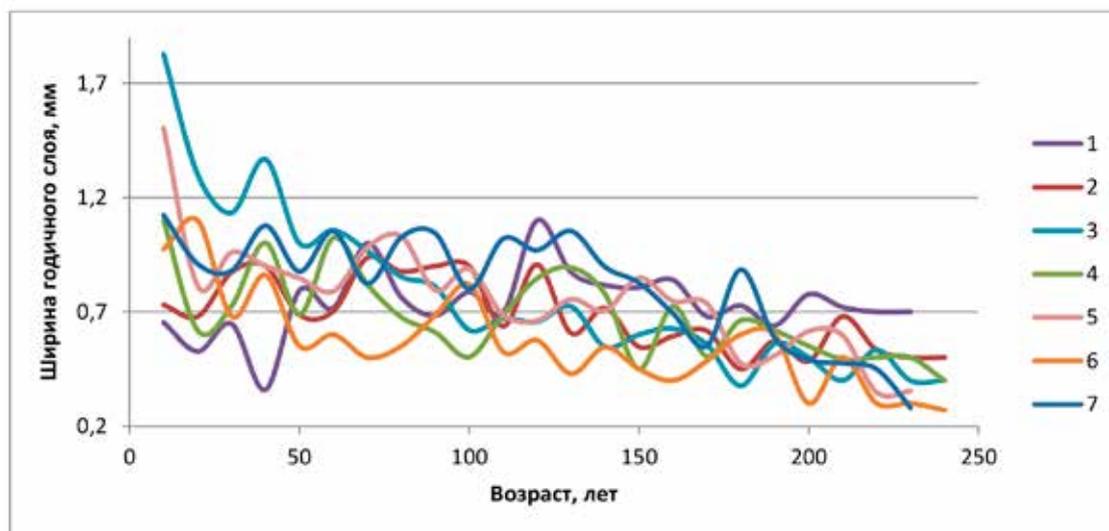


Рис. 3. Динамика ширины годичного слоя лиственницы (цифры – номера пробных площадей)

Таблица 3

Достоверность различий динамики радиального роста исследуемых древостоев

№ ПП	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1,6	0,9	1,5	0,7	5,5	1,6
2		0	2,3	0,1	2,2	3,5	2,6
3			0	2	0,7	2,8	0,9
4				0	2	2,9	2,7
5					0	0,7	1,1
6						0	5
7							0

Примечание: табличный критерий Стьюдента при вероятности 95% равен 2,0. То есть при значении более 2,0 различия достоверны в 95% случаев.

Лиственница светолюбива, и ее фотосинтетическая продуктивность почти в 2 раза выше, чем у ели. Однако это утверждение считается верным при оптимальной увлажненности и плодородии почвы [14]. Низкая влажность воздуха является лимитирующим фактором скорости фотосинтеза [15]. Но в условиях Севера (подзона северной тайги, Республика Коми) при избыточном почвенном увлажнении, дефицит атмосферной влаги не снижает скорость фотосинтеза и зависит от количества ясных и теплых дней [16].

В условиях типичной северной тайги крайне неблагоприятные эдафические условия. Низкие температуры воздуха и избыточные осадки способствуют медленному разложению растительных остатков и быстрому вымыванию в нижележащие

горизонты. В результате чего в верхнем горизонте почвы накапливаются слаборазложившиеся растительные остатки, которые насыщают корнеобитаемый слой агрессивными растворимыми фульво- и гуминовыми кислотами. Подвижные формы кальция, магния, калия и натрия, поступающие в почву в результате разложения растительных остатков, легко вымываются в нижележащие горизонты. Их не хватает для нейтрализации органических кислот, что приводит к закислению почвы (рН около 4), снижению ее плодородия и, как следствие, продуктивности древостоев [17].

Заключение

Высокая динамика радиального роста у лиственницы в подзоне притундровых лесов Архангельской области обусловле-

на тремя факторами. Во-первых, наличие карстующихся пород, которые повышают почвенное плодородие и хорошо дренированы; во-вторых, длительный период белых ночей, обуславливающий высокую инсоляцию; в-третьих, высокая фотосинтетическая продуктивность хвои лиственницы. Эти факторы позволяют лиственнице на северной границе лесной зоны формировать высокопродуктивные древостои III и даже II классов бонитета.

Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.

Список литературы

1. Цветков В.Ф., Бровина А.Н. Проблемы ведения лесного хозяйства в Европейской части Российской Субарктики // Лесоведение. 2017. № 4. С. 284–292. DOI: 10.7868/S0024114817040040.
2. Цветков В.Ф. Камо грядеши? Некоторые вопросы лесоведения и лесоводства на Европейском Севере. Архангельск: АГТУ, 2000. 256 с.
3. Рунова Е.М., Серков Д.В., Гарус И.А. Некоторые особенности роста и развития смешанных сосново-лиственничных насаждений Иркутской области // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 49–54.
4. Торхов С.В., Трубин Д.В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы регионального рабочего совещания (Архангельск, 1–3 июля 1998 г.). Архангельск: АГТУ, 2002. С. 5–22.
5. Горячкин С.В., Глазов П.М., Кривопапов А.В., Мерзлый В.Н., Пучнина Л.В., Титова А.А., Туюкина Т.Ю. Роль литолого-геоморфологических факторов в продуктивности экосистем северной тайги Архангельской области // Известия РАН. Серия географическая, 2010. № 6. С. 96–99.
6. Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G., Staritsyn V.V., Polyakova E.V., Mineev A.L. Effects of geo-ecological conditions on larch wood variations in the North European part of Russia (Arkhangelsk region). Journal of Forest Science. 2017. Vol. 63 (4). P. 192–197. DOI: 10.17221/102/2015-JFS.
7. Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б., Беленович Т.Я. Применение глобальной цифровой модели рельефа ASTER GDEM v2 для выделения районов возможной активизации карстовых процессов на территории Архангельской области // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2021. Т. 163. Кн. 2. С. 302–319. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.302-319.
8. Семенов Б.А., Торхов С.В., Цветков В.Ф. Притундровая зона лесов Архангельской области: методические указания. Архангельск: Пресс-принт, 2003. 60 с.
9. ГСССД 69-84. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов. М.: Издательство стандартов, 1985. 32 с.
10. Karlman L., Morling T., Martinsson O. Wood density, annual ring width and latewood content in larch and scots pine. Eurasian J. For. Res. 2005. Vol. 8. No. 2. P. 91–96.
11. Табакова М.А., Кирдянов А.В., Брюханова М.В., Прокушкин А.С. Зависимость радиального прироста лиственницы Гмелина на севере Средней Сибири от локальных условий произрастания // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология, 2011. Т. 4. № 4. С. 314–324.
12. Слемнев Н.Н., Шереметьев С.Н., Гамалей Ю.В., Степанова А.В., Чеботарева К.Е., Цогт З., Цоож Ш., Ярмишко В.Т. Изменчивость радиальных приростов деревьев и кустарников Монголии в связи с динамикой климата // Ботанический журнал. 2012. Т. 97. № 7. С. 852–871.
13. Фахрутдинова В.В., Бенькова В.Е., Шашкин А.В. Изменчивость структуры годичных колец у лиственницы Гмелина на Северной границе леса (полуостров Таймыр) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 62–69. DOI: 10.15372/SJFS20170207.
14. Загирова С.В. Современные представления о структуре и функционировании фотосинтетического аппарата у хвойных растений на Севере // Вестник института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2009. № 6. С. 2–5.
15. Загирова С.В. Структура, содержание пигментов и фотосинтез хвои лиственницы сибирской на Северном и Приполярном Урале // Лесоведение. 2014. № 3. С. 3–10.
16. Загирова С.В. Структура хвои и фотосинтез лиственницы на Крайнем Севере // Вестник института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2007. № 5 (115). С. 7–9.
17. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.

УДК 631.582:631.87

ЗАСОРЕННОСТЬ ПОСЕВОВ В КОРОТКОРОТАЦИОННЫХ СЕВООБОРОТАХ С ШИРОКИМ АССОРТИМЕНТОМ КУЛЬТУР

Плаксина В.С., Асташов А.А., Пронудин К.А.

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», Саратов, e-mail: v.plaksina88@yandex.ru

Впервые в условиях Нижнего Поволжья в системе органического земледелия проведена оценка засоренности посевов в короткоротационных севооборотах с широким ассортиментом культур. Выявлена возможность возделывания сельскохозяйственных культур в короткоротационных севооборотах, позволяющих получать продукцию, исключая применение гербицидов и без нарушения экологического баланса в природе. Исследования проводились в 2020-2022 годах на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». В изучении находились короткоротационные севообороты с широким ассортиментом культур (трех-, четырех- и пятипольный). Экспериментальная работа проводилась в соответствии с методическими рекомендациями. Характер и степень засоренности посевов устанавливаются визуальным и количественным методами. При визуальном методе учета использовали шкалу Мальцева. Статистическая обработка полученных результатов проводилась двухфакторным дисперсионным анализом по Б.А. Доспехову. В ходе проведения исследований установлено, что преобладающая часть сорняков были однолетними, количество сорняков составляло не более 11,73 штуки на квадратном метре, из них многолетние сорняки занимали не более 12,75%. В среднем за 3 года наблюдений в севооборотах не выявлено засоренности выше 2 баллов по Мальцеву, что соответствует средней засоренности посевов. В ходе множественных сравнений частных средних выявлено, что в трехпольном севообороте преобладает однолетний однодольный тип засоренности (45,10%), в четырехпольном севообороте – однолетний двудольный тип засоренности (47,99%), в пятипольном – однолетний однодольный тип засоренности (46,97%). Многолетний сорный компонент занимал от 11,16% до 12,75%.

Ключевые слова: засоренность, севооборот, сидераты, занятый пар, органическое земледелие, экономический порог вредности

CONTAMINATION OF CROPS IN SHORT-ROTATION CROP ROTATIONS WITH A WIDE RANGE OF CROPS

Plaksina V.S., Astashov A.A., Pronudin K.A.

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, e-mail: v.plaksina88@yandex.ru

For the first time in the conditions of the Lower Volga region in the system of organic farming, an assessment of the contamination of crops in short-rotation crop rotations with a wide range of crops was carried out. The possibility of cultivating agricultural crops in short-rotation crop rotations allowing the production of products, excluding the use of herbicides and without disturbing the ecological balance in nature. The research was carried out in 2020-2022 at the experimental field of RosNIISK "Rossorgo". The study included short-rotation crop rotations with a wide range of crops (three-, four- and five-field). The experimental work was carried out in accordance with the methodological recommendations. The nature and degree of contamination of crops are established by visual and quantitative methods. The visual accounting method used the Maltsev scale. Statistical processing of the obtained results was carried out by two-factor analysis of variance according to B.A. Dospikhov. During the research, it was found that the predominant part of the weeds were annual, the number of weeds was no more than 11.73 pieces per square meter, of which perennial weeds occupied no more than 12.75%. On average, over 3 years of observations in crop rotations, there was no contamination higher than 2 points according to Maltsev, which corresponds to the average contamination of crops. In the course of multiple comparisons of private averages, it was revealed that in the three-field crop rotation, the annual monocotyledonous type of weeding prevails (45.10%), in the four-field crop rotation – the annual dicotyledonous type of weeding (47.99%), in the five-field – the annual monocotyledonous type of weeding (46.97%). The long-term litter component occupied from 11.16% to 12.75%.

Keywords: littering, crop rotation, siderates, occupied steam, organic farming, economic threshold of harmfulness

Наибольший вред посевам причиняют сорные растения, так как сорняки перехватывают у культуры питательные вещества, влагу и свет, они отличаются высокой плодovitостью, что способствует их быстрому распространению [1]. Вредность сорняков приводит к снижению урожая или ухудшению качества продукции [2]. Длительное применение гербицидов в свою очередь резко снижает образование в почве доступных форм азота, фосфора и калия и ухудшает качество почвы в целом

[3; 4]. В системе органического земледелия севооборот остается наиболее доступным и эффективным средством регулирования численности сорняков и вредителей [5-7]. При полном отказе от применения пестицидов возрастает количество полезных насекомых в почве. При этом по мере удаления культур от поля черного пара засоренность посевов возрастает, и возникает настоятельная необходимость усиления мер борьбы с сорняками. Диверсификация культур обеспечивает агрономические преимущества,

такие как регулирование вредителей, болезней и сорняков [8]. К биологическим методам борьбы с сорняками относится научно обоснованное чередование культур ввиду того, что особенности ведения севооборота и применения таких агроприемов, как нормы высева, сроки посева и уборки культур, оказывают непосредственное влияние на конкурентоспособность растений, а также создаются условия эффективного уничтожения однолетних и подавления многолетних сорняков [9].

В правильно выстроенных севооборотах с чередованием наиболее урожайных сортов с разными сроками сева и уборки и разной технологией возделывания создаются условия эффективного уничтожения однолетних и подавления многолетних сорняков [10]. Интенсивность регулирующего воздействия различных сельскохозяйственных культур на сорный компонент агрофитоценоза определяется, главным образом, двумя факторами: способностью самой культуры подавлять сорные растения и особенностями технологии ее возделывания [11]. Пропашные культуры обеспечивают снижение засоренности в зернопаропропашных севооборотах [12]. В том числе успешно подавляют сорняки быстрорастущие высокостебельные культуры, активно формирующие мощную вегетативную массу [13]. Введение в севообороты сидератов способствует уменьшению запасов семян сорняков в почве. При разложении в почве зеленой массы сидерата снижается жизнеспособность находящихся в ней семян сорняков [14].

Цель исследования – изучить видовой состав сорных растений в посевах, выявить влияние культур севооборотов на засоренность посевов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2020-2022 годах на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», расположенном в южной правобережной микрозоне Саратовской области РФ. Зона засушливой черноземной степи Поволжья отличается засушливостью и резкой континентальностью. Годовая сумма атмосферных осадков составляет 420-480 мм. За вегетационный период выпадает 200-250 мм осадков. Сумма активных температур выше +10°C составляет 2400-2800°C. Среднегодовая температура воздуха в черноземной степи 4,1-5,2°C. За период исследований гидротермический коэффициент составил: 2020 год – 0,79; 2021 год – 0,84; 2022 год – 0,80.

Почва опытного поля – чернозем южный среднемошный малогумусный тяжелоуглинистый. Пахотный слой (на момент закладки опыта) характеризовался следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) составило 4,85%, гидролизующего азота (по Тюрину-Кононовой) – 0,05%, подвижного фосфора (по Мачигину) – 4,53 мг/100 г почвы, обменного калия (по Мачигину) – 38 мг на 100 г почвы, рН солевой вытяжки – 6,6.

В изучении находились зернопаропропашные севообороты:

1) *трехпольный*: пар – озимая пшеница – сборное поле (яровая пшеница, яровой ячмень, кукуруза, подсолнечник);

2) *четырёхпольный*: пар – озимая пшеница – соя – сборное поле (фацелия, пайза, зерновое сорго, суданская трава);

3) *пятипольный*: пар – озимая пшеница – сборное поле (фацелия, пайза, зерновое сорго, суданская трава) – нут – сборное поле (яровая пшеница, яровой ячмень, кукуруза, зерновое сорго).

Агротехника в полевых опытах – общепринятая для зоны. Осенью проводилось однократное лущение и глубокая вспашка на 25-27 см под все культуры. В зимний период проводилось двукратное снегозадержание. Весной – закрытие влаги зубowymi боронами в два следа, предпосевная культивация под ранние зерновые и две культивации под поздние культуры. Посев озимых и ранних яровых культур проводился в оптимальные сроки сплошным рядовым способом с использованием сеялок СЗ-3,6; посев пропашных культур – широкорядным способом с междурядьями 70 см сеялкой СО-4,2. Летом проводились междурядные обработки на пропашных культурах. Обработка черного пара состояла из 5 культиваций на глубину 10-12 см.

Экспериментальная работа проводилась в соответствии с методическими рекомендациями. Повторность в опытах трехкратная. Размещение делянок систематическое. Общая площадь опыта 2,66 га, учетная площадь – 100 м². Характер и степень засоренности посевов устанавливаются визуальным и количественным методами [15-17]. При визуальном методе учета использовали шкалу А.Г. Мальцева: 1 балл – слабая засоренность, в посевах единичные сорняки (до 5% от культурных растений); 2 балла – средняя засоренность сорняков (5-20% от культурных растений); 3 балла – сильная засоренность, сорняки встречаются в посевах обильно, но не преобладают над

культурными растениями; 4 балла – очень сильная засоренность, сорные растения преобладают над культурными растениями.

Основные результаты исследований подвергали статистической обработке методом двухфакторного дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием программы AGROS версии 2.09.

Результаты исследования и их обсуждение

В текущем году были соблюдены рекомендованные сроки посева всех культур, также проведены все агротехнологические мероприятия по уходу за посевами в течение вегетации. В ходе изучения проводилось сплошное обследование посевов сельскохозяйственных культур в период массового появления основных видов сорняков. Был отмечен незначительный прирост сорной растительности в сравнении с прошлыми годами, что связано с высоким уровнем осадков в конце весны – начале лета. Однако благодаря проведению своевременных агротехнических мероприятий удалось остановить прирост сорного компонента, прежде чем показатели превысили

экономический порог вредоносности. Преобладающая часть сорняков были однолетними: марь белая (*Chenopodium Album L.*), щирица жминдовидная (*Amarantus blitoides L.*), щетинник зеленый (*Setaria viridis L. Beauv.*), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*), щирица обыкновенная (*Amaranthus retroflexus*), горец вьюнковый (*Poligonium convolvules L.*). Многолетние сорняки представлены осотом розовым (*Cirsium arvense L.*), вьюнком полевым (*Convolvulus arvensis L.*), молоканом татарским (*Milgedium tataricum Cass.*). Среднее количество сорняков на квадратном метре не превышало 11,73 штуки, из них многолетние сорняки занимали не более 12,75%.

В трехпольном севообороте за три года наблюдений максимальное количество сорняков отмечено на посевах яровой пшеницы и ячменя, общая засоренность на этих культурах составила 11,56-11,77 шт./м², из них многолетних сорняков – 1,93-2,07 шт./м², при ЭПВ – 2,2 шт./м². Низкая засоренность отмечалась на полях, занятых пропашными культурами и в чистом пару (табл. 1). По всему севообороту не выявлено засоренности выше 2 баллов по А.Г. Мальцеву.

Таблица 1

Засоренность посевов в трехпольном севообороте (шт./м²), 2020-2022 гг.

№ поля	Культура (фактор А)	Сорняки (фактор В)			Среднее по фактору А	Общая засоренность, шт./м ²
		однолетние однодольные	однолетние двудольные	многолетние		
1	Пар черный	1,50	1,57	0,50	1,19a	3,57
	Пар занятый	4,17	4,13	1,50	3,27b	9,80
2	Озимая пшеница по черному пару	2,90	5,57	0,77	3,08b	9,24
	Озимая пшеница по занятому пару	3,87	6,33	1,07	3,76b	11,27
3	Яровая пшеница	5,93	3,77	2,07	3,92b	11,77
	Яровой ячмень	5,70	3,93	1,93	3,86b	11,56
	Кукуруза	4,43	3,23	0,93	2,87b	8,59
	Подсолнечник	5,70	3,00	0,93	3,21b	9,63
Среднее по фактору В		4,28b	3,94b	1,21a		
Ошибка опыта (p), %				22,90		
F _{0,05} (А)				4,476*		
F _{0,05} (В)				43,605*		
F _{0,05} (АВ)				2,489*		
НСР _{0,05} (А)				1,18		
НСР _{0,05} (В)				0,723		
НСР _{0,05} (АВ)				2,044		

Примечание: данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана при p≤0,05.

Таблица 2

Засоренность посевов в четырехпольном севообороте (шт./м²), 2020-2022 гг.

№ поля	Культура (фактор А)	Сорняки (фактор В)			Среднее по фактору А	Общая засоренность, шт./м ²
		однолетние однодольные	однолетние двудольные	многолетние		
1	Пар черный	1,70	1,43	0,37	1,17a	3,50
2	Озимая пшеница	3,10	6,40	0,77	3,42c	10,27
3	Соя	2,10	4,13	1,80	2,68bc	8,03
4	Фацелия	3,13	5,27	1,60	3,33bc	10,00
	Пайза	3,00	2,67	0,73	2,13abc	6,40
	Суданская трава	2,57	2,93	0,50	2,00ab	6,00
	Зерновое сорго	5,20	2,23	0,63	2,69bc	8,06
Среднее по фактору В		2,97b	3,58b	0,91a		
Ошибка опыта (р), %					29,32	
F _{0,05} (А)					3,543*	
F _{0,05} (В)					25,663*	
F _{0,05} (АВ)					2,639*	
НСР _{0,05} (А)					1,204	
НСР _{0,05} (В)					0,788	
НСР _{0,05} (АВ)					2,086	

Примечание: данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана при $p \leq 0,05$.

В четырехпольном севообороте общая засоренность посевов составила 3,50-10,27 шт./м², при этом отмечено, что количество многолетних сорняков несколько ниже (0,37-1,80 шт./м²), чем в трехпольном севообороте (табл. 2). В нем отсутствие ранних яровых культур благоприятно повлияло на агроэкоценоз, так как основной вред сельскохозяйственным культурам наносит именно многолетняя сорная растительность с глубокопроникающей корневой системой. Максимальная засоренность однолетними однодольными сорняками выявлена на посевах зернового сорго – 5,20 шт./м², на остальных полях севооборота количество этого вида сорняков составило 1,70-3,13 шт./м². Количество однолетних двудольных сорняков в четырехпольном севообороте составило от 1,43 шт. на паровом поле до 6,40 шт. на озимой пшенице. Максимальное количество многолетних сорняков отмечено на посевах сои – 1,80 шт./м² и фацелии – 1,60 шт./м² при ЭПВ 3,00 шт./м². В среднем за 3 года наблюдений в севообороте не выявлено засоренности выше 2 баллов по А.Г. Мальцеву, что соответствует средней засоренности посевов.

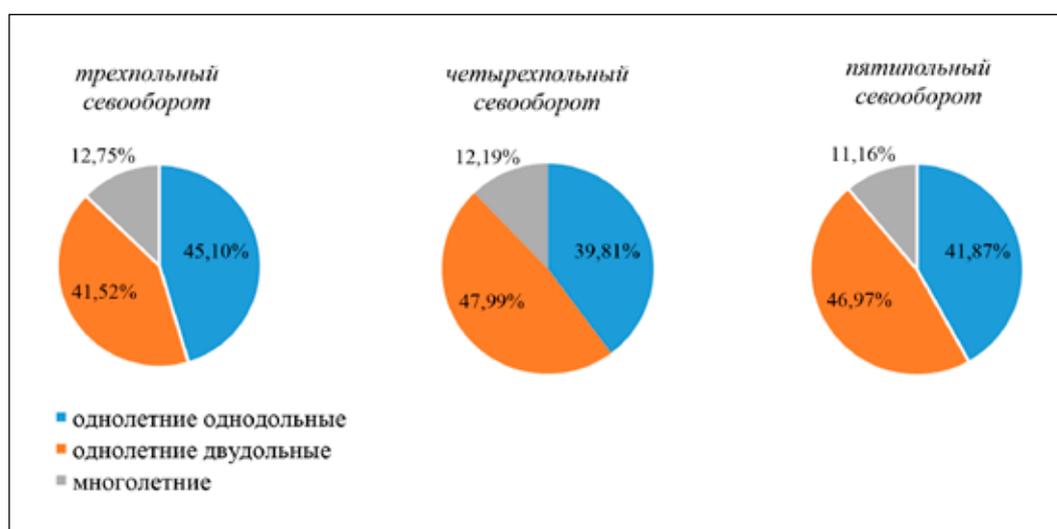
В пятипольном севообороте общая засоренность посевов в среднем за 3 года составила 3,77-11,73 шт./м², в том числе многолетних сорняков 0,92 шт./м² (табл. 3). Максимальное количество однолетних однодольных сорняков отмечено на посевах ранних яровых культур (6,07-6,17 шт./м²), минимальное – на черном пару (1,50 шт./м²) и на озимой пшенице по черному пару (1,93 шт./м²). Наибольшее количество однолетних двудольных сорняков – на посевах ранних яровых культур (3,63 шт./м²), наименьшее – на посевах озимой пшеницы по черному пару (2,00 шт./м²) и зернового сорго на третьем и пятом поле севооборота (2,03-2,27 шт./м²). Засоренность многолетними сорняками на всех полях севооборота значительно меньше показателей ЭПВ и составляет 0,50-0,97 шт./м². Однако на посевах ранних яровых культур на пятом поле количество многолетней сорной растительности – 1,87-2,03 шт./м², при этом ЭПВ для яровой пшеницы и ячменя не достигнут. В пятипольном севообороте засоренность также не превышает 2 баллов по А.Г. Мальцеву, что соответствует средней засоренности посевов.

Таблица 3

Засоренность посевов в пятипольном севообороте (шт./м²), 2020-2022 гг.

№ поля	Культура (фактор А)	Сорняки (фактор В)			Среднее по фактору А	Общая засоренность, шт./м ²
		однолетние однодольные	однолетние двудольные	многолетние		
1	Пар черный	1,50	1,77	0,50	1,26a	3,77
	Пар сидеральный	3,10	3,07	0,73	2,30ab	6,90
2	Озимая пшеница по черному пару	1,93	2,00	0,53	3,30def	4,46
	Озимая пшеница по сидеральному пару	3,63	3,37	0,55	2,51b-f	7,55
3	Зерновое сорго	5,30	2,03	0,63	2,66b-f	7,96
	Суданская трава	3,07	3,03	0,60	2,23a-d	6,70
	Пайза	4,07	2,17	0,63	2,29a-d	6,87
	Фацелия	2,93	5,37	0,77	3,02c-f	9,07
4	Нут	2,33	2,97	0,77	2,02abc	6,07
5	Яровая пшеница	6,17	3,63	1,87	3,89f	11,67
	Яровой ячмень	6,07	3,63	2,03	3,91f	11,73
	Кукуруза	5,03	3,13	0,93	3,03c-f	9,09
	Зерновое сорго	5,63	2,27	0,97	2,96c-f	8,87
Среднее по фактору В		3,87a	3,45b	0,92a		
Ошибка опыта (р), %					24,22	
F _{0,05} (А)					4,973*	
F _{0,05} (В)					74,984*	
F _{0,05} (АВ)					3,354*	
НСР _{0,05} (А)					1,081	
НСР _{0,05} (В)					0,519	
НСР _{0,05} (АВ)					1,872	

Примечание: данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана при $p \leq 0,05$.



Структура и соотношение видов сорняков по экологобиологическим группам в севооборотах

В ходе множественных сравнений частных средних выявлено, что в трехпольном севообороте преобладает однолетний однодольный тип засоренности (45,10%), в четырехпольном севообороте – однолетний двудольный тип засоренности (47,99%), в пятипольном – однолетний однодольный тип засоренности (46,97%). Многолетний сорный компонент занимал от 11,16% до 12,75% (рисунок).

Заключение

Оценка засоренности экспериментальных севооборотов показала, что преобладающая часть сорняков были однолетними, количество сорняков составляло не более 11,73 штуки на квадратном метре, из них многолетние сорняки занимали не более 12,75%. В среднем за 3 года наблюдений в севооборотах не выявлено засоренности выше 2 баллов по Мальцеву, что соответствует средней засоренности посевов. Данные по засоренности посевов, полученные за 3 года, говорят о том, что на первоначальном этапе освоения различных видов севооборотов их влияние на засоренность посевов ещё не стабилизировалось. На данном этапе исследований уже можно делать выводы о возможности возделывания сельскохозяйственных культур в короткоротационных севооборотах, позволяющих получение продукции без применения гербицидов и нарушения экологического баланса в природе.

Список источников

1. Беленков А.И., Плещачев Ю.Н., Николаев В.А. и др. Земледелие. М., 2015. 302 с.
2. Замятин С.А., Ефимова А.Ю. Мониторинг засоренности полевых севооборотов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017. № 1 (9). С. 33-37.
3. Замятин С.А., Максимов В.А., Бариева Н.Н. Действие гербицидов и биопрепаратов на засоренность посевов и урожайность ячменя и пшеницы // Аграрная наука. 2015. № 2. С. 15-18.
4. Николаева Г.Н. Последствия длительного применения гербицидов в полевых севооборотах. Земледелие. 1993. № 9. С. 21-23.
5. Дудкин И.В., Дудкина Т.А. Влияние севооборота на засоренность посевов // Земледелие. 2013. № 8. С. 40-42.
6. Черкашин В.Н. Севооборот как основа органического земледелия при выращивании экологически чистой продукции растениеводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 28-30.
7. Дридигер В.К., Стукалов Р.С., Гаджиумаров Р.Г., Вайцеховская С.С. Влияние севооборота на эффективность использования пашни при возделывании полевых культур без обработки почвы // Земледелие. 2019. № 6. С. 28-32.
8. Далисова Н.А., Степанова Э.В. Диверсификация сельскохозяйственного производства на основе ресурсосбережения // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 6. С. 58-68.
9. Черкашин В.Н. Севооборот как основа органического земледелия при выращивании экологически чистой продукции растениеводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 28-30.
10. Плаксина В.С., Асташов А.Н. Оценка засоренности экспериментальных севооборотов // Наука, технологии, кадры – основы достижений прорывных результатов в АПК: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Выпуск XV в двух частях. Ч. 2. Казань. 2021. С. 62-67.
11. Кафтан Ю.В. Влияние предшественников и минеральных удобрений на засоренность яровой мягкой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского аграрного университета. 2020. № 3(83). С. 34-38.
12. Курдюкова О.Н. Засоренность посевов и продуктивность короткоротационных севооборотов степной зоны // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7 (184). С. 69-76.
13. Борисова Е.Е. Значение севооборота и предшественников в снижении засоренности сельскохозяйственных культур // Вестник НГИЭИ. 2014. № 6 (37). С. 13-21.
14. Черкашин В.Н. Макет севооборота для биологической фермы // Интегрированная защита сельскохозяйственных культур и фитосанитарный мониторинг в современном земледелии: матер. Всерос. науч.-практич. конф. посвящ. 40-летию факультета защиты растений. Ставрополь. 2004. С. 102-107.
15. Исаев В. В. Прогноз и картографирование сорняков. М.: Агропромиздат, 1990. 192 с.
16. Зубков А.В. Агробиотенотическая фитосанитарная диагностика. СПб., 1995. 385 с.
17. Инструкция по определению засоренности полей, многолетних насаждений, культурных сенокосов и пастбищ / Всесоюзное производственно-научное объединение по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 1986. 15 с.

СТАТЬИ

УДК 630*5:528:502(470.631)

**МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
И ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ
ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ
ТЕБЕРДИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА**

¹Атанов И.В., ²Динаев А.А., ¹Шутко А.П., ¹Зеленская Т.Г., ¹Хасай Н.Ю.

¹ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь;

²ФГБУ «Тебердинский национальный парк», Теберда, e-mail: atanovivan@mail.ru, tgpbz@mail.ru

Тебердинский национальный парк – особо охраняемая природная территория федерального значения, биосферный резерват ЮНЕСКО, который включен во Всемирную сеть биосферных резерватов. В 2014 г. на территории Тебердинского национального парка впервые было отмечено очаговое усыхание ели восточной, которое сопровождалось высоким уровнем фауности древостоя, центральной гнилью ствола (распространенность 42%) и высоким уровнем заселения насекомыми-вредителями. В результате мониторинга на предмет выявления основной причины, вызывающей усыхание ели восточной и пихты кавказской с последующим ее отмиранием в лесных массивах Тебердинского национального парка, получена подробная картина происходящих негативных процессов антропогенного и природного характера. Установлено, что за последние годы значительно увеличилась рекреационная нагрузка объекта (ежегодная посещаемость составляет около 500 000 чел.), которая, соответственно, сопровождается увеличением потока автотранспорта, источника выбросов и насыщения воздушного пространства химическими реагентами и взвешенными частицами. Более того, при имеющихся место климатических изменениях (повышение среднегодовой температуры воздуха в сочетании с избыточным количеством осадков) возникают предпосылки для развития бактериальных инфекций, а также максимальной активизации жизнедеятельности, увеличения динамики и плотности популяции не причиняющего ранее вреда короледа-типографа, его появления там, где он ранее отсутствовал, и интенсивного размножения. В силу целевой задачи национального парка по сохранению биологического разнообразия и поддержанию в естественном состоянии охраняемых природных комплексов и объектов, невмешательство в развитие естественных процессов природных комплексов в случае чрезвычайной фитосанитарной ситуации, сложившейся на сегодняшний день, создает дополнительные риски и угрозу существования темнохвойным лесным массивам Тебердинского национального парка, которые требуют незамедлительного разрешения путем применения комплекса мероприятий экологического и фитосанитарного характера.

Ключевые слова: Тебердинский национальный парк, темнохвойные лесные массивы, усыхание, антропогенная нагрузка, болезни и вредители

**MONITORING OF THE ECOLOGICAL AND PHYTOSANITARY STATUS
OF DARK CONIFEROUS FORESTS OF THE TEBERDA NATIONAL PARK**

¹Atanov I.V., ²Dinaev A.A., ¹Shutko A.P., ¹Zelenskaya T.G., ¹Khasay N.Yu.

¹Stavropol State Agrarian University, Stavropol;

²Teberda National Park, Teberda, e-mail: atanovivan@mail.ru, tgpbz@mail.ru

Teberda National Park is a specially protected natural area of federal importance, a UNESCO biosphere reserve, which is included in the World Network of Biosphere Reserves. In 2014, in the territory of the Teberda National Park for the first time, there was a focal drying out of eastern spruce, which was accompanied by a high level of stand fawning, central trunk rot (prevalence 42%), and a high level of infestation by insect pests. As a result of monitoring for identification of the main cause causing the desiccation of Oriental spruce and Caucasian fir and its subsequent die-off in the forest areas of the Teberda National Park, a detailed picture of the negative processes of anthropogenic and natural nature has been obtained. It has been established that the recreational load of the site has increased significantly in recent years (annual attendance is about 500,000 people), which, accordingly, is accompanied by an increase in the flow of vehicles as a source of emissions and saturation of the air space with chemical reagents and suspended particles. Moreover, with the climatic changes taking place (increased average annual air temperature combined with excessive precipitation), there are prerequisites for the development of bacterial infections, as well as maximum activation of life activity, increased dynamics, and population density of the previously harmless bark beetle, its appearance where it was not present before, and intensive reproduction. Due to the national park's target of conserving biodiversity and maintaining protected natural complexes and sites in their natural state, failure to intervene in the natural processes of natural complexes in the event of a phytosanitary emergency today creates additional risks and threats to the existence of dark coniferous forests in the Teberda National Park, which require immediate resolution through the application of a set of ecological and phytosanitary.

Keywords: Teberda National Park, dark coniferous forests, desiccation, anthropogenic pressure, diseases and pests

Тебердинский национальный парк – особо охраняемая природная территория федерального значения. В 1994 г. за уникальную сохранность природных комплексов он получил Диплом Совета Европы I степе-

ни. С 1997 г. парк имеет статус биосферного резервата ЮНЕСКО, который включен во Всемирную сеть биосферных резерватов.

В январе 1935 г. решением Карачаевского облисполкома был создан Тебердин-

ский заповедник (ныне Тебердинский национальный парк) как заповедник местного значения для сохранения уникальных лесов Тебердинской долины. В марте 1936 г. было принято Постановление ВЦИК и Совета народных комиссаров РСФСР «Об образовании Тебердинского высокогорного акклиматизационного государственного полного заповедника», согласно которому на территории заповедника была запрещена любая хозяйственная деятельность, кроме использования пастбищ и курортного дела.

В 1950-х гг. заповедник неоднократно менял ведомственную принадлежность: Главное управление по заповедникам при Совете Министров СССР, Министерство сельского хозяйства СССР, Главное управление охотничьего хозяйства заповедников при Совете Министров РСФСР. В 1991 г. Тебердинский заповедник перешел в подчинение Государственному комитету Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкология России). С 2000 г. и по настоящее время находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России).

В августе 2021 г. Тебердинский заповедник был преобразован в Тебердинский национальный парк (Постановление Правительства Российской Федерации от 16 августа 2021 г. № 1350), который находится в управлении ФГБУ «Тебердинский национальный парк», располагающегося по адресу: 369210, Российская Федерация, Карача-

ево-Черкесская Республика, г. Теберда, пер. Бадукский, 1.

Тебердинский национальный парк раскинулся на северных склонах Большого Кавказа на территории Карачаевского, Зеленчукского и Урупского районов Карачаево-Черкесской Республики. Он делится на два кластерных участка общей площадью 112606,95 га. Тебердинский участок (73229,35 га) занимает верховья р. Теберда, Архызский участок (39377,60 га) располагается в долине р. Кызгыч – правого притока р. Большой Зеленчук (рис. 1, 2).

85% территории национального парка находится на высоте более 2000 м над уровнем моря. Гора Домбай-Ульген является самой высокой, ее вершина лежит на высоте 4047 м. Нижняя отметка находится в устье р. Джамагат на высоте 1260 м. Исследуемая территория насыщена различными скалами и осыпями, которые включают 38,4%, а также лесами – 31,7%, лугами – 20%, ледниками – 8,5% и небольшая часть водоемами – 0,7% территории национального парка.

На территории Тебердинского национального парка, в основном на высоте 2000 м над уровнем моря и выше, сформировано около 180 озер, глубина которых составляет 30–50 м. Большая часть из них возникла в результате таяния ледников 200–1000 лет назад, исключением является озеро Каракель в черте г. Теберда, образованное отступлением древнего Тебердинского ледника, дата его образования обозначена в разных источниках по-разному – примерно 9 тыс. лет назад.



Рис. 1. Географическое местоположение Тебердинского национального парка Карачаево-Черкесской Республики Российской Федерации

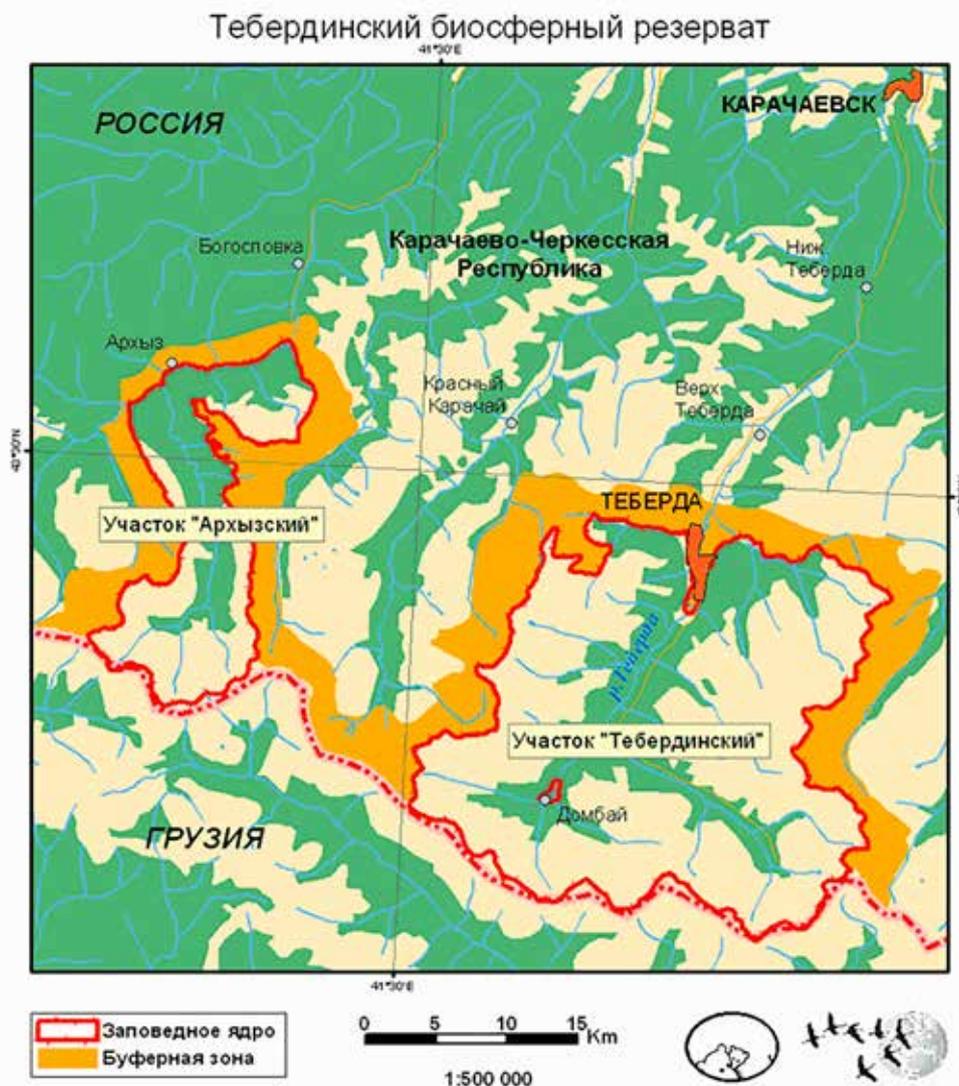


Рис. 2. Структура Тебердинского национального парка

Самые крупные реки на территории национального парка – это Теберда, Аманауз, Алибек, Домбай-Ельген (Домбай-Ульген), Гоначхир, Бадук, Уллу-Муруджу, а на Архызском участке – Кизгыч. Все они имеют снежное и ледниковое питание. Всего на территории парка насчитывается 109 ледников общей площадью более 70 км².

Почвы национального парка представлены следующими типами: горно-луговые, горно-лесные бурые, горно-лесные подзолистые, горно-долинные аллювиальные луговые, луговые кислые и горно-долинные аллювиальные лугово-болотные, характеризуются высокой скелетностью. Горные типы почв, в отличие от равнинных, имеют слабую мощность и степень выраженности почвенных процессов, на них достаточно

сильно развиты процессы эрозии, особенно в местах схода снежных лавин.

Флора национального парка отличается высоким биоразнообразием: 1207 видов высших растений, 470 видов мхов, более 300 видов лишайников, более 100 видов наземных водорослей, 500 видов грибов, из которых 272 вида являются эндемиками Кавказа. Фауна включает 46 видов млекопитающих, 225 видов птиц, 10 видов рептилий, 7 видов амфибий, 3 вида рыб и более 3 тыс. видов насекомых. Такие виды растений, как пион Виттмана, первоцвет почколистный, бересклет карликовый, тис ягодный и другие (всего 26 видов), а также 31 вид животных (зубр, кавказская выдра, сапсан, бородач, махаон, аполлон и др.) входят в Красную книгу России.

Горные леса распространены на сравнительно небольшой территории, что обуславливает широтно-полярное распределение лесной растительности [1]. В условиях горного рельефа лесные экосистемы на исследуемой территории формируют свой специфический, нехарактерный для равнинных лесов состав и структуру, что при постоянно увеличивающейся рекреационной нагрузке зачастую приводит к ослаблению природного иммунитета древесных растений.

Лесной пояс сменяют горно-луговые ландшафты с типичными субальпийскими и альпийскими лугами, а также высоко-травьями и пустошами, которые, в свою очередь, на высоте 3000–3500 м сменяются субнивальными ландшафтами. Наиболее высокогорные территории парка занимают ледники [2].

Лесные ландшафты Тебердинского национального парка выполняют ведущую рекреационную роль по сохранению природно-географического баланса. Однако Т.Г. Зеленская и др. отмечают, что за последние годы рекреационная нагрузка на лесные экосистемы значительно увеличилась [3]. Тебердинский национальный парк – наиболее посещаемый в системе особо охраняемых природных территорий России, так как внутри заповедника на отчужденной территории находится туристический комплекс п. Домбай, а на прилегающих территориях – курорты г. Теберда и п. Архыз [4]. Ежегодная посещаемость составляет около 500 000 чел., соответственно, увеличивается поток автотранспорта.

В свою очередь, горные леса, которые специфично весьма чувствительно реагируют на загрязнение воздуха, воздействие отрицательных температур, ветра, обильных осадков и активность фитофагов (например, жуков-короедов). При одновременном воздействии ряда факторов формируется комплексная угроза, в связи с чем насекомые в таких стрессовых условиях становятся особенно агрессивными к среде обитания – к древесным растениям. Как следствие, нарушение динамического равновесия приводит к изменению сукцессионных процессов и структуры леса, а качественные показатели устойчивости лесов приобретают отрицательную динамику. Одним из факторов ухудшения состояния горных лесов является выпадение кислотных дождей, осаждение тяжелых металлов и фитооксидантов, входящих в состав летучих органических веществ, содержащихся в парах бензина.

Такая высокая восприимчивость горных территорий к патогенным веществам объясняется избыточным количеством осадков, выпадающих в горах [5–7].

Целью исследований явилось совершенствование путей сохранения биоразнообразия Тебердинского национального парка на основе мониторинговой оценки экологического и фитосанитарного состояния темнохвойных лесных массивов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований явились темнохвойные лесные массивы Тебердинского национального парка. Предмет исследования – экологическое и фитосанитарное состояние лесных массивов в зависимости от антропогенного воздействия и природных факторов.

В качестве методов исследования применяли виды мониторинга как последовательного процесса сбора информации, ее систематизации, а также оценки и анализа объекта исследования для обоснования прогноза его развития с целью принятия качественных решений.

Основные принципы данной методики исследования – принципы целенаправленности, непрерывности, целостности, равносторонности и гласности добываемой с его помощью информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Весной 2014 г. на территории Тебердинского национального парка впервые было отмечено очаговое усыхание неустановленной этиологии ели восточной (рис. 3).

Первые очаги усыхания возникли в высокогорной части заповедника. Затем оно распространилось на более низкие лесные участки. В 2015–2016 гг. усыхание ели восточной продолжилось. Усыхание ели носило куртинный характер и занимало в основном участки в южной части национального парка [8].

Литературные источники свидетельствуют о проблеме усыхания еловых лесов в различных регионах Российской Федерации [9–11]. Факторы, способствующие массовому усыханию – это доминирование одной древесной породы, старовозрастность леса при очевидном преобладании одного возрастного поколения деревьев. Более того, в горах Кавказа усыханию, а также пожарам наиболее подвержены ельники на маломощных почвах крутых склонов.



Рис. 3. Пораженная ель в елово-пихтовых лесах Тебердинского национального парка

Сочетание вышеуказанных неблагоприятных факторов имеет место в Гоначхирском и Домбайском участковых лесничествах, наиболее пострадавших от усыхания. Здесь ельники расположены на крутых (30–40°) склонах; преобладает одно поколение ели возрастом 230–250 лет (примесь пихты в древостое небольшая); мощность почвы не более 10–20 см при сильной каменистости и многочисленных выходах скал. Часто причиной механического повреждения деревьев являются лавины, камнепады, снеголомы и ветровалы.

Усугубляет ситуацию глобальное потепление, которое в значительной мере воздействует на горные леса [12]. За последние пятьдесят лет в Карачаево-Черкесской Республике зарегистрировано повышение среднегодовой температуры воздуха на 1,9 °С, количество осадков, преимущественно в летнее время, увеличилось на 30 мм/год и более, особенно аномальным на осадки выдался текущий 2022 г.

В октябре 2018 г. Управлением лесами Карачаево-Черкесской Республики в рамках расширенного совещания по осуществлению охраны и защиты лесов КЧР было отмечено, что усыхание ели восточной про-

исходит не только на территории Тебердинского заповедника, но и на всей территории КЧР.

Наличие в насаждениях усыхающих, сухостойных и валежных деревьев создает предпосылки для развития комплекса вредителей леса. Ель восточную (*Picea orientalis* L.) и пихту кавказскую (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach.) заселяют короед-типограф (*Ips typographus* L.), смолевка пихтовая (*Pissodes piceae* Illiger), короед Воронцова (*Pityokteines Voronovi* Wood & Bright), крифал западный (*Cryphalus piceae* Ratz.), микрограф западный (*Pityophthorus pityographus* Ratz.), древесинник полосатый (*Trypodendron lineatum* Ol.), кавказский ребристый рагий (*Rhagium inquisitor* L.), синий или малый рогохвост (*Sirex juvencus* L.).

Елово-пихтовые насаждения также поражаются болезнями различной этиологии, в том числе стволовыми гнилями. Зараженность последними в насаждениях возрастом 100–200 лет достигает 50%. Из болезней пихты кавказской широко распространен ржавчинный рак (*Melampsorella cerastii* Wint.). Ель восточная также в значительной степени страдает от микозов, однако заражение деревьев еловой губкой (*Phellinus pini*

(Thore ex Fr.) РН., *var. abietis* (Karst)), а также видами опенка (р. *Armillaria*) не установлено. Наибольшее распространение имеет окаймленный трутовик (*Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) P. Karst.).

Детальное лесопатологическое обследование еловых и пихтово-еловых насаждений, проведенное специалистами филиала ФГБУ «Рослесозащита» ЦЗЛ Ставропольского края в сентябре 2016 г., показало, что «стволовые вредители, некрозы, грибные болезни и гнили не являются первопричиной усыхания, а лишь способствуют ускорению процесса отмирания деревьев» [8].

Специалисты Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук М.Ю. Пукинская, Д.С. Кессель и К.В. Щукина во взаимодействии со специалистами по защите леса Санкт-Петербургской академии леса в июне 2017 г. установили, что «фауна в древостое очень велика: стволовая гниль присутствовала у 42% деревьев. Первопричиной загнивания, по-видимому, является регулярное травмирование стволов падающими камнями, ветровалами, снеголомами и старыми зарубками. У многих деревьев центральная гниль занимала большую часть ствола. Плодовых тел корневой или еловой губки отмечено не было. Мицелия опенка, нередко являющегося причиной усыхания ели, при осмотре нескольких сотен стволов I яруса выявлено не было. Зараженность насекомыми-вредителями велика. Были обнаружены многочисленные ходы короеда-типографа (*Ips typographus* L.), большого хвойного рогахвоста (*Urocerus gigas* L.), усачей разных видов, смолевки пихтовой (*Pissodes piceae* Шигер) и др. Однако однозначно оценить их вклад в гибель деревьев ели восточной после усыхания достаточно сложно» [13]. При этом авторы отмечают, что в насаждениях с усыхающей и уже сухостойной елью подрост не поврежден, нормально развивается и является вполне благонадежным. Хотя в более поздней публикации М.Ю. Пукинская отмечает, что в ближайшие годы возобновление темнохвойных пород будет пополняться преимущественно за счет пихты, так как плодоносящие ели пострадали от усыхания наиболее сильно [14].

Ученые также указывают, что «во всех обследованных массивах признаков массового заболевания бактериозом не обнаружено» [15]. Характерные для него признаки отмечены лишь у единичных пихт в виде ярко-рыжей хвои. Признаков «водянки» при

взятии кернов живых и усохших хвойных деревьев не отмечено [13].

По результатам повторной экспедиции Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук в 2019 г., которая работала на пробных площадях Гончирского и Домбайского участков лесничеств, заложенных в 2017 г., а также на новых пробных площадях в Джамагатском и Тебердинском участках лесничествах, расположенных в северной, более низкой, части заповедника, причина, вызывающая усыхание ели, также не была установлена.

В сентябре – октябре 2019 г. в Тебердинском заповеднике работала комплексная международная экспедиция, организованная Институтом географии РАН. Специалистами экспедиции были взяты образцы различных частей усохших деревьев ели, почвы и воды из источников, расположенных под пологом леса для проведения химического анализа с целью выявления воздействия на леса заповедника каких-либо химических элементов (выбросов). Данные анализов показали, что подобного воздействия не было.

Таким образом, в результате проведенных работ на предмет выявления основной причины, вызывающей усыхание ели восточной и пихты кавказской с последующим ее отмиранием в лесных массивах Тебердинского национального парка, мы получили подробную картину происходящих негативных процессов антропогенного и природного характера. Работы по поиску первопричины возникшей проблемы и ее решению продолжаются. На наш взгляд, нельзя игнорировать диагностируемые на отдельных участках симптомы в виде сломанных на середине или на 1/3 высоты стволов, что является результатом их поражения и быстрого разрушения под влиянием инфекции. В литературе отмечается, что слом и быстрое разрушение древесины происходят исключительно в тех случаях, когда заболевание имеет бактериальную этиологию. При этом характерное для бактериальной водянки пихты изменение окраски хвои отмечается не всегда. У ели, сосны, лиственницы и можжевельника хвоя чаще всего желтеет, бурет и осыпается. Описаны даже случаи, когда хвоя у пораженного дерева сохраняла темно-зеленый цвет.

Симптоматика бактериоза, связанная с обводнением ядровой и заболонной древесины, может отсутствовать по причине

того, что возбудитель бактериальной водянки *Erwinia multivora* Scz.-Parf. имеет две культурально-морфологические формы, из которых R-форма (в отличие S-формы, вызывающей острое течение болезни) характеризуется меньшей агрессивностью, в том числе не образует газа и может достаточно долго развиваться во внешне здоровой древесине в качестве факультативного симбиотрофа. В подобном случае хронический патогенез сосудисто-паренхиматозного характера будет сопровождаться суховершинностью, усыханием и гибелью деревьев.

В пользу бактериального характера инфекции свидетельствуют некрозно-раковые проявления в комлевой части деревьев, а также вдавленные раковые раны на стволах деревьев, которые обнаруживаются по слабо заметной вдавленности коры.

Важно отметить, что в усыхании ели значительную роль играют короеды, в том числе короед-типограф [14, 16]. Он активно заселяет ослабленные болезнью деревья и осуществляет роль переносчика возбудителя болезни в процессе своего индивидуального развития (онтогенеза).

Основные источники инфекции – больные деревья и растительные остатки. Болезнь также передается семенами. Кроме того, становится очевидным, что эффективная борьба с фитопатогенными бактериями возможна только при условии уничтожения очагов размножения короедов. Однако заповедная система предполагает невмешательство в развитие естественных процессов природных комплексов в целях сохранения биологического разнообразия и поддержания в естественном состоянии охраняемых природных комплексов и объектов. Решением вопроса в данном случае может стать применение комплекса биологических средств защиты растений, что не противоречит Положению «О государственных природных заповедниках в Российской Федерации» (№ 48 от 18.12.1991), ст. VI «Режим государственных природных заповедников», п. 11, который, в частности, гласит, что «на территории государственного природного заповедника запрещается применение химических средств защиты растений».

Перспективное направление защиты растений от бактерий – терапия на основе бактериофагов (видоспецифичных вирусов фитопатогенных бактерий), безопасных для других живых организмов [17]. Эффек-

тивность данного метода защиты подтверждена в отношении мягкой гнили картофеля (*Pectobacterium (Erwinia) carotovorum* subsp. *atrosepticum*), возбудитель которой принадлежит к той же систематической группе, что и возбудитель бактериальной водянки древесных пород. Более того, на сегодняшний день на рынке биофунгицидов присутствуют препараты на основе различных штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas spp.*, проявляющих биологическую активность в отношении возбудителей бактериозов растений.

В отношении короеда-типографа, как фитофага и переносчика болезней растений, следует сказать, что полностью предотвратить его размножение невозможно, однако частично предотвратить ущерб путем управления его численностью с использованием интегрированной системы защитных мероприятий, основу которой составляют научно обоснованные лесоводственные меры в сочетании с санитарной профилактикой и санитарно-оздоровительными мероприятиями, вполне реально [18]. Санитарная профилактика заключается в очистке лесов от захламления и должна осуществляться в соответствии с «Правилами санитарной безопасности в лесах» (Постановление Правительства Российской Федерации № 2047 от 09.12.2020). Особое значение имеет своевременная уборка свежего ветровала, бурелома, отдельных заселенных на корню деревьев, выполняющих роль резерваторов вредителя.

Естественными врагами короеда-типографа в стадии молодого жука являются личинки хищных жуков, от которых погибает от 8 до 15% особей. От хищных мух погибает от 1,5 до 19% молодых жуков. Наиболее существенный фактор смертности короеда-типографа – дятлы, уничтожающие до 30% популяции вредителя в стадии молодого жука [18]. Болезни различной этиологии сокращают численность молодых жуков на 5–14% [16].

В связи со скрытым образом жизни короеда-типографа перспективным видится борьба с зимующей стадией вредителя в местах перезимовки (зимуют имаго в подстилке вокруг кормового дерева на глубине до 10 см в радиусе 3 м от ствола) путем применения биоинсектицидов для обработки листовой подстилки. Определенный интерес представляет в этом плане новый, находящийся на стадии регистрации биопрепарат, разработанный российскими учеными

группы компаний «Агробиотехнологии», на основе комплекса энтомопатогенных микроорганизмов (*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., *Cordyceps farinosa* Kepler, B. Shrestha & Spatafora, *Akanthomyces muscarius* (Petch) Spatafora, *Metarhizium anisopliae* Sorokin).

Перспективным видится применение биопрепаратов по способу Н.Л. Севницкой [19], разработанному в Институте леса Национальной академии наук Белоруссии. Способ заключается в применении биопрепарата (у автора – на основе энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.) против короеда-типографа с применением модернизированных феромонных ловушек (жуки посещают ловушки, набирают на поверхность тела споры гриба и переносят их в места непосредственной вредоносности, вызывая заражение и гибель микропопуляции на повреждаемом дереве). В условиях Хальчанского лесничества Гомельской области Республики Беларусь присутствие энтомопатогенной инфекции *Beauveria bassiana* привело к снижению плотности популяций короеда-типографа на 30,3–76,9%. Гибель энтомофагов при этом не отмечалась.

В целом при анализе Государственного каталога пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, установлено, что против болезней и вредителей древесных пород зарегистрированы лишь единицы биопестицидов, что является еще одной точкой роста в защите леса от вредных организмов.

Заключение

Таким образом, усыхание темнохвойных лесов на территории Тебердинского национального парка можно считать результатом комплексного воздействия погодных условий и биотических факторов. При описанных выше климатических изменениях (повышение среднегодовой температуры воздуха в сочетании с избыточным количеством осадков) возникают благоприятные экологические условия для развития бактериальных инфекций, а также максимальной активизации жизнедеятельности, увеличения динамики и плотности популяции не причиняющего ранее вреда короеда-типографа, его появления там, где он ранее отсутствовал, и интенсивного размножения.

В силу целевой задачи национального парка по сохранению биологического разнообразия и поддержанию в естественном состоянии охраняемых природных комплексов и объектов, невмешательство в раз-

витие естественных процессов природных комплексов в случае чрезвычайной фитосанитарной ситуации, сложившейся на сегодняшний день, создает дополнительные риски и угрозу существования темнохвойным лесным массивам Тебердинского национального парка. В связи с этим внесение изменений в действующую нормативную базу (в том числе в Правила санитарной безопасности в лесах), которая крайне строго регламентирует санитарную деятельность при столкновении с подобными проблемами, видится актуальной и необходимой. Например, в части сокращения сроков осуществления государственного лесопатологического мониторинга и санитарно-оздоровительных мероприятий с момента регистрации уполномоченными органами информации об обнаружении погибших или поврежденных лесных насаждений в силу чрезвычайно высокой скорости размножения и вредоносности отдельных фитофагов и фитопатогенов.

Дополнительную возможность снизить антропогенную нагрузку, в том числе атмосферное загрязнение и выпадение кислотных осадков, с целью повышения общего иммунного статуса лесов может обеспечить развитие экологической инфраструктуры: дорожки для пешеходов-туристов, сеть велосипедных трасс, фуникулеров, электромобилей, кемпингов и т.д.

Список литературы

1. Geburek Th., Scholz F. Versuche mit Wal-baumpopulationen von Fichte und Birke zur Viabilitätsselektion. GKSS. 1988. No. E55. P. 383–387.
2. Павлов А.В., Братков В.В. Мониторинг верхней границы леса Тебердинского заповедника (по материалам дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. 2017. № 3 (32). С. 50–56.
3. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Безгина Ю.А., Халикова В.А. Оценка рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 58–63. DOI: 10.17513/use.37713.
4. Симоненкова В.А., Симоненков В.С. Оценка санитарного состояния насаждений Тебердинского заповедника // Экология и география растений и растительных сообществ: материалы IV международной научной конференции. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, Гуманитарный институт, 2018. С. 889–892.
5. Гальперин М.В. Экологические основы природопользования. М.: ФОРУМ, 2014. 256 с.
6. Тихонова И.О., Тарасов В.В., Кручинина Н.Е. Экологический мониторинг атмосферы: учебное пособие. М.: Форум, 2014. 136 с.
7. Ясовеев М.Г., Стреха Н.Л., Какарека Э.В., Шевцова Н.С. Экологический мониторинг и экологическая экспертиза: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2018. 304 с.
8. Лесохозяйственный регламент лесничества «Государственный природный заповедник «Тебердинский» // Министрство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mnr.gov.ru/docs/>

dokumenty_po_voprosam_oopt/lesokhozyaystvennye_reglamente_oopt/lesokhozyaystvennyy_reglament_lesnichestva_gosudarstvennyy_prirodnyy_zapovednik_teberdinskiy_/?sphrase_id=477668 (дата обращения: 15.06.2022).

9. Бажина Е.В. О факторах усыхания пихтовых лесов в горах Южной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2010. Т. 3. № 3. С. 20–25.

10. Девятова Н.В., Ершов Д.В., Лямцев Н.И., Денисов Б.С. Определение масштабов усыхания хвойных лесов Европейского Севера России по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. В. 4. Т. 2. С. 204–211.

11. Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России // Материалы научной конференции, посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2007. С. 42–52.

12. Хамилтон Л.С., Гилмор Д.А., Касселз Д.С. Горные леса и лесное хозяйство. Горы мира – глобальный приоритет. М.: НООСФЕРА, 1999. С. 271–300.

13. Пукинская М.Ю., Кессель Д.С., Щукина К.В. Усыхание пихто-ельников Тебердинского заповедника // Ботанический журнал. 2019. Т. 104. № 3. С. 337–362. DOI: 10.1134/S0006813619030062.

14. Пукинская М.Ю. Возобновление темнохвойных пород в очагах усыхания *Picea orientalis* (Pinaceae) в Тебердинском заповеднике (Западный Кавказ) // Ботанический журнал. 2021. Т. 106. № 12. С. 1167–1179. DOI: 10.31857/S0006813621120073.

15. Черпаков В.В. Распространение и вредоносность бактериальных болезней лесных пород в России // Защита и карантин растений. 2015. № 11. С. 19–21.

16. Клоев В.С. Факторы дестабилизации состояния ельников и повышение их устойчивости лесохозяйственными мероприятиями на примере Брянской области: дис. ... канд. сельхоз. наук. Брянск, 2013. 117 с.

17. Мирошников К.А., Кабанова А.П., Шнейдер М.М., Васильев Д.М., Игнатов А.Н. Биоконтроль бактериальных болезней растений с помощью бактериофагов // Актуальная биотехнология. Спецвыпуск. Материалы VII Международной конференции «Биотехнология: наука и практика». 2019. Т. 30. № 3. С. 320.

18. Маслов А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.

19. Севницкая Л.Н. Оценка эффективности применения энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. в защите еловых насаждений от короэда-типографа // Труды БГТУ. 2017. Серия 1. № 2. С. 192–198.

УДК 631.416.8:502.53:581.5(571.56-14)

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ НА АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКАХ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Софронов Р.Р., Иванова А.З.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: mayan34@yandex.ru

Исследованы образцы растительности и почвы, отобранные на нарушенных и прилегающих к ним участках в Южной Якутии, в районе п. Ленск и п. Витим. Дано подробное описание восстанавливающейся растительности на антропогенных площадях. Определено содержание свинца, кадмия, меди, цинка и никеля в валовой и подвижной форме в почвах, и в валовой – в растительности. Для каждого исследуемого участка был отобран фоновый образец. Выявлено, что в грунтах и растительности отмечается низкое содержание никеля для всех образцов, что говорит о низких региональных значениях. Содержание свинца и меди в почве сопоставимо друг с другом. Присутствует загрязнение свинцом и кадмием в почве. Распределение абсолютных концентраций элементов чаще всего выглядит следующим образом: $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$ или $Zn > Pb > Cu > Ni > Cd$. Наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца (отношение подвижных форм к валовым формам), что также обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности. Также наблюдается повышенное содержание кадмия в растительных образцах, что коррелирует с высоким содержанием данного элемента в почве.

Ключевые слова: Юго-Западная Якутия, почва, растительность, тяжелые металлы, антропогенная нарушенность

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS IN ANTHROPOGENIC DISTURBED AREAS (SOUTH-WESTERN YAKUTIA)

Desyatkin R.V., Nikolaeva M.C., Sofronov R.R., Ivanova A.Z.

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, e-mail: mayan34@yandex.ru

Vegetation and soil samples were taken from disturbed and adjacent areas in South Yakutia, in the area of Lensk and Vitim villages. A detailed description of the regenerating vegetation on anthropogenic areas is given. The content of total and mobile forms of lead, cadmium, copper, zinc and nickel was determined in soils, and the total content of metals was determined in vegetation. A background sample (control) was taken for each study site. It was revealed that in soils and vegetation there is a low content of nickel for all samples, which indicates low regional values. The content of lead and copper is comparable to each other. There is lead and cadmium pollution. The distribution of absolute concentrations of elements most often looks like this: $Zn > Cu > Pb > Ni > Cd$ or $Zn > Pb > Cu > Ni > Cd$. The highest mobility in the soil is noted for cadmium and lead (the ratio of mobile forms to total ones), which also causes an increased content of these elements in vegetation samples.

Keywords: South-Western Yakutia, soil, vegetation, heavy metals, anthropogenic disturbance

Тяжелые металлы – основные опасные загрязнители природной среды на освоенных человеком территориях. Республики Саха (Якутия) является уникальной территорией по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых, здесь разрабатываются много различных месторождений, поэтому мониторинг участков, попадающих непосредственно под антропогенное влияние, не только имеет научно-практическое значение, но и характеризует актуальное состояние экологии региона в целом. В юго-западной части республики Саха (Якутия) наиболее развита нефтегазодобывающая деятельность, здесь проложены крупнейшие сооружения по транспортировке нефти и газа. Влияние линейных сооружений по перекачке нефти на окружающую среду как источника загрязнения не всегда связано только с авариями и разливом нефти [1]. Возведение многочисленных нефтеперекачивающих, наливных

и технологических станций, усиление загруженности транспортной сети, прокладка новых дорог и просек создают определенные условия для увеличения антропогенной нагрузки на экосистему.

В настоящее время существует не очень много данных о содержании тяжелых металлов в почвах и растениях Якутии, особенно на нарушенных территориях. Например, существуют исследования Центральной Якутии [2, 3], Северной Якутии [4], Западной Якутии [5] и Южной Якутии [6].

Цель исследования – оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на нарушенных человеком территориях в пределах Юго-Западной Якутии.

Материалы и методы исследования

Исследуемые нарушенные участки территориально относятся к Ленскому и Олекминскому административным районам Юго-Западной Якутии (59–60° с.ш.,

110–118° в.д.), равно удалены друг от друга и пронумерованы в порядке возрастания по направлению с юга на северо-восток.

По природно-ботаническим признакам исследованная территория входит в подзону среднетаежных лесов, Центральноякутскую среднетаежную подпровинцию, Верхнеленский округ. По флористическому районированию Якутии исследованная территория входит в Верхне-Ленский район [7]. По лесорастительному районированию исследованная территория относится к Юго-Западному приленскому среднетаежному округу, где преобладают лиственничники брусничные с значительной примесью лиственничников багульниково- и голубично-моховых, а также сосняков брусничных и толокнянковых [8]. С точки зрения почвенно-географического районирования объекты расположены в пределах Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенной области, Среднесибирской почвенной провинции, в зоне распространения таежных мерзлотно-палевых почв средней тайги. Наименования почв даны согласно списку, приведенному в Едином государственном реестре почвенных ресурсов России [9], краткая морфогенетическая характеристика изученных почв дана в книге «Почвы Якутии» [10], для нарушенных участков использовалась профилно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов: эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные.

На нарушенных и прилегающих к ним естественных участках (всего 4 участка, под номерами № 1, № 2, № 3, № 4) были отобраны растительные и почвенные образцы по следующему принципу: внутри нарушенного участка (маркировка пробы В), 100 м от границы участка (маркировка пробы С), контроль 500–600 м (маркировка пробы К). Растения напочвенного покрова (смешанный образец) срезали на уровне поверхности почвы, на участках с высокой и густой растительностью на площади 20x20 см, на участках с растительностью средней густоты на площади 50x50 см, на участках с разреженной растительностью на площади 2x2 м. Грунты отбирались методом конверта в объединенные почвенные пробы с глубины 0–20 см.

Содержание Pb, Zn, Cu, Ni, Cd в образцах растений определяли атомно-абсорбционным методом (AAnalyst 400, PerkinElmer). Для определения тяжелых металлов использовали кислотную и ацетатно-аммонийную буферную вытяжку. Пробоподготовку по-

чвенных и растительных образцов проводили в микроволновой системе разложения Speedwave 3+ (Berghof) с использованием соляной и азотной кислот. В почвенных образцах были определены рН водной суспензии, содержание органического углерода титриметрическим методом по Тюрину, содержание физической глины методом Качинского, подвижные и валовые формы Cu, Zn, Cd, Pb и Ni атомно-абсорбционным методом (ФР.1.31.2007.04106).

Оценка уровня загрязнения растительного покрова ТМ проводилась по показателю, разработанному при сопряженных биогеохимических исследованиях окружающей среды с действующими источниками загрязнения. Таким показателем является коэффициент концентрации химического вещества (Кк) [11], который определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в точке опробования к его содержанию в аналогичной природной среде на фоновом участке:

$$K_k = C_i / C_{\phi},$$

где C_i – содержание химического элемента в точке опробования; C_{ϕ} – среднее содержание элемента в аналогичной среде на фоновом участке.

Для оценки уровня загрязнения почв использовались сравнение с нормативными значениями концентраций и расчет суммарного показателя загрязнения. Согласно нормативным документам существуют следующие показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) подвижных форм металлов в почвах: кадмий – нет нормативов; медь – 3 мг/кг; никель – 4 мг/кг; свинец – 6 мг/кг; цинк – 23 мг/кг. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) валовых форм были выбраны в соответствии с рН и гранулометрическим составом.

Суммарный показатель химического загрязнения почв (Z_c) рассчитывается по формуле:

$$Z_c = K_{c_1} + \dots + K_{c_i} + \dots + K_{c_n} - (n-1),$$

где n – число определяемых компонентов, а K_{c_i} – коэффициент концентрации i -го загрязняющего вещества, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением (содержание веществ в контрольно-фоновом образце). Z_c является количественной мерой, представляющей собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентрации (рассеяния) над единичным (фоновым) уровнем [12]. В пробах, где фактические данные

опробования не превышают концентраций в фоновых образцах, расчет Z_c не был произведен, а уровень загрязнения считался допустимым априори.

Результаты исследования и их обсуждение

Поверхность исследуемых участков практически полностью нарушена при прокладке линейного сооружения для перекачки нефти. Это территории, прилегающие к дорогам, различным техническим сооружениям, подвергшиеся полной техногенной трансформации, без признаков аварий и с восстановленной луговой растительностью.

Участок № 1. Внутри участка разреженная растительность. Участок в стадии зарастания растительностью. Поверхность грунта ровная. Растительность сильно разреженная, мозаичная. Встречаются иванчай узколистный (*Chamerion angustifolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), хвощ болотный (*Equisetum palustre*), подорожник средний (*Plantago media*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*), белокопытник холодный (*Petasites frigidus*), донник ароматный (*Melilotus suaveolens*).

От границы участка в 100 м – разнотравно-злаковая растительность. Поверхность грунта ровная, есть выходы камней и галечника. Проективное покрытие растительного покрова до 85%, средняя высота до 40 см. Встречаются единичные подросты березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*) и шиповника иглистого (*Rosa acicularis*). Доминируют пырей ползучий (*Elytrigia repens*) – 30%, полевица гигантская (*Agrostis gigantea*) – 15%, мятлик луговой (*Poa pratense*) – 10%, клевер луговой (*Trifolium pratense*) – 25%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%. Также участвуют осока ситничек (*Carex juncella*), скерда кровельная (*Crepis tectorum*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), вика приятная (*Vicia amoena*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), подмаренник северный (*Galium boreale*), белокопытник холодный (*Petasites frigidus*) и др.

Фоновая растительность представлена листовичным лесом зеленомошно-голубично-брусничным (*Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pteridium aquilinum*).

Почвы фоновых ландшафтов на Участке № 1 представлены мерзлотной таежной почвой на остаточном карбонатных породах [О-АО-В-ВС-Сса₁]. Это суглинистые слабо дифференцированные почвы с невысоким содержанием гумуса в минеральной части [10]. Реакция почвенной среды в верхней части профиля кислая, сменяется с глубиной до нейтральной и слабощелочной. Нарушенные почвы представлены эмбриоземами дерновыми и органо-аккумулятивными.

Участок № 2. Внутри участка ландшафт в стадии зарастания растительностью. Поверхность грунта ровная, сухая. Растительность сильно разреженная. Встречаются единичные подросты кедра (*Pinus sibirica*), березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*), а также иванчай узколистный (*Chamerion angustifolium*), пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), лапчатка песчаная (*Potentilla arenosa*) и др.

В 100 м от участка растительность представлена злаковым разнотравьем. Поверхность грунта ровная, сухая. Проективное покрытие растительного покрова до 85%, средняя высота до 40 см. Встречаются единичные подросты березы повислой (*Betula pendula*), кусты ивы Бебба (*Salix bebbiana*) и таволги средней (*Spiraea media*). Доминируют пырей ползучий (*Elytrigia repens*) – 5%, колокольчик Лангсдорфа (*Campanula langsdorfiana*) – 5%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%, шиповник иглистый (*Rosa acicularis*) – 10%, пырейник изменчивый (*Elymus mutabilis*) – 50%. Также участвуют осока ситничек (*Carex juncella*), бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*), вика приятная (*Vicia amoena*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), подмаренник северный (*Galium boreale*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*) и др.

Характеристика популяций редких растений на участке: водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*) по описанному участку распространены рассеянно повсеместно.

Естественный фон – лиственничный лес с кедром грушанково-зеленомошный (*Pinus sibirica*, *Pyrola asarifolia*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

Естественные почвы на Участке № 2 представлены мерзлотным дерново-карбонатным типом [О-Ad-BCA-Cca]. Гранулометрический состав легкосуглинистый, содержание гумуса в дерновом горизонте относительно высокое, реакция почвенной среды в верхней части – слабокислая, близкая к нейтральной, в нижней – щелочная [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами органо-аккумулятивными внутри участка и дерновыми – в 100 м от границы участка

Участок № 3. Внутри участка разреженная растительность. Общее проективное покрытие%. Средняя высота 15–18 см. Галечник. Разреженный растительный покров представлен иван-чаем узколистным (*Chamerion angustifolium*) – 5%, одуванчиком роганосным (*Taraxacum ceratophorum*) – 5%, также участвуют мышиный горошек (*Vicia cracca*), бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*) и др. Присутствуют низкорослые подросты (15–20 см) березы повислой (*Betula pendula*).

Разнотравно-злаковый переходный участок имеет неровную поверхность, выходы камней и галечника средней и крупной фракции. Растительный покров разреженный, мозаичный, средняя высота до 45 см. Проективное покрытие до 40%. Доминируют мышиный горошек (*Vicia cracca*) – 5%, полынь замещающая (*Artemisia commutata*) – 10%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 25%. Также участвуют княженика (*Rubus arcticus*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), осока ситничек (*Carex juncella*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), овсяница овечья (*Festuca ovina*), чистотел большой (*Chelidonium majus*), скерда кровельная (*Crepis tectorum*) и др. Встречаются единичные кусты шиповника иглистого (*Rosa acicularis*).

Фон – лиственничный лес бруснично-зеленомошный (*Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

На Участке № 3 в ненарушенном лесу сформированы мерзлотные перегнойно-карбонатные почвы [О-Н(АН)-В-BCA-Cca]. Это легкосуглинистые почвы с относительно мощным перегнойным органомным горизонтом (около 10 см), слабокислые и нейтральные в верхней части и щелоч-

ные – в нижней [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами инициальными на участке и органо-аккумулятивными – в 100 м от границы.

Участок № 4. Внутри участка разнотравно-злаковая разреженная растительность. Средняя высота растительного покрова 15 см. Проективное покрытие до 75%. Господствуют хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*) – до 5%, бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana*) – 10%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 5%, клевер ползучий (*Trifolium repens*) – 55%. Также в сложении травостоя участвуют прострел многонадрезный (*Pulsatilla multifida*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), мак голостебельный (*Papaver nudicaule*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica*) и др. Присутствуют кусты рябины (*Sorbus sibirica*) в виде насаждения.

Злаково-разнотравная растительность распространена на границе с лесом. Поверхность грунта относительно ровная, сухая. Растительный покров равномерный, разреженный, средняя высота до 40 см. Проективное покрытие 45–50%. Господствуют овсяница овечья (*Festuca ovina*) – 5%, хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*) – 5%, полынь замещающая (*Artemisia commutata*) – 5%, клевер луговой (*Trifolium pratense*) – 5%, иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*) – 30%. Также в сложении травостоя участвуют арктагросис тростниковидный (*Arctagrostis arundinaceus*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), змеевик эллиптический (*Bistorta elliptica*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), одуванчик роганосный (*Taraxacum ceratophorum*), осока ситничек (*Carex juncella*), астрагал альпийский (*Astragalus alpinus*), подорожник средний (*Plantago media*), латук сибирский (*Lactuca sibirica*) и др. Присутствуют единичные подросты сосны (*Pinus sylvestris*) высотой до 45 см.

Фон – лиственничный лес багульниково-бруснично-зеленомошный (*Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium shreberi*).

Естественные почвы на участке № 4 представлены мерзлотными дерново-карбонатными [О-Ad-BCA-Cca]. Гранулометрический состав супесчаный, реакция почвенной среды в верхней части – слабокислая, близкая к нейтральной, в нижней – щелочная [10]. Нарушенные почвы представлены эмбриозёмами дерновыми.

Таблица 1

Содержание подвижных форм определяемых металлов в почвенных пробах

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Zc**
			мг/кг					
1	Участок № 1	В	1,98±0,46	14,90±4,92	0,78±0,20	7,25±1,52*	0,21±0,09	15,8
2		С	0,70±0,16	5,55±0,18	0,26±0,07	2,59±0,54	0,24±0,10	3,9
3		К (фон)	0,26±0,07	4,82±1,59	0,16±0,05	2,41±0,51	0,18±0,08	–
4	Участок № 2	В	1,10±0,25	0,98±0,32	0,82±0,21	7,35±1,54	0,55±0,23	6,8
5		С	0,30±0,08	0,05±0,02	0,18±0,05	2,95±0,62	0,17±0,07	–
6		К (фон)	0,40±0,11	1,73±0,57	0,32±0,13	3,82±0,80	0,21±0,09	–
7	Участок № 3	В	0,66±0,15	1,35±0,45	0,04±0,01	1,08±0,23	0,25±0,11	8,4
8		С	1,26±0,35	0,25±0,11	0,52±0,13	5,38±1,13	0,33±0,14	9,8
9		К (фон)	0,22±0,06	0,21±0,09	0,14±0,04	2,65±0,56	0,28±0,12	–
10	Участок № 4	В	0,42±0,12	0,24±0,10	0,10±0,03	0,95±0,24	0,11±0,05	11,9
11		С	0,36±0,1	0,18±0,08	0,08±0,02	0,45±0,11	0,09±0,04	7,5
12		К (фон)	0,08±0,02	0,10±0,04	0,04±0,01	0,21±0,05	0,09±0,04	–
Предельно допустимые концентрации (ПДК)			3,00	23,00	–	6,00	4,00	

Примечание: * – полужирным шрифтом отмечены концентрации, превышающие или равные ПДК; ** – Zc суммарный показатель химического загрязнения почв

Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве (табл. 1) показал, что незначительные превышения предельно допустимых значений наблюдаются только по свинцу на южных нарушенных участках № 1 и № 2 (1,2 ПДК), расположенных практически на границе Иркутской области. Это более промышленно освоенные территории – здесь больше дорог, соответственно более оживленный автомобильный поток. Свинец считается одним из наиболее опасных загрязнителей, его источником являются продукты нефтяной переработки и выхлопные машинные газы.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов во всех образцах грунта относительно фоновое содержание находится на допустимом уровне. Особой зависимости в фоновых образцах от типа почв нет, так как почвы сформированы под похожими лесами на карбонатных или остаточнок-карбонатных породах. На Участках № 1 и № 2 отмечается повышенное фоновое содержание свинца и цинка, что, возможно, связано с тем, что это наиболее тяжелые по гранулометрическому составу почвы (табл. 2). Наиболее чистый контрольный образец был отобран на участке № 4, где образец представлен супесью. Но следует отметить, что превышения относительно фона наблюда-

ются почти во всех образцах, отобранных на нарушенных участках и в прилегающей зоне (в пределах 100 м от границы участка) независимо от механического состава и содержания органики, что говорит о прямом антропогенном влиянии, хотя и в пределах допустимых норм.

Анализ содержания валовых форм тяжелых металлов (табл. 2) показал, что превышение ориентировочного допустимого концентраций наблюдается преимущественно только по кадмию на нарушенной части участков (1,3 ПДК на участке № 1, 1,3–1,6 ПДК на участке № 2, 3 ПДК в прилегающей зоне участка № 3, 1,4 ПДК на участке № 4).

По степени загрязнения в сравнении с фоном наиболее загрязнен Участок № 4, где суммарный показатель превышает допустимые 16. По содержанию в земной коре обычно соотношение концентраций выглядит следующим образом: Zn>Ni>Cu>Pb>Cd. В нашем случае похожее распределение наблюдается лишь в фоновой почве участка № 4. В остальных образцах отмечается очень низкое содержание никеля, и распределение чаще всего выглядит так: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd или Zn>Pb>Cu>Ni>Cd. Свинец только в одном случае превышает содержание цинка – на нарушенной части участка № 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели и содержание валовых форм определяемых металлов

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	pH	C _{орг} , %	Сумма частиц <0,01 мм	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Zc**
1	Участок № 1	10В	7,80	0,21	28,5	29,20±6,72	81,12±26,77	2,30±0,58*	32,60±6,85	5,66±1,58	10,9
2		10С	7,41	0,78	21,4	20,75±4,77	53,64±17,70	0,65±0,16	18,96±3,98	3,21±0,90	3,4
3		10К (фон)	4,15	1,55	29,8	12,20±2,81	61,10±20,16	0,40±0,10	12,72±2,67	2,00±0,56	
4	Участок № 2	11В	8,15	0,99	29,6	10,95±2,52	24,66±8,14	3,25±0,81	37,42±7,86	10,22±2,86	12,0
5		11С	7,28	0,47	17,8	16,70±3,84	49,62±16,37	0,65±0,16	21,43±4,50	12,34±3,46	4,6
6		11К (фон)	6,34	1,41	26,8	9,80±2,25	44,74±14,76	0,40±0,10	8,60±1,81	7,41±2,07	–
7		12В	7,35	0,09	10,5	4,70±1,08	28,78±9,50	0,15±0,04	4,05±0,85	2,05±0,57	–
8	Участок № 3	12С	6,97	0,91	18,9	22,65±5,21	39,12±12,91	1,50±0,38	24,66±5,18	7,83±2,19	6,7
9		12К (фон)	5,97	4,25	20,7	9,80±2,25	44,38±14,65	1,00±0,25	17,36±3,65	5,32±1,49	–
10	Участок № 4	13В	7,58	0,44	8,9	14,75±3,39	51,91±17,13	0,70±0,18	9,91±2,08	6,27±1,76	23,8
11		13С	5,03	1,25	11,3	9,45±2,17	34,25±11,30	0,45±0,11	5,15±1,08	5,99±1,68	13,8
12		13К (фон)	7,39	1,55	15,5	1,20±0,28	15,35±5,07	0,15±0,04	1,78±0,37	3,24±0,91	
Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК):											
						Сульфиды	33,00	55,00	0,5	32,00	20,00
						Кислые, сульфидные	66,00	110,00	1,00	65,00	40,00
						Щелочные, сульфидные	132,00	220,00	2,00	130,00	80,00
Кларки элементов:											
						47,00	83,00	0,13	16,00	58,00	

Примечание: * – полужирным шрифтом отмечены концентрации, превышающие или равные ПДК; ** – Zc суммарный показатель химического загрязнения почв

Таблица 3

Кларки концентраций валовых форм определяемых металлов

№ п/п	№ участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
			мг/кг				
1	Участок № 1	10В	0,62	0,98	17,69	2,04	0,10
2		10С	0,44	0,65	5,00	1,18	0,06
3		10К (фон)	0,26	0,74	3,08	0,80	0,03
4	Участок № 2	11В	0,23	0,30	25,00	2,34	0,18
5		11С	0,36	0,60	5,00	1,34	0,21
6		11К (фон)	0,21	0,54	3,08	0,54	0,13
7	Участок № 3	12В	0,10	0,35	1,15	0,25	0,04
8		12С	0,48	0,47	11,54	1,54	0,14
9		12К (фон)	0,21	0,53	7,69	1,09	0,09
10	Участок № 4	13В	0,31	0,63	5,38	0,62	0,11
11		13С	0,20	0,41	3,46	0,32	0,10
12		13К (фон)	0,03	0,18	1,15	0,11	0,06

Таблица 4

Содержание кислотных форм определяемых металлов в растительных образцах (мг/кг сухой массы)

№ п/п	Номер участка	Маркировка пробы	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Коэффициент концентрации				
			мг/кг					Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
1	Участок № 1	В	18,50	91,95	2,00	24,50	0,02	2,7	4,5	4,0	2,2	2,0
2		С	14,00	87,15	0,75	16,50	0,02	2,1	4,3	1,5	1,5	2,0
3		К (фон)	6,75	20,48	0,50	11,13	0,01	–	–	–	–	–
4	Участок № 2	В	11,25	108,48	0,50	20,45	0,05	1,5	4,2	0,4	1,5	2,5
5		С	7,00	34,33	0,25	3,33	0,01	–	1,3	–	–	–
6		К (фон)	7,75	26,10	1,25	13,68	0,02	–	–	–	–	–
7	Участок № 3	В	6,50	29,23	0,40	3,35	0,02	–	–	–	–	–
8		С	11,5	23,05	1,00	13,15	0,02	–	–	2,0	–	0,7
9		К (фон)	16,00	45,25	0,50	31,75	0,03	–	–	–	–	–
10	Участок № 4	В	26,25	224,23	0,50	42,13	0,01	15,0	17,7	10,0	21,0	2,0
11		С	13,25	20,25	0,30	15,85	0,009	7,6	1,6	6,0	7,9	1,8
12		К (фон)	1,75	12,70	0,05	2,00	0,005					

В таблице 3 приведен расчет кларков концентраций (отношение фактического содержания элемента в пробе к его содержанию в земной коре), который показал, что район исследования характеризуется относительным рассеянием цинка и значительной аккумуляцией кадмия, как антропогенного, так и естественного. Также наблюдается аккумуляция свинца, в основном на нарушенных территориях. Содержание меди и никеля – низкое.

Результаты исследований растительных образцов приведены в таблице 4. Внутри Участка № 1 содержание некоторых метал-

лов (Cu, Ni, Pb) более чем в 2 раза превышает содержание по сравнению с естественной растительностью, превышение по Cd и Zn составляет 4 и 4,5 раза соответственно. В прилегающей к участку зоне превышения составляют по Cd и Pb – в 1,5, Ni – в 2,0, Cu – в 2,1, Zn – в 4,3 раза.

В растительных образцах внутри Участка № 2 наибольший коэффициент концентрации отмечен по Zn (4,2), по Cu, Pb – 1,5. По Cd превышения не выявлено. В прилегающей к участку зоне превышения отмечено только по Zn (в 1,3 раза).

Таблица 5

Примерная концентрация микроэлементов в зрелых тканях листьев по обобщенным данным для многих видов (мг/кг сухой массы) [13]

Элемент	Дефицит или меньше, чем установленные необходимые количества элемента	Достаточная или нормальная	Избыточная, или токсичная
Cd	–	0,05–0,2	5–30
Cu	2–5	5–30	20–100
Ni	–	0,1–5	10–100
Pb	–	5–10	30–300
Zn	10–20	27–150	100–400

По содержанию тяжелых металлов в растительности внутри Участка № 3 превышений не выявлено. В прилегающей к нарушенному участку зоне влияния коэффициент концентрации по Cd составляет 2,0, по Ni – 0,7. По остальным определяемым элементам превышения отмечено не было.

Высокие значения коэффициента концентрации отмечены внутри Участка № 4: Pb – 21,0, Zn – 17,7, Cu – 15,0, Cd – 10,0. В прилегающей к участку зоне превышения выявлены по всем определяемым элементам (Zn – 1,6, Ni – 1,8, Cd – 6,0, Cu – 7,6, Pb – 7,9).

При сравнении с примерными концентрациями микроэлементов по литературным данным (табл. 5) можно отметить, что внутри Участка № 4 медь содержится в избыточном количестве. Фоновые значения концентрации меди на Участке № 4 ниже, чем установленные необходимые количества элемента. На остальных участках концентрации Cu достаточные.

Фоновые значения концентрации Zn на Участке № 4 меньше, чем установленные необходимые количества элемента. На нарушенной части Участка № 4 концентрация металла в растительности является избыточной, или токсичной. В остальных образцах концентрация цинка является достаточной.

Концентрация Cd на всех участках (кроме фоновых значений Участка № 4) выше достаточной, или нормальной.

Концентрация Pb в сильно нарушенной части Участка № 4 – избыточная (токсичная). Также избыточное количество поллютанта содержится в растительности фона Участка № 3. В остальных образцах растительность испытывает дефицит свинца или содержится в достаточной концентрации.

Концентрация Ni во всех пробах растительности меньше, чем установленные необходимые количества элемента.

Таким образом, в сравнении с фоновыми значениями наиболее высокие коэффи-

циенты концентрации тяжелых металлов отмечены в растительных образцах, отобранных внутри Участка № 4 и в 100 м от границы сильно нарушенной территории. В растительных образцах, отобранных внутри Участка № 1 и прилегающей зоне, коэффициенты концентрации не превышают 4,5. В растительных образцах внутри Участка № 2 коэффициенты концентрации не превышают 4,2. На Участке № 3 коэффициенты концентрации в прилегающей к участку зоне невысокие.

Заключение

На антропогенных участках Юго-Западной Якутии, где влияние обусловлено целым комплексом факторов (таких как транспорт, нефтепровод, строительство и т.д.), в сравнении с фоновым содержанием наблюдаются превышения практически по всем определяемым в данном исследовании элементам, особенно в грунтах, но отмечаются схожие тенденции. Например, превышение предельно допустимых значений в грунтах нарушенных участков отмечается по подвижному свинцу и валовому кадмию. Содержание свинца практически сопоставимо с содержанием меди, а никель имеет очень низкие концентрации. Распределение абсолютных концентраций элементов чаще всего выглядит так: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd или Zn>Pb>Cu>Ni>Cd. Наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца (отношение подвижных форм к валовым), что также обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности.

Все участки находятся на стадии восстановления растительности. Техногенные почвы представлены щелочными эмбриозёмами инициальными и органо-аккумулятивными. На территориях с большей степенью самозарастания, переходных к фоновому лесу, содержание загрязняющих веществ

в почве в разы меньше, чем на более нарушенной части участка, что связано, возможно, также с очищающей деятельностью растительности с уменьшением зоны воздействия. Также следует отметить, что в грунтах сильно нарушенной части Участка № 4 почти не наблюдается превышений по ПДК и ОДК (за исключением Cd), но показатель суммарного загрязнения относительно фона здесь наибольший, а также содержание тяжелых металлов в растительности здесь выше. Учитывая то, что эти фоновые образцы на данном участке самые чистые, а почва наиболее легкая по гранулометрическому составу, мы можем предположить, что, несмотря на относительно хороший дренаж, загрязнение здесь идет несколько интенсивнее, что, возможно, связано с загрязнителями в осадках, талых и почвенных водах.

Работа выполнена при поддержке базового проекта FWRS-2021-0026 (номер гос. регистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190036-6) и Гранта РФФИ 19-29-05151 (регистрационный номер АААА-А20-120061190009-9). Работа выполнена с использованием приборной базы ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Десяткин Р.В. Обретения и потери. Анализ факторов прямого и косвенного влияния строительства и эксплуатации промышленных объектов на экосистемы Западной Якутии // Крайний Север: проблемы экологии: сборник научных трудов. М., 1999. С. 51-56.
2. Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов. Новосибирск: Наука, 2017. 236 с.
3. Абрамов А.Ф., Слепцова Т.В., Попова М.Г. Содержание тяжелых металлов в почве и кормовых травах Кобяйского улуса Якутии // Новые материалы и технологии в условиях Арктики: Материалы международного симпозиума. Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова (г. Якутск, 25-27 июня 2014 г.). Ставрополь: Центр научного знания «Логос», 2014. С. 72-76.
4. Иванова А.З., Десяткин Р.В. Валовой состав основных типов почв бассейна реки Алазея // Наука и образование. 2016. № 1(81). С. 110-114.
5. Легостаева Я.Б., Гололобова А.Г. Особенности распределения микроэлементов в почвах фоновых и импактных зон на участках алмазодобычи на северо-западе Сибирской платформы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. № 9(332). С. 142-153. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3364.
6. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Горохов А.Н., Кузнецова Л.И. Основы экологической безопасности (радионуклиды и тяжелые металлы) в Алданском районе Республики Саха (Якутия) // География и краеведение в Якутии и сопредельных территориях Сибири и Дальнего Востока: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Якутской Автономной Советской Социалистической Республики (ЯАССР) (г. Якутск, 25-26 марта 2022 г.). Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2022. С. 114-119.
7. Определитель высших растений Якутии / Е.А. Афанасьева, К.С. Байков, А.А. Бобров и др. 2 изд., перераб. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК; Новосибирск: Наука, 2020. 896 с.
8. Щербаков И. П. Лесной покров Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1975. 344 с.
9. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
10. Десяткин Р.В., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р. Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 64 с.
11. Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136-152.
12. Геохимия окружающей среды / под ред. Ю.Е. Саен. М.: Недра, 1990. 335 с.
13. Kabata-Pendias A., Szeke B. Trace elements in abiotic and biotic environments. CRS Press, Fran-cis&Taylor Group, Boca Raton Fl., 2015. P. 440. DOI: 10.1201/b18198.

УДК 502.3/4

**ПРОВЕДЕНИЕ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ГРАНИЦАХ
ГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА ОСНОВЕ РОССИЙСКОГО И БЕЛОРУССКОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА**

Иванова Е.Ю.

*ГОУ ВО МО «Московский государственный областной университет» (МГОУ), Мытищи,
e-mail: ivelena2010@mail.ru*

В статье приводится краткое сравнение российского и белорусского экологического законодательства, подтверждающее сходство основных положений нормативно-правового и методического характера по проведению лесопатологического исследования растительности на особо охраняемой природной территории (далее – ООПТ). В качестве примера проведения экологического мониторинга и последующей оценки экологического состояния растительности ООПТ приводятся методика проведения и результаты лесопатологической оценки состояния растительного покрова южного участка природного заказника «Северный» г. Москвы. Лесопатологическая оценка состояния растительности ООПТ выполнена на основе результатов наблюдения с использованием метода маршрутного учета и последующим описанием экологического состояния растительности на территории исследования. По мере проведения маршрутной съёмки, включающей по несколько выездов на место в осенний и весенний периоды, осматривались и прилегающие территории. Далее производилась обработка полученной информации с использованием картографического метода, включающая совмещение имеющихся картосхем экологического состояния растительности, а также дополнение имеющихся «проблемных» выделов актуальными данными в графическом редакторе Adobe Illustrator. Результаты исследований, проведенных в период с 2012 по 2021 гг., подтвердили тенденцию изменения экологического состояния растительности объектов в сторону его ухудшения. Так, растительность территории частично поражена древесными паразитами: тиростромозом, трутовиком (настоящим, ложным и окаймлённым), хвойной златкой, ивовой галлицей и точечным феллином. Ранее выявленные участки лесопатологии дополнены новыми местами находок древесных паразитов: тиростромоза и ложного трутовика на юге парка; настоящего трутовика, хвойной златки, точечного феллина и галлицы ивовой – на западе и севере территории; окаймлённого трутовика – в центральной части лесопарка.

Ключевые слова: лесопатологическое исследование, растительность, древесные паразиты

**FOREST PATHOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE
OF VEGETATION WITHIN THE BORDERS OF URBAN SPECIALLY
PROTECTED TERRITORIES ON THE BASIS OF RUSSIAN
AND BELARUSIAN ENVIRONMENTAL LEGISLATION**

Ivanova E.Yu.

Moscow State Regional University, Mytishchi, e-mail: ivelena2010@mail.ru

The article provides a brief comparison of Russian and Belarusian environmental legislation, confirming the similarity of the main provisions of the legal and methodological nature of the forest pathological study of vegetation in a specially protected natural area (SPNA). As an example of carrying out ecological monitoring and subsequent assessment of the ecological state of the vegetation of protected areas, the methodology for conducting and the results of the forest pathological assessment of the state of the vegetation cover in the southern section of the Severny Nature Reserve in Moscow are given. The forest pathological assessment of the state of the vegetation of the protected areas was carried out on the basis of the results of observation using the method of route accounting and the subsequent description of the ecological state of the vegetation in the study area. As the route survey was carried out, which included several trips to the site in the autumn and spring periods, the adjacent territories were also examined. Further, the obtained information was processed using the cartographic method, including the combination of the existing maps of the ecological state of vegetation, as well as the addition of the existing “problem” sections with relevant data in the Adobe Illustrator graphics editor. The results of studies conducted in the period of 2012 and 2021 confirmed the trend of changing the ecological state of the vegetation of objects towards its deterioration. Thus, the vegetation of the territory is partially affected by tree parasites: thyrostromosis, tinder fungus (true, false and bordered), coniferous borer, willow gall midge and dotted fellinus. Previously identified areas of forest pathology are supplemented with new places of finds of tree parasites: thyrostromosis and false tinder fungus in the south of the park; true tinder fungus, coniferous borer, spot fellinus and willow gall midge – in the west and north of the territory; bordered tinder fungus – in the central part of the forest park.

Keywords: forest pathological research, vegetation, tree parasites

Экологическое состояние растительного покрова в границах городских особо охраняемых природных территорий является природным маркером состояния прилегаю-

щей городской экосистемы. И в большинстве случаев состояние ООПТ, располагающихся на урбанизированных территориях, оставляет желать лучшего.

Данная ситуация является проблемой не только для урбанизированных территорий России, но и сопредельных государств, в т.ч. Республики Беларусь.

Сопоставление законодательной и нормативно-правовой базы России и Белоруссии выявило ряд сходств в подходах и приоритетах российского и белорусского экологического законодательства [1]. Данный факт отчасти объясняется тем, что изначально проект Закона РСФСР «Об охране окружающей природной среды» (1991) готовился на основе положений европейских экологических законов второй половины 80-х годов прошлого века, концепция его позднее легла в основу действующих законов «Об охране окружающей среды» России (ФЗ «Об охране окружающей среды» с изменениями и дополнениями от 26.03.2022 г.) и Белоруссии (Закон республики Беларусь «Об охране окружающей среды» с изменениями и дополнениями от 04.01.2022 г.) [2; 3]. Сходно законодательство в части проведения экологического мониторинга, а также организации, охраны и регулирования хозяйственной деятельности в границах ООПТ [4].

На территориях обоих государств действуют системы мониторинга окружающей среды: Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС) – в Республике Беларусь и Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ) – в России. Целью обеих систем является обеспечение всех уровней управления необходимой экологической информацией для определения стратегии природопользования и принятия эффективных управленческих решений.

Системы экологического мониторинга обеих стран включают сходные методики проведения покомпонентного исследования, включая исследование особо охраняемых природных территорий. Важным звеном при этом и в Белоруссии, и в России является оценка состояния растительности [5]. При наблюдениях проводится как оценка состояния естественных растительных экосистем, так и отдельных объектов растительного мира. Выявляются факторы, представляющие угрозы для функционирования растительных экосистем ООПТ. По результатам исследований производится лесопатологическая оценка состояния растительности ООПТ.

В Российской Федерации и Республике Беларусь во многом совпадают институты нормирования и мониторинга. Так же как и в России, в Республике Беларусь ведется

Красная книга, основанная на аналогичных принципах и имеющая те же цели и задачи. Большая часть терминологии (компоненты природной среды, мониторинг, качество окружающей среды и т.д.) и методической основы проведения экологических исследований в России и Белоруссии во много совпадает.

Сходство процедур проведения исследований природных (в т.ч. растительных) объектов в экологическом законодательстве Российской Федерации и Республики Беларусь позволило применить их на практике при проведении лесопатологической оценки состояния растительности в границах ООПТ г. Москвы.

Объект представленного исследования – растительный покров южного участка природного заказника «Северный» (СВАО, г. Москвы).

Цель исследования состояла в лесопатологической оценке состояния растительности на территории ПЗ «Северный» г. Москвы.

Для достижения поставленной цели решались задачи, включающие: анализ данных информационных источников по теме исследования; подбор, изучение и использование методик проведения оценки состояния растительности; интерпретацию результатов исследования экологического состояния флоры в 2012-2021 гг. на исследуемой территории ПЗ «Северный» г. Москвы.

Материал и методы исследования

Рассматриваемая территория северного участка ПЗ «Северный», площадью 9,98 га, расположена на севере Москвы и примыкает к внешней стороне МКАД восточнее Дмитровской развязки. Большую часть территории занимает березовый лес, прерванный в благоустроенный парк. Наряду с березой повислой в составе древостоя изредка встречаются ель европейская, сосны. В наземном покрове преобладают лесные виды трав.

На рассматриваемой территории присутствуют:

- злаковая газонная ассоциация с нарушенным травяным покровом, неоднородным (80%) проективным покрытием (сеяный и выкашиваемый газон) с большой примесью сорных трав;

- березняк травяной. Травянистый ярус нарушен, состоит из сорно-лесных и сорных видов. Проективное покрытие неоднородное (40%). В составе растительного покрова – большое число сорных видов;

- липняк травяной из сорно-лесных и сорных видов, нарушенный, с неоднородным (35%) проективным покрытием;

- ивняк опушечный представлен сложной смесью пурпурной и самосевных ив. Ассоциация возникла в результате заболачивания территории. Травянистый ярус нарушенный, состоит из сорно-лесных и сорных видов. Проективное покрытие неоднородное (40%). В составе растительного покрова большое число сорных видов;

- бурьянно-разнотравная растительность с неоднородным (70%) проективным покрытием. Имеются большие заросли инвазионных видов: американской астры, золотарника гигантского и череды облиствен-ной. Территория местами закустарена.

Лесопатологические исследования, проводимые осенью 2020 – весной 2021 года, заключались в оценке общего состояния насаждений, выявлении участков насаждений с нарушенной устойчивостью и выявлении очагов вредителей. Они включали применение метода маршрутного наблюдения и визуального осмотра с использованием фотофиксации с целью корректировки ранее полученных (2012 г.) данных [6].

Для этого на начальном этапе было произведено изучение и анализ имеющейся (2012 г.) отчетной документации ООО «Фирма «Мон-Компани» по лесопатологическим исследованиям лесопарка [6]. Далее на основе имеющегося графического материала и его описания были составлены маршруты по территории лесопарка, охватывающие уязвимые фитоценозы [7]. В результате маршрутные наблюдения охватили выделы № 10, 19, 37, 38, 52, 72, 8, 91-93, в границах которых ранее были замечены различные виды флористических вредителей и заболеваний. По мере проведения маршрутной съёмки, включающей по несколько выездов на место в осенний и весенний периоды, осматривались и прилегающие территории. Данные заносились в полевой дневник и фиксировались на картосхеме. В случае обнаружения дополнительных пораженных объектов также производилась их графическая, текстовая и фотографическая фиксации [8]. На следующем этапе производилась обработка полученной информации, включающая совмещение имеющихся картосхем экологического состояния растительности, а также дополнение имеющихся «проблемных» выделов актуальными данными в графическом редакторе Adobe Illustrator.

В качестве графической основы для составления картосхемы с областями заболе-

ваемости растительности была использована существующая схема биологической устойчивости насаждений в масштабе 1:2000. Дальнейшая обработка графической основы производилась послойно в графическом редакторе Adobe Illustrator CS4 путем «склеивания» слоев «Биоустойчивости» и «Лесопатологии». Результаты полевых исследований позднее дополнили данные составленной картосхемы лесопатологического состояния растительности (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты ранее проведенного (2012 г.) лесопатологического обследования [6], выполненного с целью оценки общего состояния насаждений, выявили перечень вредителей и болезней растительности.

Одним из наиболее распространенных заболеваний на территории заказника является тиростромоз (или усыхание). Данное заболевание вызывает гриб – *Thyrostroma compactum* (Sacc). На коре веток и коре побегов возникают темно-бурые большие некрозные пятна (рис. 1). После этого кора отмирает, а ветви засыхают. Впоследствии крона редет, а деревья утрачивают свою пышность. На поверхности коры отчетливо заметны приплюснутой формы бородавки черного цвета – это плодовые тела гриба. Гриб зимует в коре пораженных ветвей.

Это самое распространенное заболевание молодых деревьев. Чаще всего такому заболеванию подвержены липняки.



Рис. 1. Тиростромоз (фото автора)

Менее распространена на территории лесопарка розеткообразующая ивовая галлица (*Rhabdophaga rosaria*). Личинки галлицы живут, растут и питаются на ивах.

Личинка обеспечивает себе жизнь в комфортных, безопасных условиях, высасывая сок и поедая ветку ивы, не задевая листьев, преобразует побег и листья в более или менее замкнутую камеру (рис. 2).



Рис. 2. Галлы (фото автора)

Трутовик настоящий (лат. *Fomes fomentarius*) – широко распространённый гриб-паразит, наносящий урон лесному и парковому хозяйству при поражении живых деревьев. Трутовик окаймлённый (лат. *Fomitopsis pinicola*) – достаточно распространённый гриб-сапрофит, вызывающий бурую гниль. Растёт на валежнике, пнях, сухостое большинства лиственных и хвойных пород. Может поражать и ослабленные живые деревья. Плодовые тела на живых деревьях обычно вырастают в нижней части дерева.

Четырехточечная хвойная златка (лат. *Anthaxia quadripunctata*) – вид жуков-златок. Обитают на хвойных деревьях. Личинки златки протачивают под корой извилистые, короткие, плоские ходы неправильной формы, наполненные буровой мукой.

Феллину точечный (*Phellinus punctatus*) – гриб. Поражает преимущественно лиственные породы и очень редко – хвойные породы (можжевельник, сосна). Провоцирует развитие процесса гниения древесины. Чаще разрушение древесины начинается в коре, откуда быстро распространяется внутрь ствола. Нередко гниль из стволов проникает в корни. Гриб снижает устойчивость деревьев к ветру, что приводит к бурелому и потере деловой древесины. Часто встречается в городских насаждениях, особенно в зонах с высокой рекреационной нагрузкой.

Для того чтобы оценить экологическое состояние растительного покрова на рассматриваемой территории южного участка ПЗ «Северный», автором была составлена картосхема лесопатологического состояния растительности (рис. 3).

На первоначально составленной картосхеме было выделено несколько областей с заболеваниями растительности: на выделе № 10 обнаружены феллину точечный и четырехточечная хвойная златка. На выделах № 52, 72, 81, 91-93 замечен тиростромоз. На выделе № 38 обнаружен трутовик настоящий и на выделе № 71 – трутовик окаймлённый. На выделе № 19 замечена розеткообразующая ивовая галлица. На обследуемом объекте наиболее пострадали от вредителей и болезней выделы с примесью липы мелколистной, берёзы повислой, ели европейской. Именно эти ослабленные деревья и стали в первую очередь объектами заселения вредителями и объектами поражения возбудителями различных заболеваний.

Позднее в процессе исследования были подтверждены ранее выявленные (2012 г.) участки лесопатологии и дополнены новыми местами находок (2021 г.) древесных паразитов (рис. 1): тиростромоза (выделы № 59, 90-102); настоящего трутовика (выделы № 19, 41, 42); ложного трутовика (выдел № 78); окаймлённого трутовика (выдел № 79); хвойной златки (выдел № 10); галлицы ивовой (выдел № 10); точечного феллинуса (выдел № 19).

Характеристики растительности (основные ПТК, устойчивость ландшафтов, растительные ассоциации, лесопатологическое состояние и нарушенность растительного покрова, рекреационная нагрузка на территорию), учтённые в 2012 г., по большей степени подтвердились, а также дополнились данными исследований 2021 г. в части оценки лесопатологической ситуации на территории заказника «Северный».

В итоге на выделе № 10 обнаружены феллину точечный и четырехточечная хвойная златка (данные 2012 г. подтвердились в 2021 г.). Наличие точечного феллинуса замечено также на выделе № 19 в 2021 г. На выделах № 52, 72, 81, 91-93 в 2012 г. замечен тиростромоз. В 2021 г. обнаружено местонахождение тиростромоза в выделах № 59, 90, 100-102 в дополнение к ранее выявленным. В 2012 г. на выделе № 38 обнаружен трутовик настоящий и на выделе № 71 – трутовик окаймлённый. В 2021 г. настоящий трутовик обнаружен в границах выделов № 41, 42, ложный трутовик – на выделе № 78 и окаймлённый трутовик – на выделе № 79. На выделе № 19 в 2012 г. была замечена розеткообразующая ивовая галлица. Её распространение выявлено также в границах выдела № 10 в 2021 г.

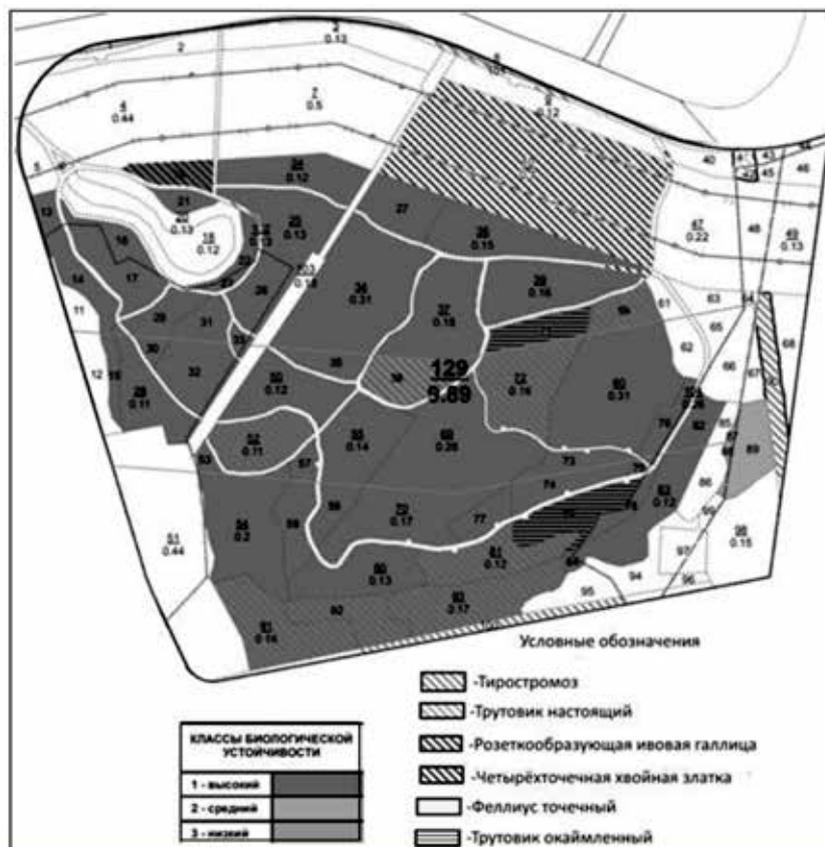


Рис. 3. Картосхема лесопатологического состояния растительности

Выводы

1. Сопоставление законодательной и нормативно-правовой базы России и Белоруссии выявило ряд сходств в подходах и приоритетах российского и белорусского экологического законодательства и нормативно-правовой документации, а также методической основы проведения экологических исследований.

2. Результаты лесопатологических исследований, проведенных в период с 2012 по 2021 гг., подтвердили тенденцию изменения экологического состояния растительности в сторону его ухудшения:

- растительность территории частично поражена древесными паразитами: тиростромозом, трутовиком (настоящим, ложным и окаймленным), хвойной златкой, ивовой галлицей и точечным феллинусом;
- выявленные в 2012 году участки лесопатологии дополнены местами находок древесных паразитов 2021 года: тиростромоза и ложного трутовика на юге парка; настоящего трутовика, хвойной златки, точечного феллинуса и галлицы ивовой – на западе и севере территории; окаймленного трутовика – в центральной части лесопарка.

Список литературы

1. Анисимов А.А. Экологическое законодательство России, Казахстана и Беларуси: сравнительно-правовой аспект // Гуманитарные и юридические исследования. 2020. № 3. С.119-126.
2. Федеральный закон РФ от 26.03.2022 г. «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 25.10.2022).
3. Закон Республики Беларусь от 04.01.2022 г. «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=v19201982> (дата обращения: 25.10.2022).
4. Федеральный закон РФ от 28.06.22г. «Об особо охраняемых природных территориях». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/10107990/> (дата обращения: 25.10.2022).
5. Закон Республики Беларусь от 15.11.2018г. «Об особо охраняемых природных территориях». [Электронный ресурс]. URL: https://kodeksyby.com/zakon_rb_ob_osobo_ohranyaemyh_prirodnih_territoriyah.htm (дата обращения: 25.10.2022).
6. Проект мероприятий по сохранению, развитию и воспроизводству насаждений на территории ГПБУ «Управление ООПТ по СВАО». М.: ООО «Фирма «Мон-Компани»». Т. 3. 2012. 106 с.
7. Иванова Е.Ю. Опыт оценки развития эрозийных процессов на охраняемых территориях г. Москвы (на примере природно-исторического парка Государственного музея-заповедника «Царицыно») // Вестник МГОУ. 2019. №3. С. 95-104.
8. Захаров К.В., Медведков А.А., Иванова Е.Ю. Технология геоэкологической оценки урбанизированных территорий (на примере Ближнего Подмосковья) // InterCarto.InterGIS: материалы Международной конференции. М.: Изд-во Московского университета, 2019. Т. 25. Часть 1. С. 352-361.

УДК 502.4

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ И ТУРИСТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Караганова Н.Г., Еремеева С.С., Мартынкин С.В., Гаврилов О.Е., Михайлов Д.А.

*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: amazonka1@rambler.ru, Eremeeva_Svetlana1978@mail.ru,
aquarius777@rambler.ru, gavrilov-o@mail.ru*

В свете современных политических, экономических, социально-медицинских международных и российских реалий особое место уделяется развитию различных видов внутреннего туризма и возможностей полноценной рекреации и отдыха на территории Российской Федерации. Одним из основных объектов не только привычной для нас научной и просветительской деятельности, но и туристской привлекательности становятся особо охраняемые природные территории (далее – ООПТ), которые занимают почти 14% территории страны, довольно успешно реализуют национальные проекты (например, нацпроект «Экология») и стараются быть в тренде всех нововведений. В статье дан анализ современного состояния эколого-просветительской и туристской деятельности в ООПТ на территории густозаселенного и промышленно-развитого Приволжского федерального округа (далее – ПФО), основанный на выделении самых приоритетных видов данной деятельности, применении абсолютных (количественных), относительных (структурных) и авторских показателей (насыщенность ООПТ объектами эколого-просветительской и туристской деятельности; загруженность (посещаемость) ООПТ; транспортная доступность ООПТ). Апробация предложенных показателей проведена на 15 государственных природных заповедниках (далее – ГПЗ) и 10 национальных парках (далее – НП) округа путем составления баз данных по официальным сайтам сети Интернет, отражающих деятельность ООПТ на период 2020-2021 годы, математическими вычислениями, аналитической характеристикой территориальных различий эколого-просветительской и туристской деятельности в ООПТ. В статье проанализированы основные проблемы в сфере развития эколого-просветительской и туристской деятельности округа и даны рекомендации по их решению.

Ключевые слова: эколого-просветительская и туристская деятельность, особо охраняемая природная территория (ООПТ), Приволжский федеральный округ

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION AND TOURIST ACTIVITIES IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS ON THE TERRITORY OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT

Karaganova N.G., Eremeeva S.S., Martynkin S.V., Gavrilov O.E., Mikhailov D.A.

*Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary,
e-mail: amazonka1@rambler.ru, Eremeeva_Svetlana1978@mail.ru,
aquarius777@rambler.ru, gavrilov-o@mail.ru*

In the light of modern political, economic, socio-medical international and Russian realities, a special place is given to the development of various types of domestic tourism and opportunities for full-fledged recreation and recreation on the territory of the Russian Federation. One of the main objects not only of our usual scientific and educational activities, but also of tourist attraction are specially protected natural areas (hereinafter referred to as SPNA), which occupy almost 14% of the country's territory, quite successfully implement national projects (for example, the national project "Ecology") and try to be in the trend of all innovations. The article analyzes the current state of environmental education and tourism activities in protected areas on the territory of the densely populated and industrially developed Privolzhsky Federal District (hereinafter referred to as the Volga Federal District), based on the identification of the highest priority types of this activity, the use of absolute (quantitative), relative (structural) and author's indicators (saturation of protected areas with objects of environmental education and tourism activities; workload (attendance) of protected areas; transport accessibility of protected areas). Approbation of the proposed indicators was carried out in 15 state nature reserves (hereinafter referred to as SPZ) and 10 national parks (hereinafter referred to as NP) of the district by compiling databases on official Internet sites reflecting the activities of protected areas for the period 2020-2021, mathematical calculations, analytical characteristics of territorial differences in environmental education and tourism activities in protected areas. The article analyzes the main problems in the development of environmental education and tourism activities of the district and gives recommendations for their solution.

Keywords: environmental education and tourism activities, specially protected natural area (SPNT), Volga Federal District

Ориентация на устойчивое развитие в сфере экологии территории нашей страны подразумевают широкое внедрение процессов экологического образования, воспитания и просвещения среди различных слоев населения. Специфические особенности

особо охраняемых природных территорий, таких как государственные природные заповедники и национальные парки, созданных для сохранения живой природы, позволяет им заниматься не только научно-исследовательской и эколого-просвети-

тельской работой, но и в свете последних тенденций – эколого-туристской деятельностью. Эколого-просветительская и туристская деятельность ООПТ при правильном планировании, мониторинге и управлении может помочь развитию не только ООПТ, но и близлежащих территорий, а также стать источником финансовых инвестиций и экономического дохода, решением социальных, культурных и нравственно-духовных проблем населения различного возраста, интересным и познавательным эколого-туристским объектом.

Для Приволжского федерального округа с 25 государственными природными заповедниками и национальными парками, с разнообразными климатическими и ландшафтными условиями, приоритетами, направленными на экологическую безопасность [1], перспективы развития эколого-просветительского и туристского дела, несомненно, вызывают интерес, а выполнение научных исследований в данном направлении – безусловную актуальность.

Материал и методы исследования

К разрешенным видам эколого-просветительской деятельности на территории ООПТ, согласно «Концепции работы государственных природных заповедников и национальных парков Российской Федерации» [2], относятся 10 основных направлений, среди которых особое внимание в данной статье уделено развитию визит-центров, музеев, эколого-познавательного туризма.

Несмотря на актуальность развития экологического туризма в ООПТ, определенных в национальном проекте «Экология», целевых показателей по данной экскурсионно-познавательной и просветительской деятельности не установлено, за исключением увеличения количества посетителей. В этой связи актуально понимание «экологического туризма» как «... вида путешествий, совершаемых индивидуально либо небольшими группами под руководством специально подготовленных проводников, по маршрутам, проложенным в пределах ООПТ, среди охраняемых природных ландшафтов, в ходе которых туристы знакомятся с уникальными объектами, явлениями и обитателями природы с целью отдыха, экологического воспитания и природоохранного образования» [3]. Поэтому, на наш взгляд, анализ изучения эколого-просветительской и туристской деятельности на особо охраняемых природных территориях должен вестись при помощи следующих методов работы:

1. Определение целевых показателей (абсолютных и относительных), которые в качестве экологической информации находятся в свободном доступе и формирование по ним актуальной базы данных. Исходные данные для оценки предоставлены сайтами Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [4], информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ») [5], информационного портала «Экотуризм в России – путешествие по ООПТ» [6].

К группе абсолютных показателей следует отнести количественные показатели объектов эколого-просветительской и туристской деятельности на территории ООПТ (экологические тропы и маршруты, визит-центры, музеи) и количество посетителей. Вторая группа (относительные показатели) характеризуется структурными показателями эколого-просветительской и туристской деятельности (*структура объектов* (визит-центры, музеи, экотропы и маршруты) и инфраструктуры размещения; *структура экологических маршрутов и экологических троп* по способу передвижения (пешие, конные, водные и т.д.), по наличию маршрутов для особых групп туристов, по категориям сложности, по сезонной доступности; *структура посетителей*).

2. Возможное внедрение авторских показателей, расчеты по которым помогут проанализировать территориальные различия в осуществлении эколого-просветительской и туристской деятельности по ООПТ субъектов округа. К таким показателям относятся показатель насыщенности ООПТ объектами эколого-просветительской и туристской деятельности и показатель загруженности (посещаемости) ООПТ. В первом случае это отношение количества объектов (визит-центров, музеев, экологических маршрутов и троп) (шт.) к площади ООПТ (тыс. га или га), отражающий обеспеченность эколого-просветительской инфраструктурой в сравнении с другими ООПТ; во втором случае – отношение количества посетителей объектов ООПТ к площади ООПТ (тыс. га или га) – показывает загруженность (посещаемость) конкретного ООПТ в сравнении с другими. Оба показателя могут рассматриваться отдельно для природных заповедников и национальных парков, в целом для ООПТ субъекта.

3. Для изучения перспектив развития ООПТ важным вопросом становится выявление логистических связей и вычисление

транспортной доступности ООПТ. В связи с огромным количеством подходов к определению транспортной доступности объекта, необходимостью разнопланового набора данных и адекватного выбора территориальных единиц для расчета, использован показатель транспортной доступности ООПТ. Он выражен при помощи формулы Г.А. Гольца, который, опираясь на понятие «суточный бюджет времени человека», предложил метод расчёта средней продолжительности ежедневной поездки к месту работы в один конец – в нашем случае в ООПТ ($t_{тр. дост.}$) [7]. Исходя из того, что большинство экологических маршрутов рассчитано на 4-часовое пребывание в ООПТ и большинство посетителей добираются туда на личном транспорте или автобусном трансфере, критерием, разграничивающим контактные (граничащие) и неконтактные (не граничащие) территории, является время добывтия до места назначения 1,5 часа. Учитывая, что административно-территориальные единицы в ПФО составляют открытую систему, предпочтительными для посещения могут быть ООПТ соседних субъектов, если они удовлетворяют заявленным временным требованиям их достижения от административно-территориального центра. Уровень транспортной доступности для ООПТ целесообразно подразделять на 3 типа: низкий; средний; высокий.

$$t_{mp. дост.} = \frac{12,3 - t_{экс}}{6} \quad (1)$$

где $t_{экс}$ – средняя продолжительность посещения.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в округе насчитывается 15 государственных природных заповедников и 10 национальных парков. Наибольшая доля заповедников была создана в 90-ые годы XX века. Самым старым заповедником в округе является Жигулевский государственный биосферный заповедник имени И.И. Спрыгина (1927 г.) (Самарская область), самым молодым – государственный природный заповедник «Шайтан-Тау» (2014 г.) (Оренбургская область). Аналогичная картина наблюдается и по времени создания национальных парков. Наибольшая активность приходится на 90-ые годы XX века. Раньше всех был создан национальный парк в Самарской области «Самарская Лука» (1984 г.), самым поздним по времени (2017 г.) является соз-

дание НП «Сенгилеевские горы» (Ульяновская область).

В 2021 г. на территории ООПТ Приволжского федерального округа было организовано 108 экологических маршрута, что составляет 17,5% от всех общероссийских экологических туров. Среди маршрутов заповедников и национальных парков преобладают пешие маршруты, но среди экологических туров национальных парков довольно большое разнообразие их типов (появление конных, вело- и снегоходных маршрутов).

По сравнению с 2020 г. количество экологических маршрутов снизилось на 19 и 38,1% в ГПЗ и НП соответственно. Такие различия в снижениях связаны с оптимизационными процессами в количественном и качественном плане, а также условиями создания и современной деятельности ООПТ. Следует помнить, что, во-первых, заповедники характеризуются ограниченностью территории, на которой возможна организация туров (не более 20-30% территории), в отличие от национальных парков, где менее строгие правила для реализации туристской деятельности, и где эта деятельность является одной из основных функций данных ООПТ. Во-вторых, туристские маршруты пространственно совпадают с большими территориями ООПТ (особенно, заповедников) и во многих из них были проложены задолго до появления последних. Например, маршруты Вишерского государственного заповедника, заповедника «Басеги (Пермский край), Южно-Уральском (Республика Башкортостан) существуют с 30–40-х гг. XX в, а периодом организации этих ООПТ являются только 50-90-ые годы XX в. В – третьих, требования, которые предъявляются к ООПТ и к туристскому маршруту во многом схожи между собой – значительные по площади или протяженности территории, слабо освоенные и слабо заселенные местности, а значит, для качественного ведения эколого-просветительской деятельности и эколого-познавательного туризма, необходимо не создавать и продвигать новые маршруты, а расширять и обустривать уже существующие, чем и оправдано количество их сокращения [8]. По данным сайтов ООПТ, многие маршруты относятся к разряду «временно нефункционирующих» по различным причинам, другие – объединены с наиболее интересными и перспективными, третьи – плохо или не оборудованы совсем и в настоящее время не заявлены как маршруты.

Большая часть экотроп имеют линейную форму и обладают эколого-просветительской направленностью. Почти 96% троп и маршрутов предназначен для всех категорий туристов и относятся к категории «простые» и «средние». 18% троп и маршрутов могут посетить люди с ограниченными возможностями. Большая сезонная доступность маршрутов отмечена в теплый период года. По количеству экологических маршрутов лидируют ООПТ Самарской области и Республики Башкортостан (31 и 20 единиц), наименьшее количество маршрутов зафиксировано в Ульяновской области (1 ед. в НП «Сенгилеевские горы»).

Помимо экологических троп и маршрутов, важную роль играют функционирующие визит-центры и музеи, которых на 2021 г. насчитывается 19 и 17 в ГПЗ и НП соответственно. Некоторые визит-центры совмещают в себе функции музея, располагая при этом ещё и выставочными площадками, и относятся к разряду музейно-экскурсионных или музейно-информационных комплексов.

При целенаправленном развитии экологического туризма необходимо нормировать и регулировать потоки туристов, чтобы не превращать эколого-познавательный туризм в массовый и избежать нарушения экологического равновесия, т.е., по своей сути, полноценно управлять данной деятельностью на территории ООПТ. За 2020 год количество посетителей ООПТ составило свыше 700 тыс. человек, даже, несмотря на ограничительные меры. Самыми предпочитаемыми стали объекты на открытом воздухе и способствующие активному отдыху – экологические тропы и маршруты.

По показателю насыщенности объектами инфраструктуры для эколого-просветительской и туристской деятельности ГПЗ и НП среди субъектов ПФО лидируют Саратовская область, Чувашская Республика и Республика Мордовия, где наибольшее соотношение инфраструктурных объектов к площадям ООПТ. Самая незначительная насыщенность отмечена для ООПТ Ульяновской области и Пермского края. Среди отдельных ООПТ первенство принадлежит четырем заповедникам (Присурскому (Чувашская Республика), Мордовскому (Республика Мордовия), Волжско-Камскому (Республика Татарстан), Шайтан-Тау (Оренбургская область)) и национальному парку «Хвалынский» (Саратовская область). Это говорит о правильности выстроенной политики развития количественной и каче-

ственной инфраструктуры, но в тоже время и об имеющихся возможностях для ее оптимизации в сторону увеличения и улучшения.

Наибольший показатель посещаемости отмечен для ООПТ Саратовской области, которая существенно опередила все остальные субъекты округа, наименьший – у особо охраняемых территорий Оренбургской области и Пермского края (по 0,01). В разрезе ООПТ Жигулевский государственный биосферный заповедник имени И.И. Спрыгина (Самарская область) оказался в числе территорий с наибольшим показателем (4,31), в то время как для Вишерского заповедника (Пермский край) он составил всего 0,001. Несмотря на то, что одни из самых высоких показателей у природных заповедников (4,31-2,66) (Жигулевский государственный биосферный заповедник имени И.И. Спрыгина (Самарская область), Волжско-Камский заповедник (Республика Татарстан), Шульган-Таш (Республика Башкортостан), в целом, индекс посещаемости природных заповедников ниже (0,76), чем национальных парков (0,83). Самым посещаемым парком по данному показателю является национальный парк «Хвалынский», хотя в абсолютных показателях его превосходит НП «Самарская Лука».

Самая высокая транспортная доступность при расчетах наблюдается у ООПТ Республики Марий Эл, где несомненное первенство принадлежит НП «Марий Чодра». Местоположение парка позволяет не нарушать отметку 1,5 часовой поездки и легко добраться жителям гг. Йошкар-Ола, Казань, Чебоксары. Расстояние от г. Йошкар-Ола до государственного природного заповедника позволяет потратить на дорогу чуть больше часа, но посещение его жителями других контактных территорий (например, Кировской или Нижегородской областей) довольно затруднительно из-за превышенного времени добывтия.

Средняя транспортная доступность отмечена для ООПТ республик Татарстан, Мордовия, Чувашия, Самарской и Ульяновской областей. Так, до Волжско-Камского государственного природного заповедника возможно довольно быстро добраться из Казани, в отличие от национального парка «Нижняя Кама», где главным центром притяжения является г. Набережные Челны. Похожая картина складывается с ООПТ Самарской области: в них главными посетителями являются жители г. Тольятти, а вовсе не административного центра, который располагается гораздо дальше, чем 1,5 часовая

доступность. Благодаря тому, что г. Тольятти является крупным городом (700 тыс. человек), эти ООПТ не испытывают проблем с местными посетителями. Для нацпарка «Чаваш Вармане», расположенного в Шемуршинском районе Чувашской Республики, наилучшей контактной территорией можно назвать Ульяновскую область, когда из г. Ульяновска время добывтия составляет 1,2 часа, в отличие от поездки из г. Чебоксары (от 2 часов 10 мин).

Низкая транспортная доступность зафиксирована у большинства ООПТ разных субъектов, особенно Нижегородской, Оренбургской, Саратовской, Кировской областей, Пермского края, Республик Удмуртия, Башкортостан, а также Республик Мордовия, Чувашия и Самарской области. Для 11 заповедников (Нургуш, Керженский, Оренбургский, Шайтан Тау, Вишерский, Басеги, Мордовский, Присурский, Башкирский, Шульган Таш, Южно-Уралский) и 4 национальных парков (Бузулукский бор, Хвалынский, Башкирия, Нечкинский) время добывтия гораздо больше как от центров собственных субъектов, так и от центров контактных территорий. Поэтому, для регулирования потоков туристов таким объектам следует рассмотреть стратегию, направленную на более длительные маршруты с ночевкой и соответственно заниматься вопросами размещения. Показатель транспортной доступности в конечном итоге может быть одним из факторов, влияющих на посещаемость.

Выводы

В заключении необходимо отметить, что особо охраняемым природным территориям ПФО в сфере развития эколого-просветительской и туристской деятельности свойственны все те же проблемы, которые выявляются на всех ООПТ Российской Федерации, а именно: необходимость создания полноценной базы организационно-материального обеспечения, начиная от современных визит-центров, издания информационно-рекламной продукции и заканчивая формированием маршрутов активного экологического туризма с полноценной туристской инфраструктурой; расширение и укрепление методической базы, обмен отечественным и зарубежным опытом, созда-

ние собственных научно-методических разработок; подготовка специалистов в области заповедного дела и экологического просвещения, обладающие системой знаний в области естественнонаучных дисциплин, управления, юриспруденции и способные наиболее комплексно «видеть» проблемы [9] и находить решения в экологическом и экономико-социальном аспектах; внедрение комплексной работы по всем видам эколого-просветительской деятельности при достаточном федеральном финансировании; тесное сотрудничество специалистов ООПТ с населением прилегающих территорий, посетителями, образовательными организациями, всеми уровнями власти и СМИ. Решения вышеуказанных проблем должно способствовать развитию ООПТ не только как природоохранных объектов, но и как полноценных эколого-просветительских и экотуристских кластеров.

Список литературы

1. Gavrilov O.E., Ereemeeva S.S., Karaganova N.G. et al. Environmental safety of the Privolzhsky Federal District: Problems and prospects for implementation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6, Krasnoyarsk, November 18–20, 2021. Krasnoyarsk, 2022. P. 022024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/2/022024.
2. Распоряжение Правительства РФ от 22.12.2011 n 2322-р «Об утверждении концепции развития системы особо охраняемых природных территорий федерального значения на период до 2020 года» (вместе с «Планом мероприятий по реализации концепции развития системы особо охраняемых природных территорий федерального значения на период до 2020 года»). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902322381> (дата обращения: 12.12.2022).
3. Гусанов, А.А. Управление экологическим туризмом в регионах России: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Москва, 2010. 26 с.
4. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 12.12.2022).
5. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»). [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/filter/reset> (дата обращения: 12.12.2022).
6. Экотуризм в России – путешествие по ООПТ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.natureussia.travel> (дата обращения: 12.12.2022).
7. Казаков Н.А., Еремеева С.С. География транспорта и транспортная логистика: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 160 с.
8. Зверева Е.Н. Эколого-просветительская деятельность заповедников Российской Федерации и Пермской области // Географический вестник. 2006. № 1. С. 131-140.
9. Караганова Н.Г., Миронов А.А., Гаврилов О.Е., Михайлова М.Ю. Оценка потребности в специалистах-экологах на промышленных предприятиях Чувашской Республики // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 80-85.

УДК [556.555+574.5]:51-7

ВЫЯВЛЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОЗЕР ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИШИМСКОЙ РАВНИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Корнеенкова Н.Ю., Расулова А.М.

*Институт озероведения Российской академии наук – Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург,
e-mail: ntkorn87@gmail.com*

В настоящее время, когда существующая сеть наблюдений за природными объектами, в том числе водными, крайне разрежена и не отвечает степени современных экологических угроз, как никогда актуальным является вопрос выделения водоемов с особыми характеристиками на заповедных территориях, основная задача которых состоит в сохранении природных комплексов во всем их многообразии. На примере водоемов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Тоболо-Ишимского междуречья продемонстрирована возможность использования методов машинного обучения для идентификации аномальных значений морфометрических характеристик озерных котловин. Морфометрические параметры озерных котловин получены с помощью дешифрирования водных поверхностей по спутниковым снимкам Sentinel-2. Среди методов машинного обучения для идентификации аномалий был выбран одноклассовый метод опорных векторов (One Class Support Vector Machine (OC-SVM)), основанный на классификации объектов в многомерном пространстве признаков. Идентификация аномальных объектов происходит путем построения в пространстве признаков гиперплоскости, разделяющей объекты. Гиперплоскость строится таким образом, что все нормальные данные находятся с одной ее стороны. Аномальным объектом считается точка в n-мерном пространстве, которая не проходит за гиперплоскость. Применение алгоритма одноклассового метода опорных векторов к выборке морфометрических параметров озер, расположенных в пределах ООПТ юга Западной Сибири, показало, что выбранная группа водных объектов является достаточно однородной. В ней были идентифицированы 10 объектов, признанных аномалиями, однако по своим морфометрическим характеристикам они не сильно отклоняются от статистических средних оценок всей выборки. Однако аномальные озера требуют к себе особого внимания в силу взаимозависимости морфометрических параметров и гидрологических процессов, происходящих в водной экосистеме.

Ключевые слова: уникальные озера, Ишимская равнина, поиск аномалий, выбросы, методы машинного обучения, одноклассовый метод опорных векторов

IDENTIFICATION OF UNIQUE LAKES OF PROTECTED AREAS OF THE ISHIM PLAIN USING GEOINFORMATION SYSTEMS

Korneenkova N.Yu., Rasulova A.M.

*Institute of Limnology RAS – Saint Petersburg Federal Research Center RAS, Saint Petersburg,
e-mail: ntkorn87@gmail.com*

At present, when the existing network of observations of natural objects, including water ones, is extremely sparse and does not correspond to the degree of modern environmental threats, the issue of identifying water bodies with special characteristics in protected areas, the main task of which is to preserve natural complexes in all their diversity. On the example of reservoirs of specially protected natural territories (protected areas) the possibility of using machine learning methods to identify abnormal values of morphometric characteristics of lake basins is demonstrated in the Tobolo-Ishim interfluvium. Morphometric parameters of lake basins were obtained by decoding water surfaces from Sentinel-2 satellite images. One Class Support Vector Machine (OC-SVM), based on the classification of objects in a multidimensional feature space, was chosen among the machine learning methods for identifying anomalies. Identification of anomalous objects occurs by constructing in the space of signs of a hyperplane separating the objects. The hyperplane is constructed in such a way that all normal data is on one side of it. An anomalous object is a point in n-dimensional space that does not pass through a hyperplane. The application of the algorithm of the single-class method of reference vectors to the selection of morphometric parameters of lakes located within the protected areas of the south of Western Siberia showed that the selected group of water bodies is fairly homogeneous. 10 objects recognized as anomalies were identified in it, however, according to their morphometric characteristics, they do not deviate much from the statistical average estimates of the entire sample. However, abnormal lakes require special attention due to the interdependence of morphometric parameters and hydrological processes occurring in the aquatic ecosystem.

Keywords: unique lakes, Ishim Plain, anomaly search, outliers, machine learning methods, one-class support vector machine

Особенности климатических и почвенных условий, а также географического положения обуславливают интенсивное сельскохозяйственное освоение лесостепной зоны юга Западной Сибири.

Большая часть Ишимской равнины относится к бессточным районам, в пределах

которых поверхностные воды характеризуются низким потенциалом самоочищения. Установлено, что в районах интенсивного животноводства техногенная миграция веществ сопровождается изменением химического состава и общей минерализации природных вод [1–3]. При этом существуют

пая сеть наблюдений за природными объектами, в том числе водными, крайне разрежена и не отвечает степени современных экологических угроз.

При значительном ухудшении экологического состояния озер на фоне активной антропогенной деятельности требуется принятие специальных консервативных мер для охраны наиболее ценных объектов природы. Выделение водоемов с особыми характеристиками как никогда актуально на заповедных территориях, основная задача которых состоит в сохранении природных комплексов во всем их многообразии.

Задача настоящего исследования – на примере водоемов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Тоболо-Ишимского междуречья продемонстрировать возможность использования ГИС (с целью определения морфометрических характеристик неизученных водоемов) и кластерных моделей идентификации аномальных значений с дальнейшей экспертной оценкой их уникальных характеристик.

Район исследования расположен в средней части Тоболо-Ишимского междуречья в пределах плоской Ишимской равнины, слабо наклонной в северном направлении, со средними высотами 100 м.

Ишимская равнина сложена лессовидными суглинками различного механического состава, глинами, аллювиальными супесями и песками, которые развиты на континентальных отложениях неогенового возраста. В южной части равнины, соответствующей региону исследования, преобладает денудационный рельеф. Гидрографическая сеть представлена озерами и болотами, речная сеть выражена слабо, преимущественно на севере равнины.

Для поверхности равнины характерны суффозионные котловины, вытянутые пологие гряды с широкими плоскими вершинами и пологими склонами. Широко распространены межгрядные ложбины, а также фрагменты днищ древних русел и речных долин, в которых размещаются крупные – площадью несколько десятков квадратных километров (Сиверга, Медвежье и др.), а также средние по площади озера, нередко соленые или горько-соленые.

Тоболо-Ишимское междуречье относится к регионам водного дефицита, тем не менее характерной чертой гидрографической сети рассматриваемой территории является значительная озерность. Помимо крупных и средних по величине остаточных водо-

емов, распространены также многочисленные бессточные озера, занимающие микрозападины площадью, как правило, менее 1 км², которые приурочены к древним поверхностям выравнивания, развитым на дочетвертичных отложениях и перекрытых маломощным лессовидным покровом – пылеватыми известковистыми суглинками и супесями лессовидного облика [4]. Берега таких озер в основном слабо изрезанные, низменные, зачастую заболоченные. Значительная часть пресных мелководных озер подвержена зарастанию высшей водной растительностью. Наличие большого числа водных объектов, расположенных в пределах генетически однородной территории – поверхности выравнивания дочетвертичного возраста, дает хорошую перспективу для исследования морфометрических характеристик озер математическими методами идентификации аномалий.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании рассмотрено 161 озеро в границах Частоозерского государственного природного зоологического заказника, а также в пределах западной части водно-болотных угодий «Озера Тоболо-Ишимской лесостепи», объединяющих несколько заказников.

Оценка количества водоемов и площадей их водной поверхности базировалась на автоматизированном дешифрировании данных Sentinel-2 с использованием многоканального спектрального индекса AWEI (Automated Water Extraction Index) [5]. Обработка данных Sentinel-2 и извлечение площадных характеристик водных объектов осуществлялись в программной среде QGIS.

Для получения морфометрических параметров озер проанализирован снимок Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м за 11 октября 2017 г., полученный посредством сервиса Earth-Explorer.

В ходе автоматизированной обработки спутникового изображения производилась векторизация растровых данных. Методом визуального дешифрирования выполнялось исправление поврежденной или неправильной геометрии полигонов, удаление островов высшей водной растительности и уточнение площадей, после чего производилось вычисление морфометрических характеристик озер. Из итоговых расчетов были исключены водоемы менее 0,005 км² в связи с погрешностями определения их площадных и линейных характеристик.

Таблица 1

Статистические оценки морфометрических характеристик
161 озера Ишимской равнины

Параметр	Мин.	Макс.	Среднее	Стандартное отклонение	Дисперсия	Асимметрия	Эксцесс
S	0,02	1,78	0,44	0,33	0,11	1,38	2,12
L	0,2	2,67	0,81	0,37	0,13	1,58	4,55
W_{max}	0,16	1,33	0,64	0,24	0,06	0,40	-0,23
W_{avg}	0,12	1,01	0,48	0,18	0,03	0,34	-0,18
P	0,72	8,84	3,11	1,39	1,93	1,09	1,63
k_s	0,22	0,84	0,62	0,11	0,01	-1,03	1,47
$1/k_s$	1,19	4,46	1,69	0,46	0,21	3,29	14,19
S^*	$6,42 \cdot 10^{-8}$	$4,62 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$8,62 \cdot 10^{-7}$	$7,42 \cdot 10^{-13}$	1,38	2,12
K	0,6	0,31	0,36	0,04	$1,90 \cdot 10^{-3}$	2,58	9,17

Районирование в целях выделения статистических совокупностей озер с учетом рельефа территории проводилось на основе данных геоморфологической схемы масштаба 1:2 500 000 [6].

В рамках работ были получены площадные (S , км²) и линейные характеристики 161 водоема в пределах ООПТ Тоболо-Ишимского междуречья. Линейные характеристики включали: длину (L , км), среднюю (W_{avg} , км) и максимальную (W_{max} , км) ширину и периметр (P , км). Дополнительно рассчитывались: коэффициент сжатия зеркала озера ($k_s = W_{avg} / L$), показатель удлиненности ($1/k_s$), безразмерная площадь озера $S^* = S / S_{KS}$ (относительно площади Каспийского моря), а также коэффициент изрезанности береговой линии ($K = \frac{L}{2\pi R} = \frac{L}{2\sqrt{\pi S}}$).

Из числа озер, по которым были получены площадные и линейные характеристики, 150 озер не превышают по площади 1 км².

Статистические оценки морфометрических параметров изучаемых озер Тоболо-Ишимского междуречья приведены в табл. 1. Оценки показывают, что распределение большинства параметров близко к гауссовому, а для W_{avg} является таковым. Несмотря на то, что распределение морфометрических параметров легко приводится стандартными преобразованиями к нормальному виду и можно применить статистические критерии идентификации выбросов, как это было сделано в [7], в данном исследовании для того, чтобы не трансформировать исходную выборку, воспользуемся нестатистическим методом поиска аномалий, не требующим нормального распределения.

Для анализа выборки использовался одноклассовый метод опорных векторов (One Class Support Vector Machine (OC-SVM)). Реализация алгоритма OC-SVM осуществлялась с помощью библиотеки Python Scikit-learn. Группа методов опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) основывается на классификации данных [8, 9]. В этой группе методов выделения отдельных классов происходит с помощью разделения n -мерного пространства признаков объектов гиперплоскостью, которая располагается так, чтобы расстояние между классами было максимальным.

Пусть $\{(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i)\} \in X$, – входные данные, представляющие собой векторы размерности n , а $X \in R^n$, где R^n – пространство признаков. Каждый x_i – вектор данных, а y_i – отвечает за класс, к которому принадлежит x_i . Основной задачей всех алгоритмов, основывающихся на методе опорных векторов, является нахождение функции $f(x)$, такой что отклонение от y_i меньше ε и $f(x)$ – максимально плоская. В простейшем случае $f(x)$ может иметь линейный вид [10], т.е.

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b, \quad (1)$$

где \langle , \rangle – скалярное произведение в X , w – вектор нормали к гиперплоскости, параметр b отвечает за смещение гиперплоскости относительно начала координат. Поскольку было принято допущение, что гиперплоскость описывается линейным уравнением (1), то для этого норма $\|w^2\| = \langle w, w \rangle$ должна быть минимальна. Тогда задачу поиска такой $f(x)$, которая аппроксимирует все $\{(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i)\}$ с точностью до ε можно сформулировать как

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 \right\}, \text{ при } \begin{cases} y_i - \langle w, x_i \rangle - b \leq \varepsilon \\ \langle w, x_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

То есть решается задача выпуклой оптимизации.

Особенностью алгоритма одноклассового метода опорных векторов является применение так называемой функции ядра, которая преобразует исходное пространство признаков размерности n в пространство размерности m , причем $m > n$. Гиперплоскость, отделяющая нормальные данные от аномальных, строится в пространстве R^m .

При поиске аномалий морфометрических параметров озер Тоболо-Ишимского междуречья использовалось гауссово ядро с радиальной базисной функцией, имеющее вид [11]:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(\gamma \|x_i - x_j\|^2\right), \quad (3)$$

где γ – параметр ядра, который в данной работе выбран пропорционально матрице данных.

Как и в простейшем случае с линейной функцией (1) для группы методов опорных векторов, решается задача выпуклой оптимизации, аналогичная (2), которую можно сформулировать следующим образом:

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 \right\} + \frac{1}{\eta n} \sum_{i=1}^n \xi_i - \rho, \quad (4)$$

где ξ_i – дополнительные переменные, характеризующие значения ошибки для точек в X , η – параметр регуляризации, который отвечает за верхнюю границу доли выбросов, ρ – параметр, характеризующий максимальное расстояние гиперплоскости

от начала координат. В этом случае функция решения $f(x)$ приобретает более сложный вид, в отличие от линейной функции (1), через кусочно-постоянную функцию $\text{sgn}(x)$ и функцию ядра, отвечающую за форму гиперплоскости:

$$f(x) = \text{sgn} \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i K(x, x_i) - \rho \right\}, \quad (5)$$

где α_i – множители Лагранжа.

В алгоритме ОС-SVM аномальным объектом считается точка в n -мерном пространстве, которая не проходит за гиперплоскость.

Результаты исследования и их обсуждение

Применение алгоритма одноклассового метода опорных векторов к выборке морфометрических параметров озер, расположенных в пределах ООПТ юга Западной Сибири, позволило идентифицировать 10 объектов, которые были признаны аномалиями (рисунок, табл. 2).

Многие из вошедших в итоговый набор водоемов ранее практически не изучались и могут рассматриваться как потенциальные объекты при проведении полевых исследований.

Перечень озер с аномальными характеристиками включает озера с площадями зеркала от 0,02 до 1,78 км². Рассчитанная площадь семи водоемов более 0,5 км², четырех – более 1 км². Наиболее крупные озера – Большое (№ 7), Большое Бердюжье (№ 3), Богородское (№ 5), Чебачье (№ 6).

Таблица 2

Перечень выявленных озер с аномальными параметрами

№ п/п*	Координаты		L	W _{ав}	W _{max}	P	S	k _s	1/k _s	K
	X	Y								
1	68,0466	55,9280	1,5	0,91	1,25	6,96	1,37	0,61	1,64	0,36
2	68,0937	55,9216	0,87	0,2	0,3	2,36	0,17	0,22	4,46	0,6
3	68,3029	55,7981	1,61	1,01	1,3	6,2	1,62	0,63	1,59	0,36
4	68,0692	55,7328	1,4	0,46	0,77	4,52	0,64	0,32	3,08	0,49
5	68,4325	55,6302	2,08	0,54	0,96	6,92	1,12	0,25	3,87	0,55
6	68,9289	55,6128	1,07	0,9	0,98	4,84	0,96	0,84	1,19	0,31
7	68,9017	55,4765	2,67	0,67	1,05	8,84	1,78	0,25	4	0,56
8	68,8229	55,9003	0,98	0,74	0,93	3,92	0,73	0,76	1,32	0,32
9	68,7944	55,8980	0,31	0,25	0,31	1,28	0,08	0,8	1,24	0,31
10	68,3442	55,6860	0,2	0,12	0,16	0,72	0,02	0,62	1,61	0,36



Озера с аномальными характеристиками, выявленные в пределах ООПТ Тоболо-Ишимского междуречья

Условные обозначения: 1 – исследованные озера; 2 – озера с аномальными характеристиками; 3 – границы ООПТ: 1 – государственный природный заказник федерального значения «Белоозерский» (водно-болотные угодья международного значения), II – Частоозерский государственный природный зоологический заказник, III – «Уктузский» (перспективный), IV – государственный природный заказник регионального значения «Южный» (водно-болотные угодья международного значения), V – водно-болотные угодья международного значения «Тоболо-Ишимская лесостепь»

Коэффициент сжатия k_s у шести водоемов превышает 0,6, в том числе у двух озер k_s более 0,8 (№ 6 и 9). Для четырех водоемов выявленный k_s находится в диапазоне от 0,2 до 0,3. Коэффициент изрезанности береговой линии K изменяется от 0,31 до 0,59. Наибольшие значения K , превышающие 0,5, рассчитаны для трех озер с минимальным в группе коэффициентом сжатия k_s .

Наибольший показатель удлиненности $1/k_s$ получен для озера № 2 (4,46). Наименьшие значения $1/k_s$ и K отмечены для озера Чебачье (№ 6 в табл. 2).

Анализ показателя удлиненности $1/k_s$ показывает, что у шести выявленных озер с аномальными характеристиками форма котловины округлая или близка к округлой, у четырех водоемов близкая к овальной.

Заключение

Исследование морфометрических характеристик озер Тоболо-Ишимского меж-

дуречья показало, что выбранная группа водных объектов является достаточно морфометрически однородной. Водоемы с аномальными морфометрическими характеристиками не отклоняются сильно от статистических средних оценок выбранной группы озер. По происхождению озера суффозионные, преимущественно округлой формы, ряд выявленных водоемов отмечается изменением морфометрии в связи с зарастанием высшей водной растительностью (№ 2, 4, 5). Тем не менее идентификация данных водных экосистем одноклассовым методом опорных векторов, как аномальных, указывает на особенности совокупности их морфометрических параметров по сравнению со всей выборкой. Как было показано авторами [7], аномалии по морфометрическим параметрам, в силу взаимообусловленности происходящих в озерах процессов, могут быть связаны с уникальными значениями гидрохимиче-

ских, гидрологических и гидробиологических характеристик водной экосистемы. Вместе с тем говорить об их исключительности в настоящем случае не приходится, как это было сделано в предыдущих исследованиях на глобальных выборках озер [7], в силу недостаточной изученности данных водоемов. Тем не менее выделенные озера, несмотря на достаточно скромные размеры, следует учитывать при изучении возможностей выявления аномальных характеристик водной среды в данном регионе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-05-00303\22 «Выявление критериев уникальности озерных экосистем».

Список литературы

1. Новохатин В.В., Шепелева Н.А. Картографический метод в анализе динамики состояния озерных экосистем территории водно-болотных угодий Тоболо-Ишимской лесостепи // Вестник ТюмГУ. Науки о Земле. 2013. № 4. С. 154–160.
2. Кошечева Г.С. Особенности геохимического режима и качества вод ландшафтов Ишимской равнины. Ишим: Издательство ИГПИ им. П.П. Ершова, 2014. 172 с.
3. Токарь О.Е., Николаенко С.А. Оценка экологического состояния водных объектов Ишимского района по данным фитоиндикации и прямого гидрохимического анализа // Вестник Тамбовского университета. Сер: естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1573–1576.
4. Зылева Л.И., Коркунов К.В., Козырев В.Е., Пестова Л.Е., Калашникова О.С., Макарова А.Н., Новикова Л.П. Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист N-42 – р. Ишим. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2020. 157 с. [Электронный ресурс]. URL: https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/2020_n-42/N-42_ObZap.pdf (дата обращения: 28.06.2022).
5. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 140. P. 23–35.
6. Пестова Л.Е. Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист N-42 – р. Ишим. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Zapadno-Sibirskaya/n-42.php (дата обращения: 27.06.2022).
7. Измайлова А.В., Расулова А.М., Шмакова В.Ю. Выделение озер, обладающих уникальными свойствами, статистическими методами // Гидрометеорология и экология. 2021. № 62. С. 27–51.
8. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks. Machine learning. 1995. Vol. 20. P. 273–297. DOI: 10.1007/BF00994018.
9. Tax D.M.J., Duijn R. Support vector data description. Machine learning. 2004. Vol. 54 (1). P. 45–66. DOI: 10.1023/B:MACH.0000008084.60811.49.
10. Smola A.J., Schölkopf B. A tutorial on support vector regression. Statistics and Computing Archive. 2004. Vol. 14. No. 3. P. 199–222. DOI: 10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88.
11. Lamrini B., Gjini A., Daudin S., Pratumarty P., Armando F. and Travé-Massuyès L. Anomaly Detection using Similarity-based One-Class SVM for Network Traffic Characterization. Proceedings of the 29th International Workshop on Principles of Diagnosis. Warsaw, Poland, 27–30 August, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2289/> (дата обращения: 04.06.2022).

УДК 911:338.1(571.63)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ ОКРУГОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Корниенко О.С.

*ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: olisa@tigdvo.ru*

В работе выполнена оценка эффективности экономического развития городских округов Приморского края. Проводится сравнительный анализ приморских и континентальных городов по производственному и сельскохозяйственному потенциалу. Расчеты проводились для двух временных срезов с 2011 по 2020 г. с целью отследить динамику и изменения, произошедшие за 10 лет. Для 12 городов Приморья рассчитывался коэффициент эффективности, отражающий уровень развития конкретного города относительно других городов края и индекс эффективности, показывающий темпы развития исследуемого города по сравнению с остальными. В результате работы выделены четыре группы городских округов по уровню экономического развития, также построен их рейтинг, определены последние десятилетия (Артем) – лидеры по промышленному потенциалу (Владивосток, Уссурийск и Арсеньев) и по продовольственному (Уссурийск, Артем и Лесозаводск). Самые депрессивные города по производственному потенциалу – Спасск-Дальний, Дальнереченск и Фокино, по производственному – Спасск-Дальний и Фокино. Выделен город с опережающими темпами развития (Арсеньев) и стремительно растерявший свой потенциал в последнее десятилетие (Артем). Также отмечается снижение темпов развития экономики и в ведущих городах Приморского края Владивостоке и Уссурийске. Сравнение приморских и континентальных городов показало, что большая часть и продовольственного, и производственного потенциала аккумулирована в прибрежной части Приморского края, однако в течение 10 лет картина меняется и города континентальной части развиваются более быстрыми темпами, особенно по продовольственному потенциалу.

Ключевые слова: Приморский край, коэффициент эффективности, приморские поселения, уровень развития, производственный потенциал, продовольственный потенциал

EFFICIENCY OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF PRIMORSKY AND CONTINENTAL URBAN DISTRICTS OF PRIMORSKY KRAI

Kornienko O.S.

Pacific Geographical Institute FEBRAS, Vladivostok, e-mail: olisa@tigdvo.ru

The paper assesses the effectiveness of the economic development of the urban districts of Primorsky Krai. A comparative analysis of coastal and continental cities in terms of production and agricultural potential is carried out. The calculations were carried out for two time slices from 2011 to 2020, in order to track the dynamics and changes that have occurred over 10 years. For 12 cities of Primorye, an efficiency coefficient was calculated that reflects the level of development of a particular city relative to other cities in the region and an efficiency index that shows the pace of development of the city under study compared to the rest. As a result of the work, four groups of urban districts were identified by the level of economic development, their rating was also built, the cities were identified as leaders in industrial potential (Vladivostok, Ussuriysk and Arsenyev) and food (Ussuriysk, Artem and Lesozavodsk). The most depressive cities in terms of production potential are Spassk-Dalniy, Dalnerechensk and Fokino, in terms of production potential – Spassk-Dalniy and Fokino. Cities with outpacing rates of development (Arsenyev) and cities that have rapidly lost their potential in the last decade (Artyom) have been identified. There is also a slowdown in the pace of economic development in the leading cities of Primorsky Krai, Vladivostok and Ussuriysk. A comparison of coastal and continental cities showed that most of the food and production potential is accumulated in the coastal part of Primorsky Krai, but over the past 10 years the picture has changed and the cities of the continental part are developing at a faster pace, especially in terms of food potential.

Keywords: Primorsky Krai, efficiency ratio, coastal settlements, level of development, production potential, food potential

Рассматриваемый в данной работе Приморский край, как самый южный и отдаленный регион Дальнего Востока, обладает уникальным экономико-географическим положением, располагаясь в контактной зоне Азиатско-Тихоокеанского региона по соседству с одной из крупнейших экономик мира – Китаем [1]. Такое расположение края делает регион стратегически важным для страны. В подтверждение тому после того, как президент страны объявил Дальний Восток страны национальным приоритетом в XXI в. [2], в Приморском крае на-

чалось активное развитие международных связей, поступление инвестиций, направленных на развитие региона, укрепление международных контактов. Поступательный рост контактных функций края спровоцировал активное развитие административного центра края – Владивостока, который сегодня стал «ареной» для организации и проведения мероприятий мирового масштаба, направленных на развитие международных отношений [3]. В то же время активное развитие центра могло спровоцировать отставание остальных городов края от Вла-

дивостока по уровню экономического развития, тем самым поспособствовало усилению неравенства в уровнях экономического развития городов Приморского края.

В данной работе ставится задача изучить различия в достигнутом экономическом уровне развития городов Приморского края, оценить, сопоставить и провести анализ различий прибрежных и континентальных городов Приморья с точки зрения эффективности их экономического развития за 10 лет.

Материалы и методы исследования

В Приморском крае 12 городских округов, которые существенно различаются между собой по достигнутому уровню экономического развития, что обуславливается рядом как благоприятных, так и лимитирующих факторов развития (их транспортно-географическое положение, природно-климатические условия, демографический потенциал и др.) [4]. Половина городов имеет континентальное положение, половина, в том числе административный центр края, прибрежное. Кроме того, 2 прибрежных города – Большой Камень и Фокино – имеют статус закрытого административно-территориального образования (ЗАТО), что сопряжено с ограничением доступных статистических данных, позволяющих объективно оценивать уровень экономического развития этих городов.

Для работы были взяты два показателя, которые отражают экономический уровень развития городских округов – это объем отгруженных товаров собственного производства и валовая продукция сельского хозяйства.

Эффективность экономики города оценивалась с помощью коэффициента эффективности (k), который рассчитывается как отношение экономического показателя в исследуемом городе к среднему значению по всем городам, административно относящимся к исследуемому субъекту (в данном случае к Приморскому краю):

$$k_i = y_i / \bar{y}_j, \quad (*)$$

где j – регион, i – город, y – статистический показатель.

В данном методе среднее значение для исследуемого региона условно считается «нормой», и все города рассматриваются по отношению к ней. Если значение коэффициента будет равно 1, то уровень развития города равен среднему уровню развития региона; если больше 1, то развитие

города можно считать опережающим или эффективным, города с показателями меньше 1 будут считаться отстающими в своем развитии.

Согласно полученным результатам было выделено четыре группы городов по степени их экономической эффективности: высокоэффективные ($k > 1,2$); эффективные ($0,8 \leq k \leq 1,2$); малоэффективные ($0,5 \leq k < 0,8$); неэффективные ($k < 0,5$).

Исследование проводилось за последние 10 лет (с 2011 по 2020 г.), что позволило сделать анализ динамики и темпов развития промышленности городов. Динамика считалась, как разница коэффициентов за два исследуемых отрезка времени, а индекс эффективности развития городов рассчитывался как отношение этих коэффициентов.

Результаты исследования и их обсуждение

Используя статистические данные [5–8], были рассчитаны коэффициенты эффективности с 2011 по 2020 г. для каждого из двух исследуемых показателей (табл. 1, 2).

На основе рассчитанных коэффициентов были получены агрегированные коэффициенты за пятилетние отрезки времени и рассчитан индекс эффективности за 10 лет (табл. 3).

По объемам промышленности во Владивостоке сосредоточено 50% всего производства Приморского края. Таким образом, административный центр края формирует основу производственного потенциала Приморья (рис. 1). Здесь же отмечается самый высокий коэффициент эффективности ($k = 5,8$). К группе высокоэффективных экономически развитых городов также можно отнести города из континентальной части края – Арсеньев (1,7) и Уссурийск ($k = 1$). Все остальные города по нынешним объемам производства относятся к группам малоэффективных или неэффективных.

Самый высокий индекс развития производственного потенциала, характеризующий темпы развития экономики, в г. Арсеньев, который можно считать монопрофильным. Уровень развития социально-экономического положения здесь напрямую зависит от градообразующих предприятий авиационного машиностроения и металлообработки ПАО ААК «Прогресс» и «Аскольд». Таким образом, планомерное увеличение заказов на изготовление вертолетов в 2015–2019 гг. напрямую повлияло на опережающие темпы развития промышленности города в Приморском крае.

Таблица 1

Коэффициент эффективности развития городов Приморского края по объемам промышленного производства

Города	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	k_{cp}
Континентальные	0,474	0,538	0,422	0,49	0,469	0,587	0,925	0,586	0,764	0,331	0,559
Арсеньев	0,917	1,585	0,939	1,123	0,878	0,902	2,538	1,688	2,624	0,737	1,393
Уссурийск	1,368	1,162	1,244	1,419	1,455	1,276	1,013	0,992	0,975	0,743	1,165
Партизанск	0,202	0,186	0,139	0,125	0,185	0,14	0,13	0,142	0,123	0,121	0,149
Лесозаводск	0,133	0,139	0,108	0,124	0,157	0,096	0,099	0,146	0,135	0,121	0,126
Спасск-Дальний	0,173	0,12	0,081	0,104	0,111	0,076	0,05	0,068	0,044	0,044	0,087
Дальнереченск	0,05	0,034	0,024	0,043	0,03	н/д	0,046	0,034	0,044	0,012	0,035
Прибрежные	1,789	1,694	1,866	2,103	2,178	1,993	1,689	1,922	1,794	1,876	1,89
Владивосток	5,456	5,227	5,995	6,866	6,721	5,958	5,274	6,109	5,764	6,031	5,94
Находка	0,626	0,56	0,589	0,673	0,793	0,906	0,667	0,723	0,678	0,712	0,693
Артём	0,693	0,704	0,638	0,592	0,744	0,687	0,493	0,471	0,407	0,422	0,585
Большой Камень	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	0,449	0,368	0,243	0,87	0,651	0,518
Дальнегорск	0,383	0,284	0,244	0,279	0,456	0,419	0,322	0,386	0,326	0,341	0,344
Фокино	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	0,092	н/д	н/д	0,011	0,066	0,048

Таблица 2

Коэффициент эффективности развития городов Приморского края по объемам производства сельскохозяйственной продукции

Города	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	k_{cp}
Континентальные	0,583	0,633	0,648	0,686	0,653	0,705	0,669	0,702	0,874	0,971	0,883
Арсеньев	0,213	0,22	0,242	0,202	0,229	0,230	0,246	0,294	0,24	0,211	0,233
Дальнереченск	0,148	0,160	0,168	0,148	0,151	0,189	0,2	0,246	0,268	0,225	0,19
Лесозаводск	0,855	0,774	0,772	0,82	0,844	1,186	1,282	1,354	1,46	1,164	1,051
Партизанск	0,415	0,437	0,465	0,4	0,418	0,530	0,597	0,651	0,745	0,629	0,529
Спасск-Дальний	0,09	0,095	0,112	0,109	0,099	0,114	0,116	0,129	0,133	0,117	0,111
Уссурийск	2,394	2,231	2,473	2,335	2,471	2,995	3,388	3,88	4,936	4,732	3,183
Прибрежные	1,626	1,550	1,528	1,471	1,521	1,442	1,496	1,447	1,570	1,429	1,365
Артём	5,061	5,247	4,844	5,206	4,955	5,259	4,52	3,756	2,327	3,162	4,434
Большой Камень	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	0,364	0,341	0,353	0,414	0,382	0,185
Владивосток	0,302	0,279	0,309	0,258	0,283	0,352	0,426	0,424	0,462	0,432	0,353
Дальнегорск	0,338	0,358	0,393	0,326	0,344	0,376	0,413	0,447	0,519	0,472	0,399
Находка	0,184	0,199	0,221	0,195	0,205	0,292	0,358	0,357	0,374	0,342	0,273
Фокино	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	0,113	0,114	0,108	0,122	0,132	0,059

В списке самых депрессивных городов края с самыми низкими коэффициентами эффективности – Спасск-Дальний, Дальнереченск из континентальной части и Фокино с прибрежной. В то же время особый статус Фокино, закрытого городского округа с расположенной здесь военно-морской базой Тихоокеанского флота, не предполагает здесь активного развития промышленности.

Самый низкий индекс эффективности производства за 10 лет отмечается в Спасске-Дальнем (континентальная часть) ($I = 0,48$), некогда одного из центров Приморского края в стройиндустрии, в котором за последние десятилетия прошла ликвидация крупных предприятий и значительное сокращение объемов производств на оставшихся.

Таблица 3

Производственный и продовольственный потенциал
прибрежных и континентальных городов Приморского края

Города	Производственный потенциал						Продовольственный потенциал					
	2011–2015	группа	2016–2020	группа	Динамика	индекс развития	2011–2015	группа	2016–2020	группа	Динамика	индекс развития
Прибрежные	1,926		1,855		-0,071	0,96	1,475		1,254		-0,222	0,85
Артем	0,674	3	0,496	4	-0,178	0,74	5,063	1	3,805	1	-1,258	0,752
Большой Камень	н/д		0,516	3	н/д	н/д	н/д		0,371	4	н/д	н/д
Владивосток	6,053	1	5,827	1	-0,226	0,96	0,286	4	0,419	4	0,133	1,466
Находка	0,648	3	0,737	3	0,089	1,14	0,201	4	0,345	4	0,144	1,715
Дальнегорск	0,329	4	0,359	4	0,029	1,09	0,352	4	0,445	4	0,093	1,266
Фокино	н/д		0,056	4	н/д	н/д	н/д		0,118	4	н/д	н/д
Континентальные	0,479		0,639		0,16	1,33	0,683		1,083		0,4	1,585
Арсеньев	1,088	2	1,698	1	0,609	1,56	0,221	4	0,244	4	0,023	1,103
Дальнереченск	0,036	4	0,034	4	-0,002	0,93	0,155	4	0,226	4	0,07	1,454
Лесозаводск	0,132	4	0,119	4	-0,013	0,9	0,813	2	1,289	1	0,476	1,585
Партизанск	0,167	4	0,131	4	-0,036	0,78	0,427	4	0,630	3	0,203	1,477
Спасск-Дальний	0,118	4	0,057	4	-0,061	0,48	0,101	4	0,122	4	0,021	1,206
Уссурийск	1,33	1	1	2	-0,33	0,75	2,381	1	3,986	1	1,605	1,674

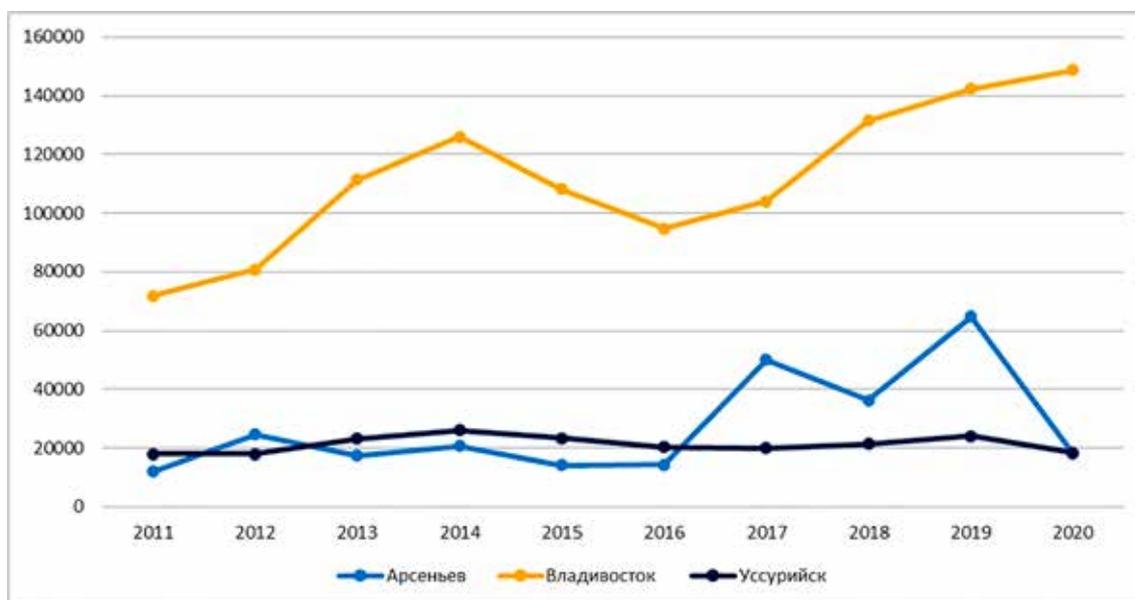


Рис. 1. Динамика объемов промышленного производства в основных промышленных центрах Приморского края, млн руб.

В то же время отмечается отрицательная динамика коэффициентов эффективности и в крупнейших промышленных центрах края, причем как в континентальной, так

и в прибрежной части – в Уссурийске и Владивостоке. При этом причины снижения коэффициентов эффективности в этих городах немного отличаются. Если в г. Влади-

востоке пик результативности промышленности приходится на 2014 г., после периода активной подготовки к САММИТУ АТЭС 2012, который сопровождался массовыми вливаниями инвестиций, развитием инфраструктуры, созданием новых предприятий в городе [9], а потом постепенно происходило замедление темпов с сохранением положительной динамики объемов производства, то в г. Уссурийске падение коэффициента сопряжено с ликвидацией крупных предприятий и отрицательной динамикой объемов промышленного производства.

По продовольственному потенциалу картина в крае существенно другая. Здесь отмечается более равномерное распределение потенциала по территории региона и сосредоточение его в южных муниципальных образованиях с наиболее благоприятными природно-климатическими условиями для сельского хозяйства. В городских округах Приморья на 2020 г. аккумулировано около 25% всего валового производства сельскохозяйственной продукции. Тем не менее это важный экономический показатель, помогающий определить уровень района в продовольственном самообеспечении. Большая часть городов по полученным значениям коэффициента эффективности относится к 4 группе городов с неэффективным развитием.

Лидерами по объему сельскохозяйственной продукции среди городских округов на сегодняшний день являются

Уссурийск и Артем. При этом надо отметить, что г. Уссурийск 10 лет назад более чем в два раза отставал по объемам валовой продукции от Артема, а в настоящее время существенно его опережает (рис. 1). Беря во внимание тот факт, что по объемам промышленного производства г. Уссурийск снизил свой уровень, можно говорить о происходящем в данный момент перепрофилировании города с промышленного производства на производство сельскохозяйственной продукции.

В г. Артем в динамике отмечается существенное сокращение объемов производства сельскохозяйственной продукции, что связано с прекращением деятельности крупных агропромышленных предприятий, таких как ЗАО «Михайловский бройлер» (производство мяса птицы) и крупнейший в Приморье тепличный комбинат «Суражевка», снабжавшие своей продукцией не только Приморский край, но и соседние регионы. Падение объемов производства более чем в 4 раза с 2014 по 2019 г. в городе, где в 2014 г. было аккумулировано около 20% всей сельхозпродукции Приморского края, существенно отразилось на общих объемах производимого продовольствия. Среди всех городов края здесь отмечен самый низкий индекс эффективности, и это единственный город с отрицательной динамикой коэффициентов эффективности за 10 лет по объемам производства сельскохозяйственной продукции.

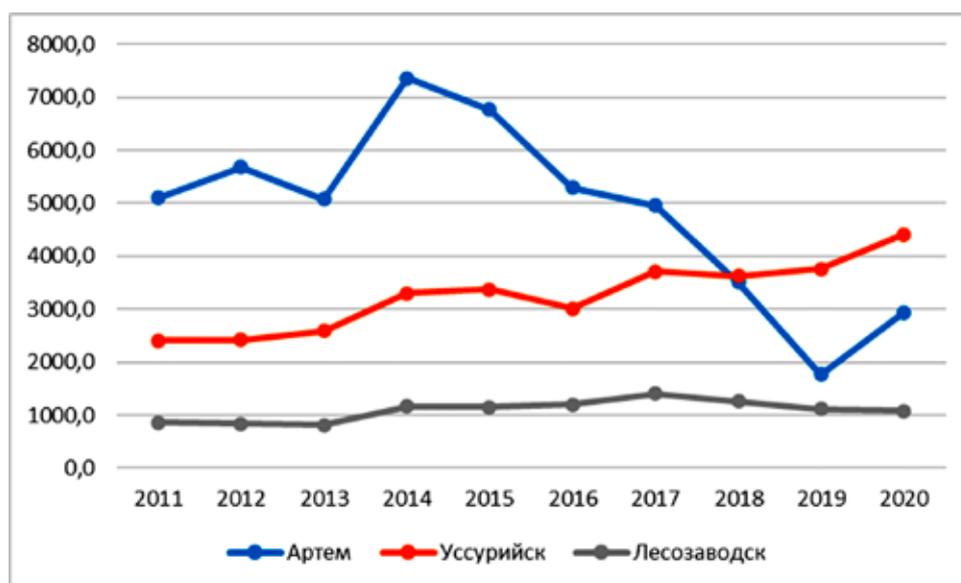


Рис. 2. Динамика производства валовой продукции сельского хозяйства в двух основных агроцентрах Приморского края, млн руб.

Заключение

В целом за 10 лет соотношение эффективных и неэффективных городов в крае осталось неизменным: 3/7, причем как по производственному потенциалу, так и по продовольственному. Основу производственного потенциала формируют Владивосток, Арсеньев и Уссурийск, а продовольственного потенциала – Артем, Уссурийск и Лесозаводск.

Единственный город, который наиболее оптимально совмещает в себе высокий уровень как продовольственного потенциала, так и промышленного – г. Уссурийск в континентальной части края.

В целом при делении городов на приморские и континентальные отмечается, что в период с 2011 по 2015 г. основная часть промышленного и продовольственного потенциала была сосредоточена в прибрежной части и здесь же отмечаются более высокие коэффициенты эффективности. При этом в период с 2016 по 2020 г. по обоим показателям отмечается снижение темпов производств в прибрежной части и наращивание объемов в континентальной, но преобладающая роль прибрежной части в экономике края сохраняется, в основном за счет административного центра.

Подводя итог, можно сделать вывод о менее эффективном развитии хозяйства городов в прибрежной части края ($I_{пр} = 0,96 / I_{сх} = 0,85$) по сравнению с континентальной ($I_{пр} = 1,33 / I_{сх} = 1,58$) в последнее десятилетие.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ No. 22-17-00186 «Потенциал приморских поселений для долгосрочного устойчивого развития: содержание и методы оценки на примере Тихоокеанской России».

Список литературы

1. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Направления долгосрочного развития дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. 2019. № 4. С. 6–18. DOI: 10.25808/08697698.2019.206.4.001.
2. Романов М.Т. Романова И.М. Геополитический «разворот» России на восток и развитие собственных восточных территорий // Проблемы Дальнего Востока 2017. № 2. С. 57–68.
3. Мошков А.В. Мобильность территориально-отраслевой структуры промышленности региона (на примере Приморского края) // Геосистемы Северо-Восточной Азии: географические факторы динамики и развития их структур. Сборник научных статей Десятой научно-практической конференции. Владивосток, 2022. С. 42–49. DOI: 10.35735/9785604701171_42.
4. Корниенко О.С. Изменения концентрации и специализации хозяйственных структур в регионах Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 52–57.
5. Приморский край. Основные показатели деятельности городских округов и муниципальных районов. 2014: Статистический ежегодник. Приморскстат, 2014. 259 с.
6. Приморский край. Основные показатели деятельности городских округов и муниципальных районов: Статистический ежегодник. Приморскстат, 2018. 221 с.
7. Промышленное производство Приморского края 2020: Статистический сборник. Приморскстат, 2021. 106 с.
8. Сельское и лесное хозяйство Приморского края. Статистический сборник. Приморскстат, 2021. 97 с.
9. Romanov M.T., Kornienko O.S. The analysis of specialization and concentration of the types of economic activity in the territories (as exemplified by municipalities of the Primorye territory). International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 20. P. 41054–41059.

УДК 504.062.4:303.725.36

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО НОРМАТИВА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕМЕЛЬ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОТХОДАМИ**

Кутышкин А.В.

*ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет», Нижневартовск,
e-mail: avk_200761@mail.ru*

В статье предложен динамический норматив (ДН) для комплексной оценки функционирования региональной системы очистки загрязнений земель нефтью, нефтепродуктами, газовым конденсатом и подтоварной водой (загрязнение земель), разработанный на основе использования системного подхода к выделению и описанию реализации ее ключевой системной функции. В ДН включены показатели, которые идентифицируют выделенную системную функцию. Заданное упорядочение темпов роста этих показателей описывает нормативный режим функционирования этой системы, который обеспечивает реализацию данной функции. На основе ретроспективных значений показателей ДН определяется фактическое упорядочение их темпов роста, т.е. фактический режим функционирования рассматриваемой системы. Нормативный и фактический режимы функционирования системы представляются в виде матрицы предпочтения и матрицы фактического упорядочения показателей ДН. Меры расхождения этих матриц характеризуют степень соответствия фактического и нормативного режимов функционирования, волатильность режима функционирования системы и характер ее развития в целом. Факторный анализ матрицы фактического упорядочения показателей ДН позволяет оценить влияние этих показателей на фактический режим функционирования рассматриваемой системы. В работе приведены результаты использования предложенного ДН для анализа функционирования региональной системы очистки загрязнений земель Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за период с 2013 по 2020 г. Эти результаты в целом согласуются с оценками эколого-экономического состояния региона, полученными с использованием модифицированного коэффициента деаплинга по данному виду загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: загрязнение земель, нефть, нефтепродукты, очистка земель, динамический норматив, нормативный режим, фактический режим

**ON THE USE OF A DYNAMIC STANDARD FOR ASSESSING
THE FUNCTIONING OF A REGIONAL SYSTEM FOR CLEANING
LAND CONTAMINATED WITH INDUSTRIAL WASTE**

Kutyshkin A.V.

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: avk_200761@mail.ru

The article proposes a dynamic standard (DN) for a comprehensive assessment of the functioning of a regional system for cleaning up land pollution with oil, oil products, gas condensate and commercial water (land pollution), developed on the basis of using a systematic approach to identifying and describing the implementation of its key system function. The DN includes indicators that identify the selected system function. The specified ordering of the growth rates of these indicators describes the normative mode of functioning of this system, which ensures the implementation of this function. On the basis of the retrospective values of the DN indicators, the actual ordering of their growth rates is determined, i.e. the actual mode of operation of the system under consideration. The normative and actual modes of the system functioning are presented in the form of a preference matrix and a matrix of the actual ordering of the DN indicators. The measures of discrepancy between these matrices characterize the degree of correspondence between the actual and normative modes of operation, the volatility of the mode of operation of the system, and the nature of its development as a whole. Factor analysis of the matrix of the actual ordering of the DN indicators allows us to evaluate the influence of these indicators on the actual mode of functioning of the system under consideration. The paper presents the results of using the proposed DN to analyze the functioning of the regional system for cleaning up land pollution in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra for the period from 2013 to 2020. These results are generally consistent with the estimates of the ecological and economic state of the region obtained using the modified coefficient decoupling for this type of environmental pollution.

Keywords: land pollution, oil, oil products, land cleanup, dynamic standard, standard regime, actual regime

Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на экологическую ситуацию в регионе, где осуществляется добыча углеводородов, является загрязнение земель нефтью, нефтепродуктами, газовым конденсатом и подтоварной водой (далее – загрязнение земли). Это особенно актуально для ресурсодобывающих регионов севера РФ со сложными природно-клима-

тическими условиями. В настоящее время оценка влияния экономики региона на его природную среду осуществляется с использованием определенного набора показателей [1–3]. Временные ряды значений этих показателей позволяют в первом приближении отслеживать динамику экологической обстановки в регионе по тому или иному виду загрязнений. Вместе с тем отсутству-

ет возможность оценки и анализа влияния на ее изменения работы предприятий, которые связаны с устранением рассматриваемого типа загрязнения природной среды региона. Такую возможность предоставляет использование непараметрических моделей (динамический норматив, ДН) описания функционирования этих предприятий, построенных на основе ординалистического подхода. Применение ДН, с одной стороны, позволяет оценивать результативность их деятельности, что соответствует оценке экологического состояния региона, а с другой стороны, определять влияние на ее уровень изменений ключевых показателей состояния предприятий. Концепция использования ДН для оценки функционирования экономических систем, изложенная в работе [4], была развита в работах [5, 6] сначала применительно к оценке финансовой устойчивости фирмы, а в дальнейшем и для оценки устойчивого развития региональной социально-экономической системы [7], где в достаточно обобщенном варианте предложен ДН для оценки функционирования ее экологической подсистемы. В данной работе предложен динамический норматив для оценки функционирования региональной системы очистки загрязнений земли (РСОЗЗ), построенный на основе ее функционального анализа с использованием типовых системных элементов описания функций. Апробация разработанного ДН осуществлялась на данных о функционировании указанной системы Ханты-Мансийского автономного округа за период с 2013 по 2020 г.

Целью работы является разработка динамического норматива для оценки функционирования региональной системы очистки загрязнений земли на основе систематизации ее характеристик, регистрируемых действующей системой государственной статистики. Наряду с этими источниками использовались открытые данные отчетов профильной службы администрации Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Материалы и методы исследования

Все предприятия региона, занимающиеся очисткой земель от загрязнений нефтью и сопутствующих производственных отходов ее добычи, используют типовое оборудование, технологии и располагают персоналом с приблизительно одинаковым уровнем подготовки. Это позволяет рассматривать совокупность этих предприятий

как «обобщенное предприятие по очистке загрязнений земли» (ОП), функционирование которого можно описать типовой моделью системного анализа вида «вход – преобразование – выход».

Метод исследования – упорядочение статистических индикаторов (ординалистический подход), характеризующих функционирование РСОЗЗ, для формирования комплексного показателя оценки уровня реализации этой системой своей ключевой системной функции. Можно считать, что основной системной функцией РСОЗЗ и соответственно ОП, которая характеризует ее назначение, является обеспечение роста площадей земельных ресурсов региона, очищенных от загрязнений нефтью, нефтепродуктами и сопутствующими производственными отходами. В качестве комплексного показателя оценки результативности ОП использовался динамический норматив [6, 8], в состав которого были включены индикаторы (показатели) характеристик ОП. Под «входом» согласно общим принципам функционального анализа понимают совокупность поступающих в систему веществ, энергетических и информационных компонентов, предназначенных для преобразования этой системой в «выход». «Процессор/преобразователь» «входа» в «выход» рассматривается в виде интеграции следующих составляющих/элементов: оснащение процессора, катализатор, упорядоченность и субъективный фактор. В табл. 1 приведен перечень показателей ДН для рассматриваемого ОП.

В связи с тем, что данные о стоимости основных производственных фондов ОПФ предприятий, занимающихся очисткой загрязнений земли, в открытых источниках не публикуются, в качестве показателя p_3 «Оснащение» использовались данные [9], указанные в табл. 1, которые, по мнению автора, в целом могут отражать динамику стоимости ОПФ ОП. В ДН не был включен показатель «Инвестиции в основной капитал» данного предприятия. Это обусловлено тем, что освоение инвестиций в основной капитал происходит в течение некоторого промежутка времени, т.е. с определенным лагом. Идентификация же лага невозможна без данных о стоимости ОПФ. Динамический норматив для ОП имеет следующий вид [6]:

$$T(p_1) > T(p_2) > T(p_3) > T(p_4) > T(p_5) > T(p_6), (1)$$

где $T(\dots)$ – темп роста соответствующего показателя.

Таблица 1

Показатели динамического норматива оценки функционирования обобщенного предприятия по очистке земель от загрязнений нефтью, нефтепродуктами и сопутствующими производственными отходами ХМАО-Югры

Показатель	Вид показателя ДН	Характеристика показателя ДН
p_1	Выход	Площадь рекультивированных за год загрязненных земель, тыс. га
p_2	Вход	Площадь загрязненных земель, образовавшихся за год, тыс. га
p_3	Оснащение	Суммарные материальные затраты и затраты на капитальный ремонт основных фондов ОП по очистке загрязненных земель в ценах текущего года, млн руб.
p_4	Катализатор	Доля ликвидированных шламовых амбаров за год от их общего количества на начало года, %
p_5	Субъективный фактор	Затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды ОП по загрязненным землям в ценах текущего года, млн руб.
p_6	Фактор упорядоченности	Доля рекультивированных загрязненных участков земли, соответствующих региональным требованиям, из общего количества участков, представленных для обследования, %

Зависимость (1) задает нормативное/эталонное упорядочение темпов роста показателей, включенных в динамический норматив ОП (ЭП), а соответствующий режим функционирования ОП называют нормативным (НР). Реализация НР функционирования ОП в течение всего его жизненного цикла обеспечивает предприятию наилучшее выполнение его основной системной функции. Под воздействием внешнего окружения и изменений

внутренних факторов ОП может функционировать в разных фактических режимах (ФР). Чем больше расходятся НР и ФР, тем ниже результативность его системной функции. Для оценки схожести нормативного и фактического упорядочений показателей ДН предлагается использовать матричную форму их представления [6–8]. Нормативное упорядочивание показателей ДН предлагается задавать матрицей $M[\text{ЭП}]$ [6, 10]:

$$M[\text{ЭП}] = \{\mu_{ij}\}, \mu_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } T^H(p_i) > T^H(p_j), \text{ в том числе и для } i = j; \\ -1, & \text{если } T^H(p_i) < T^H(p_j); \\ 0, & \text{если нормативное упорядочивание} \\ & \text{между } T^H(p_i) \text{ и } T^H(p_j) \text{ не установлено.} \end{cases} \quad (2)$$

где $T^H(p_i), T^H(p_j)$ – темпы изменения показателей p_i и p_j , упорядоченные согласно принятому ДН.

Фактическое упорядочение показателей ДН задается матрицей $M_t[\text{ФП}]$, механизм формирования которой аналогичен (2). Здесь t – год из рассматриваемого интервала времени $[t_0, t_k]$ функционирования ОП. Мера сходства MS_t матриц $M[\text{ЭП}]$ и $M_t[\text{ФП}]$ определяется зависимостью [6]:

$$MS_t = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij,t}}{n(n-1)}, v_{ij,t} = \begin{cases} 1, & \text{если } r^f(p_i) > r^f(p_j) \text{ при } i < j; \\ 1, & \text{если } r^f(p_i) < r^f(p_j) \text{ при } i > j; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad t \in [t_0, t_k], \quad (3)$$

где $r^f(p_i), r^f(p_j)$ – ранги показателей p_i и p_j ДН, соответствующие их фактическому упорядочению в году t ; n – количество показателей ДН.

Величина MS_t в формуле (3) нормирована ($0 \leq MS_t \leq 1$) и это означает, что при 1 матрицы $M[\text{ЭП}]$ и $M_t[\text{ФП}]$ полностью совпадают, а при $MS_t = 0$ эти матрицы полностью различны. Таким образом, приближение MS_t к 1 означает сближение ФР ОП с НР, заданным принятым ДН, и повышение результативности ОП в части выполнения своей системной функции. Верно и обратное – отдаление MS_t от 1 говорит о снижении результативности ОП. Динамика значений MS_t в интервале времени $[t_0, t_k]$ определяется выражением [6,10]:

$$C_{t+1,t} = \frac{MS_{t+1} - MS_t}{MS_{t+1,t}}, \quad (4)$$

где MS_t, MS_{t+1} – меры сходства $M[\text{ФП}]$, $M_{t+1}[\text{ФП}]$ с $M[\text{ЭП}]$ (3) соответственно; $MS_{t+1,t}$ – мера сходства $M_t[\text{ФП}]$ и $M_{t+1}[\text{ФП}]$, рассчитываемая аналогично (3) при условии, что в качестве $M[\text{ЭП}]$ выступает $M_t[\text{ФП}]$.

Величина $C_{t+1,t}$ характеризует волатильность ФР функционирования рассматриваемого ОП в указанном периоде времени.

Динамический норматив (1) в первом приближении можно рассматривать как факторную модель функционирования рассматриваемого ОП, которую можно использовать для оценки влияния показателей ДН на изменение результативности ОП. Оценка $\alpha_{i,t+1}$ относительного влияния изменения ранга i -го показателя на сближение ФР функционирования ОП в году $t+1$ с НР по отношению к году t определяется следующей зависимостью [6, 10]:

$$\alpha_{i,t+1} = \frac{\Delta C_{i,t+1}}{\sum_{i=1}^n C_{i,t+1}}; \quad (5)$$

$$\Delta C_{i,t+1} = \frac{MS_t - MS_{t+1}}{n(n-1)}$$

$$= \frac{1}{n(n-1)} \left[\sum_{i=1}^n (m_{i,t} - m_{i,t+1}) \right], \quad (5)$$

где $m_{i,t+1}, m_{i,t}$ – количество инверсий показателя p_i с нормативным рангом $r^{II}(p_i) = i$ в фактическом упорядочении показателей ДН для года $t+1$ и t .

Величина MS_t (3) является и оценкой экологического состояния региона по критерию загрязнения земель. Подобную оценку дает расчет коэффициента декаплинга для

региональной экономики. Концепция декаплинга предполагает «расщепление» темпа изменения регионального валового продукта (ВРП) TY_t между темпами потребляемых региональной экономикой природных ресурсов TR_t [3, 11], которые регистрируются в виде объемов типовых видов загрязнений окружающей среды. Соотношения между TY_t и TR_t используют для оценки экологического состояния региона по выбранному виду потребляемого природного ресурса. То есть данный подход оперирует переменными, которые по своей структуре близки к структуре показателей ДН. В работе [11] предложен модифицированный коэффициент декаплинга DI'_t :

$$DI'_t = \Delta TR_t - \Delta TY_t, \quad (6)$$

где ΔTR_t и ΔTY_t – коэффициенты прироста величины рассматриваемого загрязнения и ВРП в году t .

Авторы этой работы, исходя из соотношений значений $DI'_t, \Delta TR_t, \Delta TY_t$ и их знаков, предложили классификацию возможных эколого-экономических состояний региона N_s , с которыми будут сопоставляться оценки MS_t (3).

Результаты исследования и их обсуждение

Значения показателей, включенных в сформированный динамический норматив (1), рассматриваемого ОП, за период с 2013 по 2020 г. опубликованы в изданиях Росстата РФ [12–14] и материалах профильной службы администрации Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [15]. Стоимостные показатели p_3, p_5 приведены к сопоставимым ценам 2013 г. Значения величин MS_t (3) и C_t (4), рассчитанные на основе указанных выше исходных данных, приведены в табл. 2.

Расчетные значения MS_t (табл. 2) характеризуют существенные отклонения режима функционирования РСОЗЗ ХМАО-Югра от режима, определяемого принятым динамическим нормативом, что в конечном итоге характеризуется снижением результативности реализации ее основной системной функции. Наметившийся с 2013 г. тренд сближения ФР и НР функционирования ОП изменился на противоположный начиная с 2017 г. Динамика значений величины C_t (табл. 2) указывает, что режим функционирования данной системы отличается значительной волатильностью и не имеет какой-либо устойчивой тенденции.

Таблица 2

Расчетные значения величин MS_t и C_t для периода с 2013 по 2020 г.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MS_t	0,533	0,533	0,467	0,600	0,800	0,600	0,533	0,333
C_t		0,000	-0,007	0,154	0,300	-0,375	-0,260	-0,375

Таблица 3

Значения коэффициента $\alpha_{t,i}$ (5), характеризующего влияние динамики значений показателей ДН на изменения ФР ОП РСОЗЗ ХМАО-Югра по очистке земли с 2014 по 2020 г.

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
p_1	-0,313	0	0	0	0,208	-0,278	0,313
p_2	0,063	0,063	0	-0,167	0,042	0,111	-0,063
p_3	0,063	0,063	-0,071	-0,111	0,042	0,056	0
p_4	-0,063	0	0	0	0	0	-0,063
p_5	0,125	0	-0,071	-0,056	0	-0,056	0
p_6	0,125	0	-0,143	0	-0,042	0,167	-0,063

В табл. 3 приведены расчетные значения величины $\alpha_{t,i}$ (9), которая показывает, как по отношению к предыдущему году периода $[t_{or} t_{k}]$ изменился режим функционирования ОП под воздействием динамики i -го показателя ДН.

Достаточно нейтральное влияние на ФР функционирования ОП оказывают изменения фактора p_4 , т.е. имеет место устойчивая тенденция ликвидации шламовых амбаров. Динамика фактора p_5 оказывает отрицательное влияние на сближение ФР и НР ОП, но это влияние с годовым запаздыванием нивелируется. В целом положительное влияние на сближение ФР и НР функционирования ОП оказывает изменение фактора p_2 , что говорит о достаточно устойчивой политике недропользователей по снижению негативного влияния своей деятельности в части загрязнения земель отходами производства. Исключения составляют лишь 2017 г. Аналогичное влияние оказывает и фактор p_3 , т.е. имеющиеся основные производственные фонды достаточно результативно, за исключением 2016 и 2017 гг., используются ОП для устранения загрязнения земли. Наибольшее влияние на отклонение ФР функционирования ОП от нормативного режима, заданного принятым ДН, оказывает динамика показателя p_6 , что говорит о недостаточном качестве рекультивации загрязненных земель, что отражает форма-

лизованное невыполнение РСОЗЗ ХМАО-Югра ее основной функции – обеспечения роста площади рекультивированных загрязненных земель. Это согласуется и с динамикой показателя p_1 . Причиной формирования начиная с 2017 г. расхождения ФР и НР функционирования ОП (табл. 2) является формирование одновременного значительного негативного влияния факторов p_2, p_3, p_5 при нейтральном влиянии остальных факторов. В последующие годы положительные и нейтральные изменения этих факторов на фоне нарастания негативного влияния остальных факторов, особенно в 2020 г., не обеспечили улучшение результативности функционирования ОП. В табл. 4 приведены расчетные значения DI'_t для рассматриваемой региональной системы очистки загрязнений земли ХМАО-Югра при принятом показателе «загрязнения земли нефтью, нефтепродуктами и сопутствующими производственными отходами Q_z » (тыс. га). Расчеты проводились как по значениям ВРП ХМАО-Югра – Y_t в ценах 2013 г. (млн руб.).

Согласно классификации, приведенной в работе [11], эколого-экономические состояния $N_s = 5$ и $N_s = 6$ характеризуются отсутствием эффекта «декаплинга» в экономике ХМАО-Югра, что соответствует либо снижению величины рассматриваемого типа загрязнений 5, либо росту загрязнения 6 на фоне снижения темпов роста ВРП.

Таблица 4

Расчетные значения коэффициента DI'_t , характеризующего экологическое состояние ХМАО-Югра по критерию загрязнения земли нефтью, нефтепродуктами и сопутствующими производственными отходами

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ΔTQ_{Zt}	0,154	-0,084	-0,043	-0,008	0,031	-0,117	0,055
ΔTY_t	-0,023	-0,041	-0,064	-0,063	-0,035	-0,034	-0,096
$DI'_{t,y}$	0,177	-0,043	0,020	0,055	0,066	-0,084	0,152
N_s	6	3	5	5	6	3	6

В 2015 и 2019 гг. эколого-экономическое состояние региона характеризуется эффектом «относительным декаплинга» 3, когда темпы прироста ВРП меньше темпов прироста загрязнений земель. Таким образом, идентифицированные эколого-экономические состояния ХМАО-Югра (табл. 4) в целом соответствуют оценкам результативности функционирования региональной системы очистки загрязнений земли, представленных в табл. 2.

Заключение

В работе предложен динамический норматив для оценки и мониторинга функционирования региональной системы очистки загрязнения земель нефтью, нефтепродуктами, газовым конденсатом и подтоварной водой. В его состав включены показатели, регистрируемые действующей системой государственной статистики и отражающие ключевые аспекты функционирования данной системы. Интеграция этих показателей динамическим нормативом позволяет получать комплексную оценку выполнения рассматриваемой системой своей основной функции. Апробация разработанного ДН на данных региональной системы очистки загрязнений земли ХМАО-Югра в период с 2013 по 2020 г. показала, что фактический режим функционирования данной системы не соответствует нормативному, который задан сформированным динамическим нормативом, а также отличается существенной волатильностью. Рассматривая динамический норматив, как факторную модель изменения режима функционирования РСОЗЗ ХМАО-Югра, провели анализ степени влияния динамики значений его показателей на сближение фактического и нормативного режимов функционирования этой системы. Оценку результативности работы РСОЗЗ ХМАО-Югра можно рассматривать как оценку экологического состояния реги-

она по рассматриваемому виду загрязнения окружающей среды. Данная оценка за период с 2013 по 2020 г. достаточно хорошо согласуется с оценками эколого-экономического состояния региона, полученными с использованием модифицированного коэффициента декаплинга.

Следует отметить, что методики расчета классического коэффициента декаплинга, «зеленого следа», показателя «природоемкости» региональной экономики в части загрязнения земель позволяют только регистрировать изменения значения выбранного показателя загрязнения окружающей среды региона, который, как правило, связывают только с величиной ВРП, в заданном интервале времени. Использование каких-либо других количественных показателей, характеризующих функционирование подобного рода систем, в данных методиках отсутствует.

Список литературы

1. Шкиперова Г.Т., Курило А.Е. Оценка развития регионов Северо-Запада в контексте концепции «зеленой» экономики // Проблемы рыночной экономики. 2019. № 3. С. 5–13.
2. Ткачев Б.П., Зайцева А.В., Ткачева Т.В. Расчет экологического следа в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Успехи современного естествознания. 2018. № 11. С. 395–399.
3. Яшалова Н.Н. Анализ проявления эффекта декаплинга в эколого-экономической деятельности региона // Региональная экономика: теория и практика. 2014. № 9 (366). С. 54–60.
4. Сыроежин И.М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества. М.: Экономика, 1980. 192 с.
5. Тонких А.С. Моделирование результативного управления корпоративными финансами. Екатеринбург – Ижевск: ИЭ УрО РАН, 2006. 200 с.
6. Погостинская Н.Н., Погостинский Ю.А., Коновалов Н.В. Инновационные методы экономического анализа в управлении предприятием // Известия Академии аграрного образования. 2012. № 14 (Т. 2). С. 221–231.
7. Третьякова Е.А., Осипова М.Ю. Оценка показателей устойчивого развития регионов России // Проблемы прогнозирования. 2018. № 2 (167). С. 24–35.
8. Погостинская Н.Н., Погостинский Ю.А., Власова М.С. Измерение стратегии социально-экономического раз-

вятия арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика 2019. № 1 (33). С. 21–33.

9. Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды и экологических платежах. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 18.05.2022).

10. Кутышкин А.В. Оценка функционирования региональной системы обращения с отходами потребления и производства // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9. № 2.

11. Аникина И.Д., Аникин А.А. Эколого-экономическое состояние регионов: совершенствование методологии и методики оценки // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2019. Т. 21. № 4. С. 141–151.

12. Статистический ежегодник: Стат. сб. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра в 2 ч. Ч II. (2017–2019) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому авто-

номному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2020. 278 с.

13. Статистический ежегодник: Стат. сб. в 2 ч. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра Ч. I. (I) (1990–2016) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2020. 374 с.

14. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра в цифрах: Крат. стат. сб./ Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2021.

15. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре [Электронный ресурс]. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/> (дата обращения: 11.05.2022).

УДК 502.48(470.333)

ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГУБКИНСКОГО ЗАКАЗНИКА И ЕГО РОЛЬ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНА

Лопина Е.М., Корнилов А.Г., Юдина Ю.В., Павлюк Я.В.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: lopina@bsu.edu.ru, kornilov@bsu.edu.ru, yudina@bsu.edu.ru, pavlyuk@bsu.edu.ru

В работе показана необходимость активного вовлечения ООПТ различного уровня в экотуристическое и экономическое пространство регионов. Назрела серьезная переоценка функциональности охраняемых территорий: не лишая их природоохранительного статуса и роли в поддержании ландшафтного и биологического разнообразия, необходимо интегрировать их в туристско-рекреационные кластеры, так как они обладают существенным природно-ресурсным потенциалом. Стратегия развития охраняемых территорий должна отвечать современным реалиям. «Консервация» ООПТ либо, наоборот, избыточная и неконтролируемая рекреационная нагрузка, активизация промышленной и сельскохозяйственной деятельности в окрестностях охраняемой территории, а то и в пределах ее границ не позволяют в полной мере реализовывать свои «функциональные обязанности», возложенные человеком на ООПТ. Предназначение региональных охраняемых территорий не должно ограничиваться только природоохранительными задачами, они должны создавать условия для развития местного туризма и отдыха. Разумный подход к геопланированию, организации и зонированию заповедных территорий позволяет повысить эффективность их деятельности. На примере Губкинского комплексного (ландшафтного) заказника, расположенного в Губкинском районе Белгородской области, показана возможность расширения рекреационной функциональности вмещающих ландшафтов. Местному населению, которое в принципе и является основным потребителем экосистемных услуг и ресурсов Губкинского заказника, предложены новые ареалы для традиционного природопользования в пределах ООПТ.

Ключевые слова: Белгородская область, ООПТ, заказник, экологический каркас, природно-ресурсный потенциал, ареалы природопользования, экотуризм, устойчивое развитие

TOURIST AND RECREATION POTENTIAL OF THE GUBKINSKY RESERVE AND ITS ROLE IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

Lopina E.M., Kornilov A.G., Yudina Yu.V., Pavlyuk Y.V.

Belgorod National Research University, Belgorod,
e-mail: lopina@bsu.edu.ru, kornilov@bsu.edu.ru, yudina@bsu.edu.ru, pavlyuk@bsu.edu.ru

The paper shows the necessity of the active involvement of PAs (specially protected natural areas) of various levels in the ecotourism and economic space of the regions. A serious reassessment of the functionality of protected areas is overdue: without depriving them of their conservation status and role in maintaining landscape and biological diversity, it is necessary to integrate them into tourist and recreational clusters, since they have significant natural resource potential. The strategy for the development of protected areas should meet modern realities. The «conservation» of protected areas, or vice versa, excessive and uncontrolled recreational load, the intensification of industrial and agricultural activities in the vicinity of a protected area, and even within its borders, do not allow the full implementation of their «functional duties» assigned by a person to protected areas. The purpose of regional protected areas should not be limited to environmental tasks; they should create conditions for the development of local tourism and recreation. A reasonable approach to geoplanning, organization and zoning of protected areas will increase the efficiency of their activities. On the basis of the case study of Gubkinsky complex (landscape) reserve, located in the Gubkinsky district of the Belgorod region, the opportunity of expanding the recreational functionality of the enclosing landscapes is demonstrated. The local population, which is basically the main consumer of ecosystem services and resources of the Gubkinsky reserve, has been offered new areas for traditional nature management within the protected areas.

Keywords: Belgorod region, specially protected natural areas, reserve, ecological framework, natural resource potential, nature management areas, ecotourism, sustainable development

В последние годы, в связи с пересмотром заповедного законодательства и смещением акцентов на устойчивое развитие территорий, кардинально меняется роль особо охраняемых природных территорий в регионах, повышается их функциональность в туристско-рекреационном секторе и экологическом просвещении. Да, ООПТ традиционно выступают основой сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, экологической стабильности экосистем и ценных возобновляемых

природных ресурсов в их пределах. Охраняемые территории способны обеспечить экологическую связность местообитаний и биотопов путем вовлечения их в региональные экологические сети. Однако остаются вопросы с интеграцией охраняемых территорий в экономическое пространство регионов, с вовлечением в индустрию туризма, спорта и рекреации, с расширением возможностей для традиционного природопользования. Практически не реализуется средоформирующий потенциал ООПТ для

экологического оздоровления близлежащих территорий [1], в том числе для рекреационной мелиорации трансформированных ландшафтов как в пределах ООПТ, так и в их буферных зонах [2].

В Белгородской области заказники – это наиболее массовая категория ООПТ. Они зеркально отражают все региональные особенности природы, включая типологические особенности ландшафтов, зональные, интразональные и аazonальные биотопы и местообитания, ресурсную составляющую геокомплексов. Заказники обладают прекрасным экотуристическим потенциалом, во многом – нереализованным. Рассмотрим возможности вовлечения одного из заказников Губкинского района Белгородской области в туристско-рекреационную сферу без ущерба для ООПТ и снижения его природоохранных функций.

Интенсивно развивающаяся в соответствии с генеральным планом Губкинского городского округа горнопромышленная зона создает высокий уровень селитебно-промышленной нагрузки в районе размещения горнодобывающих предприятий Белгородской области. Расположенный на южной периферии этой зоны Государственный природный комплексный (ландшафтный) заказник регионального значения «Губкинский» играет значительную роль в обеспечении экологически устойчивого функционирования как городского округа, так и прилегающих районов [3; 4].

Основными задачами заказника являются: сохранение природных комплексов (ландшафтов); сохранение, восстановление и воспроизводство объектов животного мира, в том числе редких и находящихся под угрозой исчезновения; сохранение среды обитания и путей миграции объектов животного мира; осуществление экологического мониторинга; проведение научных исследований; экологическое просвещение; создание условий для развития туризма и отдыха [5].

Отметим, что ландшафтный заказник «Губкинский» прежде всего успешно справляется с реализацией природоохранных функций, которые позволяют ослабить неблагоприятное воздействие динамично развивающегося горнорудного комплекса на окрестные ландшафтные геосистемы. Охранная территория выступает не только ключевым элементом региональной сети ООПТ Губкинского района, но и логично встроен в экологический каркас Белгородской области [6; 7]. Кроме того, региональная политика заповедного дела и стратегия

«устойчивого развития региона» должны быть направлены на отказ от убеждений «островного» функционирования разрозненных территорий, имеющих охранный статус; приоритетно геопланирование экологических сетей, позволяющих связать местообитания и экотопы, без ущерба для социально-экономического развития территории, в том числе Белгородской области [2; 8]. Таким образом, Губкинский заказник может выступать узловым элементом экологической сети, а также создавать буферную зону для близлежащих кластерных участков Центрально-Черноземного заповедника.

Охранный статус ландшафтного заказника и его геоэкологическое предназначение предполагает не только возможность проведения здесь научных исследований, но и позволяет создавать условия для развития туризма и отдыха для местных рекреантов.

Цель исследования – социально-экологический анализ территории Губкинского городского округа Белгородской области и оценка геоэкологического состояния Губкинского заказника для выявления перспектив его участия в системе муниципального и областного экологического, сельского и рекреационного туризма.

Материалы и методы исследования

Картографирование территории Губкинского заказника с учетом общепринятых подходов, таких как контурное дешифрирование аэрофотоснимков с использованием современных ГИС-технологий; рекогносцировочное обследование данного района; натурное изучение и функциональный анализ ключевых участков; анализ демографической ситуации обследуемой территории с целью выявления реальных и потенциальных природопользователей и рекреантов.

Результаты исследования и их обсуждение

Свою историю Губкинский заказник, как и большинство существующих ООПТ Белгородчины, начинает с 1991 года, согласно решению исполнительного комитета Белгородского областного Совета «О создании сети особо охраняемых природных территорий области», и именовался как «Особо охраняемая природная территория регионального значения «Зоологический (охотничий) заказник по сохранению сурка байбака (европейского) «Губкинский» [9]. Современная трансформация взглядов на назначение и функциональность региональной сети ООПТ Белгородской области

потребовала внесений серьезных изменений, в том числе и на законодательном уровне. Сейчас мы говорим о функционировании «Государственного природного комплексного (ландшафтного) заказника регионального значения «Губкинский», который располагается в пределах Губкинского городского округа и занимает площадь 25,8 тыс. га [5]. Территориальные границы и расположение охраняемого участка представлено на рис. 1.

Заказник позволяет сохранить эталонные и редкие сообщества, особо ценные ландшафты, тем самым выполняя средообразующую и средорегулирующую функции, способствует поддержанию благоприятной геоэкологической обстановки на территории, что отражается на качестве жизни и для местного населения. Его ландшафты мало подвержены промышленному воздействию и включают в себя значительную долю так называемых залежных земель в пределах крупных овражно-балочных образований, характеризующихся высоким уровнем ландшафтного, почвенного и биологического разнообразия. Природоохранная значимость территории междуречья р. Орлик и р. Ольшанка представлена в работе

Е.А. Корниловой, М.В. Дорошенко и др.; авторы выделяют в пределах исследуемой территории зоны «умеренной природоохранной значимости» первого и второго типов, зоны «высокой» и «очень высокой природоохранной значимости» [3].

Флора заказника характеризуется высоким видовым разнообразием. Здесь выявлены ареалы распространения и местообитания растений, относящихся к категориям: особо ценных, сокращающихся, уязвимых, редких и исчезающих видов, включая эндемиков и реликтов Среднерусской возвышенности (например, таких как *Fritillaria ruthenica*, *Veratrum nigrum*, *V. lobelianum*, *Hyacinthella leucophaea*, *Allium flavescens*, *Iris pineticola*, *I. aphylla*, *Gladiolus tenuis*, *Stipa pulcherrima*, *S. pennata*, *S. dasyphylla*, *S. zaleskii*, *Carex humilis*, *Gymnadenia conopsea*, *Nymphaea alba*, *Pulsatilla patens*, *Aconitum nemorosum*, *Anemone sylvestris*, *Clematis integrifolia*, *Adonis vernalis*, *Corydalis marschalliana*, *Androsace koso-poljanskii*, *Primula veris*, *Alyssum gmelinii*, *Hylotelephium stepposum*, *Astragalus albicaulis*, *Linum flavum*, *L. perenne*, *Valeriana rossica*, *Onosma tanaitica*, *Echium russicum*, *Lathraea squamaria*, *Centaurea ruthenica* и многие другие).

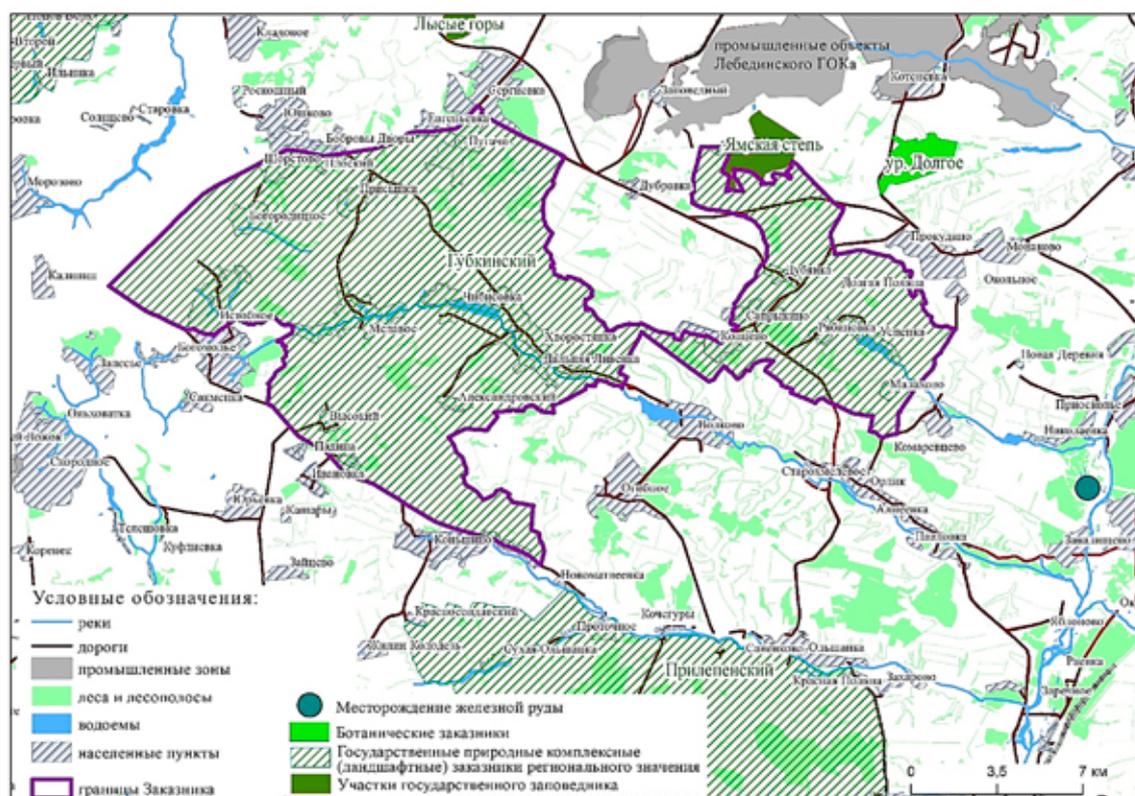


Рис. 1. Расположение Губкинского заказника и его территориальные границы

Популяции уникальных для региона представителей флоры полночленны; их ареалы занимают относительно большие территории. Фитосозологическому эффекту сохранности местных фитоценозов способствует относительно минимизированное антропогенное воздействие, в отличие от популяций, приуроченных к селитебно-промышленной зоне и затронутых деградационными процессами. В пределах заказника закартированы участки биоценозов, наиболее ценных в геоэкологическом плане, например, таких как древесно-кустарниковые ассоциации, биотопы меловых обнажений с доминированием редких и особо ценных представителей флоры и фауны, сенокосные и пастбищные биогеоценозы, выступающие местообитаниями для представителей типичной степной биоты, на что изначально был направлен заказнический статус ООПТ, а также водные и околотоводные экосистемы (рис. 2).

Коллектив авторов, Волкова Н.В., Ферару Г.С. и Третьякова Л.А., на основе анализа и оценки благоприятности территории Белгородской области для развития туриз-

ма и рекреации, а также частных и интегральной оценок ландшафтно-рекреационного потенциала, признали Губкинский район «наиболее благоприятным» в плане обладания и возможности реализации экотуристического потенциала [10]. Для этих целей в Белгородской области широко применяются и современные ГИС-технологии [11]; авторы предложили свое видение оценки экотуристического потенциала, выделив районы «благоприятные, относительно благоприятные и неблагоприятные для развития экологического туризма», где Губкинскому району в целом отведена позиция «относительно благоприятного» для целей рекреации и туризма [11]. Тем не менее основу экономики Губкинского городского округа формирует горнодобывающая отрасль, а главной сферой экономической деятельности местного населения в пределах Губкинского заказника является сельское хозяйство; статус заказника дает возможность для жителей местных сел не отказываться от традиционных для них видов хозяйственной деятельности и природопользования.



Рис. 2. Фитоценозы и растительные сообщества южного кластера Губкинского заказника

Мы уже отмечали, что территория комплексного заказника «Губкинский» имеет все возможности реализовать рекреационный и туристический потенциал, что в свою очередь могло бы благоприятно сказываться на организации занятости для части местного населения и тем самым реализовать «принцип самодостаточности, инвестиционной привлекательности и включения в экономическое пространство региона» [2] данного ООПТ регионального значения.

Рассмотрим демографическую ситуацию, сложившуюся в населенных пунктах рассматриваемой территории (как и в целом Губкинского городского округа). Отмечена общая тенденция к уменьшению численности постоянного населения. Во всех селах и хуторах наблюдается многолетняя потеря населения, обусловленная в основном внутрирайонной миграцией. Жители небольших сёл переезжают в более крупные или в город Губкин, с более развитой социальной инфраструктурой и относительно более высокими показателями качества жизни. Соответственно, большие миграционные потери трудоспособного населения способствуют ускоренному процессу «старения» в сельских населённых пунктах в сравнении с Губкинским городским округом. В целом численность населения старше трудоспособного возраста составляет 26,3%, а количество молодых людей в возрасте от 0 до 17 лет – не более 15,3% от всего населения. Таким образом, согласно шкале демографического старения Ж. Боже-Гарнье – Э. Россета, району исследования может быть присвоен следующий демографический статус: «очень высокий уровень демографической старости». Отметим также, что численность незанятого населения в разрезе тех территориальных администраций, в которых находятся населенные пункты района исследования, составляет в среднем 52% от общей численности населения. Данные демографические показатели определяют региональные и локальные особенности природопользования местного населения, в том числе в пределах заказника «Губкинский».

Заметим и иную, общеевропейскую тенденцию, проявляемую и в Белгородской области: многие городские жители административного центра Губкинского района владеют домами в местных сельских населенных пунктах и живут здесь в периоды отпусков и выходных дней, что может быть рассмотрено как существенный фактор становления и развития сельскохозяйствен-

ного, рекреационного и экологического туризма. Многолетний ряд авторских исследований и «оценок эстетико-потребительских параметров общественного природопользования в населенных пунктах», в том числе жителей района Курской магнитной аномалии (КМА) [4; 12], свидетельствует о том, что сельские населенные пункты и окружающая их территория, в пределах Губкинского заказника, по мнению респондентов, характеризуется наличием значительных эстетических ресурсов. Здесь выявлен самый высокий показатель репрезентации объектов природы, а «главные пейзажеобразующие элементы» получили от местных жителей самые максимальные оценки [4]. Также установлено, что для всех сельских населенных пунктов «внутреннее» общественное природопользование преобладает над «внешним» [4], что проявляется, прежде всего, в максимальных показателях рекреационного использования местных ландшафтов.

Однако, если мы посмотрим на рис. 3, где отражены ареалы реального природопользования на примере южного ключевого участка Губкинского заказника, то отметим, что рекреационный потенциал реализован минимально. Выделение, уточнение и редакция границ ареалов перспективных территорий для рекреации и туризма в пределах заказника выполнено с учетом бассейнового подхода в природопользовании [8; 13], который активно реализуется в Белгородской области, в том числе при планировании, территориальном обосновании и зонировании ООПТ [2; 13; 14]. Бассейновая концепция предоставляет возможности для реализации системного подхода, в том числе в вопросах охраны окружающей среды и рационального использования природно-ресурсного потенциала территории. Авторами, используя данный подход, предлагается расширить зоны активного туристско-рекреационного и иного общественного природопользования за счет лесных, лесополевых, полевых и пойменных ландшафтов.

Особое внимание уделяется водным экосистемам в пределах Губкинского заказника, которые слабо вовлечены в рекреационную деятельность. Несмотря на влияние КМА, показатели ПДК основных загрязнителей вод поверхностных водных объектов не превышают нормативов, установленных для водоёмов культурно-бытового назначения, и не приводят к нарушениям экологической устойчивости водных и околотовных экосистем [15].

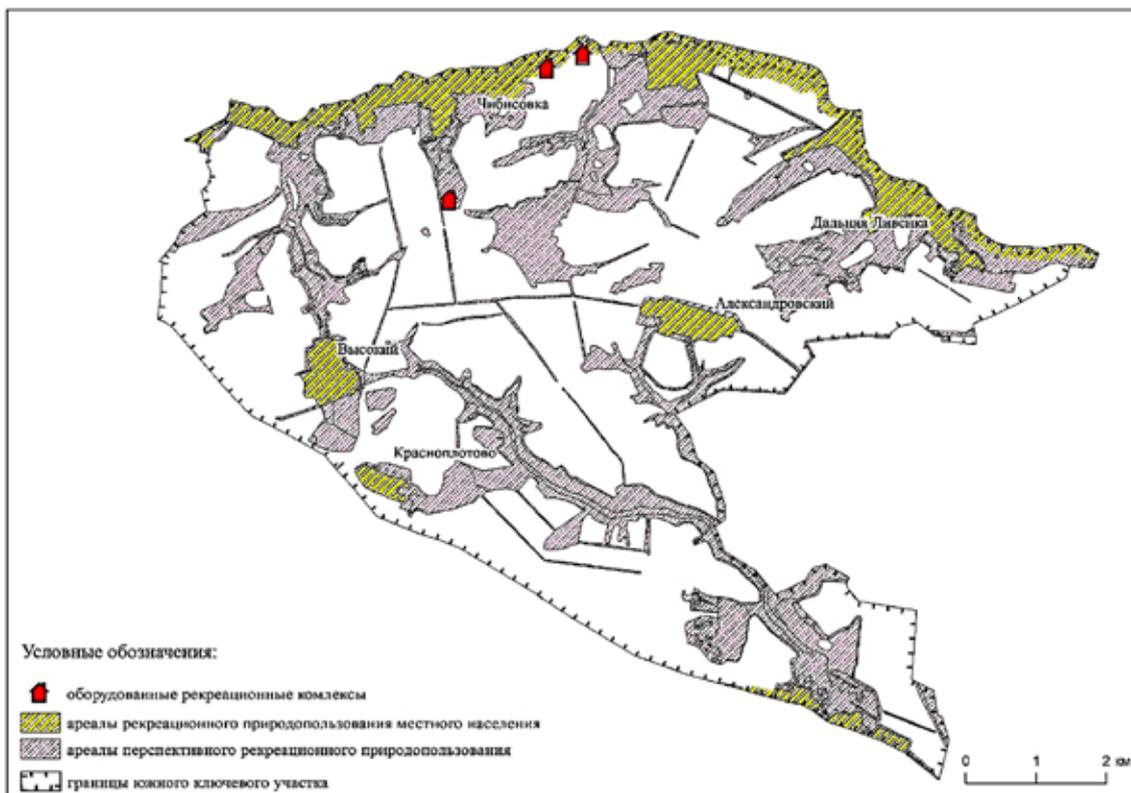


Рис. 3. Корректировка функционального назначения Губкинского заказника: расширение зон рекреационного природопользования за счет вовлечения перспективных территорий

Существующая туристическая инфраструктура в пределах ООПТ не является развитой, но имеет определенный потенциал для разработки дополнительных туристско-рекреационных маршрутов, экологических троп и т.п., хотя увеличение турпотока не входит в задачи заказника «Губкинский». Точных данных о числе посещающих рассматриваемую территорию туристов в настоящее время нет. Большинство рекреантов являются местными жителями или их родными, близкими.

Например, Центром развития туризма «Магнитный полюс» при управлении культуры администрации Губкинского городского округа с целью организации досуга жителей и гостей региона периодически организуются познавательные-краеведческие экскурсии, включая населенные пункты заказника «Губкинский». На ключевом участке и вблизи от него проходят два экскурсионных маршрута. Рассмотрим их.

Первая экскурсия – «Коньшино – земля мастеров», предполагает поездку в с. Коньшино, где происходит знакомство с историей села, осмотр памятника архитекту-

ры – деревянного храма Святителя Николая Чудотворца второй половины XIX в., прогулка по парку «Самоделкино» и посещение освященного родника.

Второй маршрут – «Здесь отчий дом, здесь родина моя», связан с посещением с. Богословка, где располагается Мемориально-культурный комплекс декабриста, поэта, героя Отечественной войны 1812 года В.Ф. Раевского. Этот музей, несмотря на свою провинциальность, обладает весьма уникальными экспонатами. Внимания заслуживают и местный Краеведческий музей, дом ремесел и пользующаяся популярностью экологическая тропа.

Заключение

Ландшафтный заказник «Губкинский» является не только звеном регионального экологического каркаса, но вполне может выступать как вариант туристско-рекреационного кластера. Рекомендации по конструктивному планированию геопространства включают, прежде всего, расширение ареалов природопользования местных жителей, проработку имеющихся и организа-

цию новых экотуристических маршрутов, обустройство рекреационных зон, в перспективе даже возможна реализация концепции «этнодворов», ориентированных на народные промыслы и ремесла, кухню и т.д. Однако при реализации данных мероприятий необходимо принять во внимание и количественный показатель туристического потока, его пространственные и временные рамки, чтобы минимизировать возможные рекреационные нагрузки на территорию.

Список литературы

1. Дегтярь А.В., Григорьева О.И. Развитие сети особо охраняемых природных территорий Белгородской области // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2016. Т. 2. № 4 (10). С. 18-29. DOI: 10.18413/2408-9346-2016-2-4-18-29.
2. Юдина Ю.В. Геоэкологический подход к пространственному формированию региональной сети особо охраняемых природных территорий // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: материалы VII Международной научной конференции (г. Белгород, 24-26 октября 2017 г.). Белгород: ПОЛИТЕРРА, 2017. С. 495-501.
3. Корнилова Е.А., Дорошенко М.В., Локтионов А.А., Локтионова Д.О. Природоохранная значимость периферийных аграрных ареалов Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района Белгородской области // Журналистика и география: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Воронеж, 20-21 марта 2020 г.). Воронеж: ВГУ, 2020. Т. 1. С. 209-212.
4. Лопина Е.М., Корнилов А.Г., Киреева-Гененко И.А. Эстетико-потребительские аспекты и проблемы организации и использования городских рекреационных пространств в районе КМА // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14662> (дата обращения: 16.12.2022).
5. Постановление правительства Белгородской области от 11.01.2010 №1-пп «О государственных региональных зоологических (охотничьих) заказниках» // ООПТ России. Губкинский. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt> (дата обращения 25.10.2022).
6. Олейникова В.А., Дроздова Е.А. Интегральная оценка рекреационного потенциала в целях развития туризма и экологического планирования (на примере Губкинского городского округа Белгородской области) // Сохранение и рациональное использование культурного наследия в сфере туризма: материалы Международной научно-практической конференции (г. Уфа, 16-17 ноября 2016 г.). Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 256-260.
7. Лужков Р.С., Пакина А.А. Анализ структуры землепользования староосвоенного региона для целей формирования природно-экологического каркаса с применением ГИС-технологий (на примере Белгородской области) // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС 2021. Т. 27. № 4. С. 105-119. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-105-119.
8. Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 1. С. 48-51.
9. Решение исполнительного комитета Белгородского областного Совета народных депутатов от 30.08.1991 №267 «О создании сети особо охраняемых природных территорий области» // ООПТ России. Губкинский. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt> (дата обращения: 25.10.2022).
10. Волкова Н.В., Ферару Г.С., Третьякова Л.А. Оценка эколого-туристического потенциала региона и перспективы его использования (на примере Белгородской области) // Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 2 (277). С. 27-38.
11. Королева И.С., Петин А.Н., Павлюк Я.В. Применение ГИС-технологий для оценки экотуристического потенциала староосвоенного региона (на примере Белгородской области) // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2015. № 1 (3). С. 13-18.
12. Лопина Е.М., Корнилов А.Г., Киреева-Гененко И.А. Анализ особенностей общественного природопользования населенных пунктов района размещения горнодобывающих предприятий КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 184-188.
13. Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Нарожняя А.Г., Чепелев О.А., Кузьменко Я.В., Маринина О.А., Землякова А.В., Кириленко Ж.А., Самофалова О.М., Терехин Э.А., Украинский П.А. Бассейновый подход к организации природопользования в Белгородской области. Белгород: КОНСТАНТА, 2013. 88 с.
14. Yudina Y.V., Narozhnyaya A.G., Bunyaeva A.G., Pavlyuk Y.V. Ensuring a rational nature management in the transition of land use onto the basin principles and organization of large nature protection areas. International Journal of Green Pharmacy. 2017. Vol. 11. No. 3. P. 543-548.
15. Корнилова Е.А., Колмыков С.Н., Дорошенко М.В. Гидрохимическая характеристика поверхностных и подземных водных объектов Старооскольско-Губкинского месторождения // Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 2. С. 110-117.

УДК 502/504

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА
К КОНЦЕНТРАЦИЯМ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
(ПАРАМЕТРА ХПК/ВВ)
В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

^{1,2}Мискевич И.В., ^{1,3}Нецветева О.П., ²Кузнецов Е.А.

¹ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,
e-mail: szoiran@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: Kuznetsov2302@yandex.ru;

³Национальный парк «Русская Арктика», Архангельск

Рассмотрены результаты исследований по использованию соотношения параметра ХПК и концентраций взвешенных веществ (ХПК/ВВ) в речных водах и в устьях рек европейского севера России. При этом величина ХПК рассматривалась как индикатор суммарного содержания органических веществ в поверхностных водах. Получено, что параметр ХПК/ВВ может использоваться для качественной оценки вклада природных и антропогенных факторов в загрязнение водной среды. Приведен пример для определения влияния сброса дренажных вод с месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова на Беломорско-Кулойском плато, которые содержат высокие концентрации сапонита. Рассмотрена изменчивость параметра ХПК/ВВ в зоне смешения речных и морских вод в устьях Онеги и Северной Двины в меженные периоды. Зафиксировано его возрастание по мере увеличения солёности устьевых вод. Наиболее интенсивно такое увеличение отмечается на гравитационной ступени маргинального фильтра в диапазоне солёности менее 5 ‰. Предложено использовать рассматриваемое соотношение для контроля последствия дампинга грунта, вынимаемого при дноуглублении морских судоходных каналов. Ожидается, что на графиках связи параметра ХПК/ВВ и солёности его постепенное возрастание будет деформировано за счет появления локального максимума на границе гравитационной и коагуляционно-сорбционной ступеней, или только в зоне второй ступени маргинального фильтра на участке дампинга грунта. Сделан вывод о возможности эффективного использования параметра ХПК/ВВ для проведения геоэкологических исследований водных объектов таежной зоны. Для них характерно повышенное содержание органики и взвесей, формируемое за счет как антропогенных, так и природных факторов.

Ключевые слова: ХПК, взвесь, соотношение, реки, сточные воды, сезон, месторождение алмазов, устья рек, солёность, маргинальный фильтр

**USING THE RATIO OF CHEMICAL OXYGEN CONSUMPTION
TO SUSPENDED MATTER CONCENTRATIONS (COD/BB PARAMETER)
IN GEOECOLOGICAL STUDIES OF WATER BODIES THE EUROPEAN NORTH**

^{1,2}Miskevich I.V., ^{1,3}Netsvetaeva O.P., ²Kuznetsov E.A.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: szoiran@mail.ru;

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: Kuznetsov2302@yandex.ru;

³Russian Arctic National Park, Arkhangelsk

The results of studies on the use of the ratio of the COD parameter and the concentration of suspended solids (COD/SS) in river waters and in the mouths of the rivers of the European North of Russia are considered. At the same time, the COD value was considered as an indicator of the total content of organic substances in surface waters. It was found that the COD/SS parameter can be used for a qualitative assessment of the contribution of natural and anthropogenic factors to the pollution of the aquatic environment. An example is given to determine the impact of the discharge of drainage water from the Lomonosov diamond deposit on the White Sea Kuloy plateau, which contain high concentrations of saponite. The variability of the COD/SS parameter in the zone of mixing of river and sea waters at the mouths of the Onega and Northern Dvina rivers during low-water periods is considered. Its increase was recorded as the salinity of estuarine waters increased. Such an increase is most intense at the gravitational step of the marginal filter in the salinity range of less than 5 ‰. It is proposed to use the ratio under consideration to control the consequences of dumping of soil removed during dredging of sea navigation channels. It is expected that on the graphs of the relationship between the COD/SS parameter and salinity, its gradual increase will be deformed due to the appearance of a local maximum at the boundary of the gravitational and coagulation-sorption stages, or only in the zone of the second stage of the marginal filter at the soil dumping site. The conclusion is made about the possibility of effective use of the COD/SS parameter for geoeological research of water bodies in the taiga zone. They are characterized by an increased content of organic matter and suspended matter, which is formed due to both anthropogenic and natural factors.

Keywords: COD, particulate matter, ratio, rivers, wastewater, season, diamond deposit, river mouths, salinity, marginal filter

Использование предельно допустимых концентраций (ПДК) для оценки качества поверхностных вод часто осложняется влиянием на контролируемые показатели как антропогенных, так и природных факторов. К таким показателям, в частности, относятся взвешенные вещества (ВВ), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), величина рН, железо и ряд других ингредиентов. При невозможности разделения такого влияния могут возникать серьезные ошибки в тактике и стратегии природоохранной деятельности.

Целью представленных исследований было выяснение возможностей использования параметра (соотношения) ХПК/ВВ для решения геоэкологических задач применительно к водным объектам. Для этих показателей, в частности, имеется большой массив архивных данных по многолетним наблюдениям (за 30–50 лет) Росгидромета на большом количестве рек и озер на территории России. Они также входят в обязательный перечень мониторинговых наблюдений при контроле загрязнения сточных вод промышленных и коммунальных предприятий. Например, ХПК и взвешенные вещества являются опорными показателями при регулировании водопользования на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [1].

Параметр ХПК является индикатором наличия в водной среде суммарного количества органических веществ. Он измеряется в молекулярной концентрации кислорода, потребляемого на окисление органики в определенном объеме воды (мгО/л), и для вычисления концентрации органических веществ величину ХПК необходимо умножить на коэффициент, равный 0,75 [2]. Возрастание этого показателя в поверхностных водах за счет антропогенного влияния происходит при сбросах сточных вод, а также дренажа территорий интенсивной хозяйственной деятельности, не оборудованных ливневой канализацией. Природными источниками ХПК служат процессы выщелачивания органики из почвенно-растительного покрова, поступление в водные объекты частиц почв и продуктов разложения растительности за счет ливневых дождей и талых вод, эрозии береговой зоны. Возрастание величины ХПК может быть связано и с гидробиологическими процессами, например, при вспышке развития фитопланктона. Наиболее высокие величины ХПК природного генезиса

(до 50–100 мгО/л и более) характерны для северной зоны тайги, где процессы минерализации органики получают сравнительно малое развитие.

Антропогенными источниками поступления взвеси в поверхностные воды служат сбросы сточных вод, включая дренажные стоки, дноуглубительные работы и дампинг вынутаго грунта, карьерный способ разработки месторождений алмазов, гидроразрыв грунта при добыче золота и ряд других технологий добычи полезных ископаемых. Ее природными источниками служат взмучивание донных отложений и разрушение (размыв) берегов водных объектов за счет гидродинамических факторов (ветрового волнения, высоких скоростей течений, паводковых явлений, ливневых дождей), а также различные эрозийные процессы, особенно селевые явления.

В табл. 1 представлены статистики для рассматриваемого параметра для устьев Онеги и Северной Двины в Белом море, а на рис. 1 представлена его связь с распределением солёности в зоне смешения морских и речных вод. Были выбраны периоды, когда в указанных устьях рек не производились гидротехнические работы.

Сразу необходимо отметить наличие более высоких значений параметра ХПК/ВВ в устье р. Северной Двины (в дельтовой протоке Маймакса) по сравнению с его величинами в устье р. Онеги. Это обусловлено тем, что протока Маймакса находится в зоне влияния сточных вод Архангельска и Новодвинска, что обеспечивает дополнительное антропогенное поступление в речные (устьевые) воды органических веществ. Данное предположение также подтверждается возрастанием содержания легкорасщелимой органики, идентифицируемой по показателю БПК₅, при увеличении концентраций взвешенных веществ в водах исследуемой протоки [3].

В устье р. Онеги промышленные и коммунальные стоки одноименного города не поступают (они выводятся в Онежский залив), величины ХПК здесь сравнительно низкие, органика в водной среде имеет преимущественно природное происхождение.

Несмотря на заметные различия в экосистемах устьев рассматриваемых рек и антропогенном влиянии на качество их вод связь параметра ХПК/ВВ с распределением солёности в их зонах смешения речных и морских вод имеет схожий характер (рис. 1). Ее, в частности, можно аппроксимировать логарифмическим уравнением.

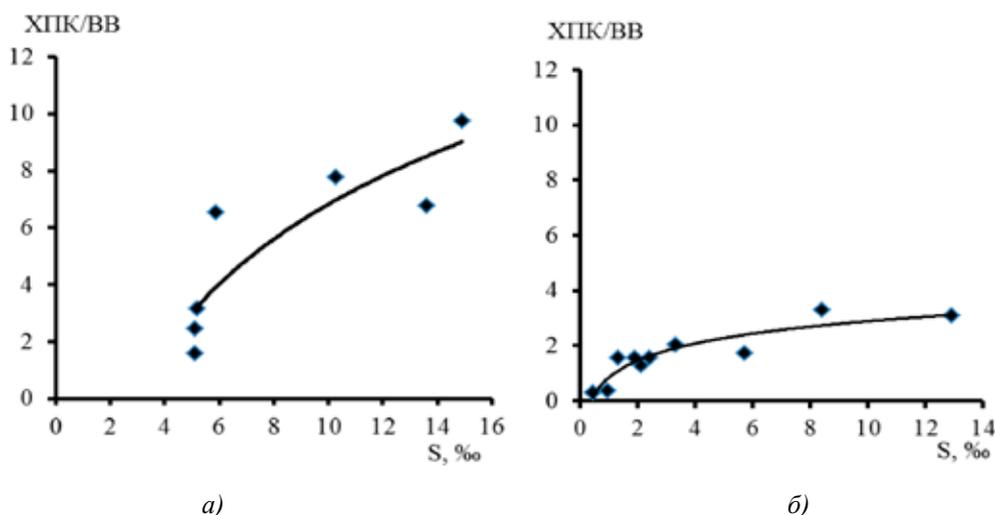


Рис. 1. Графики связи отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ с распределением солености в протоке Маймакса в дельте Северной Двины (а) в марте и в устье Онеги (б) в августе 2022 г.

Таблица 1

Статистические характеристики изменчивости отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в зонах смешения речных и морских вод в устьях рек Белого моря в меженные периоды

Статистика	Устье р. Онеги (август 2022 г.)	Устье р. Северной Двины (март 2022 г.)
Среднее значение	1,6	5,4
Стандартное отклонение	0,9	3,1
Медиана	1,6	6,5
25 % точка	1,1	2,8
75 % точка	1,9	7,3
Минимум	0,3	1,6
Максимум	3,3	9,8
Количество наблюдений	15	7

Если рассматривать такую связь в рамках модели маргинального фильтра академика А.П. Лисицына, то получаем, что наиболее заметное возрастание соотношения ХПК/ВВ наблюдается на его гравитационной ступени. Оно отмечается и на последующей коагуляционно-сорбционной ступени, но увеличение этого параметра при увеличении солености ослабевает. Механизм данного процесса можно трактовать

следующим образом. По мере смешения речных и морских вод наблюдается снижение концентраций взвешенных частиц за счет их седиментации и турбулентного рассеивания, на растворимые соединения, в том числе дающие вклад в формирование величины ХПК, влияет лишь последний процесс. Седиментация взвесей в устьевых водах происходит быстрее, чем разбавление растворимых веществ, т.е. возрастание параметра ХПК/ВВ в зоне смешения речных и морских вод идет естественным путем за счет специфики гидродинамических процессов.

Если ориентироваться на данные исследований маргинального фильтра устья р. Северной Двины [4], то дампинг грунта в устьях рассматриваемых рек, вынуженного при производстве дноуглубительных работ, производится на второй ступени маргинального фильтра в диапазоне солености 5–20 ‰. Такой диапазон солености характерен для устьевых взморьев этих рек в летне-осеннюю межень. При проведении операций дампинга грунта, вероятнее всего, следует ожидать снижение величины параметра ХПК/ВВ за счет увеличения вклада в состав взвешенных веществ минеральных частиц из вынимаемого грунта судоводных каналов, расположенных вне территорий городов и удаленных от точек выпуска сточных вод. На небольших пространственных интервалах (десятки-сотни метров) процессы седиментации взвесей и турбулентного рассеивания нерастворимых и раство-

римых веществ не успевают формировать тенденцию к уменьшению параметра ХПК/ВВ по мере возрастания солености устьевых вод. В данной ситуации можно ожидать кардинальных изменений в графиках, представленных на рис. 1, в первую очередь за счет появления локального минимума в диапазоне солености, соответствующем участку сброса грунта, вынутого на судодном канале.

При сбросе грунта, вынутого на сильно заиленных участках морского порта в зонах с наличием хорошо выраженного антропогенного влияния, не исключается формирование локального максимума параметра ХПК/ВВ на фоне тренда его постепенного возрастания по мере увеличения солености устьевых вод. Но это возможно лишь при сильном загрязнении органикой иловых отложений портовых акваторий, что чаще всего характерно для городской территории или участков выпуска сточных вод. Эти предположения планируются уточнить при проведении дальнейших исследований.

Вклад минеральных частиц в повышенные концентрации взвеси в поверхностных

водах обычно наиболее характерен для геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений некоторых полезных ископаемых. В подобных ситуациях в водотоках таежной зоны с наличием высоких величин ХПК в изменения параметра ХПК/ВВ должны наблюдаться заметные различия на фоновом и контрольном створах. Такое предположение подтверждают исследования р. Зимней Золотицы на Беломорско-Кулойском плато, где ведется добыча алмазов. В статье [5] приведены результаты статистических расчетов по изменчивости концентраций взвеси по мониторинговым наблюдениям на этой реке в районе сброса дренажных вод с месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Они не позволяют делать какие-либо обоснованные выводы об их влиянии на повышение мутности речных вод. Однако результаты подобных расчетов для параметра ХПК/ВВ дали другой результат (табл. 2). В меженные периоды его величина на контрольном створе ниже сброса дренажных стоков становится значительно ниже, чем на фоновом створе, что указывает на формирование на нем доминанты минеральной взвеси.

Таблица 2

Статистические характеристики отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в р. Золотице в различные сезоны

Статистики	Сезоны			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Створ 156 км выше устья реки (фоновый створ)				
Среднее значение	86,18	19,59	26,85	32,26
Стандартное отклонение	91,00	22,92	38,96	34,45
Медиана	71,83	9,63	4,35	15,92
Нижний квартиль (25 %)	37,52	6,51	4,35	12,47
Верхний квартиль (75 %)	127,67	22,71	38,09	43,88
Максимальное значение	183,50	56,33	71,83	71,83
Минимальное значение	3,20	2,79	4,35	9,01
Количество наблюдений	3	8	5	3
Створ 152 км выше устья реки (контрольный створ)				
Среднее значение	7,63	13,92	3,14	12,11
Стандартное отклонение	7,07	16,89	0,60	16,52
Медиана	6,69	6,43	3,14	12,11
Нижний квартиль (25 %)	1,96	5,75	2,93	6,27
Верхний квартиль (75 %)	12,50	14,42	3,35	17,95
Максимальное значение	16,92	42,75	3,56	23,79
Минимальное значение	0,10	0,26	2,71	0,42
Количество наблюдений	12	7	3	4

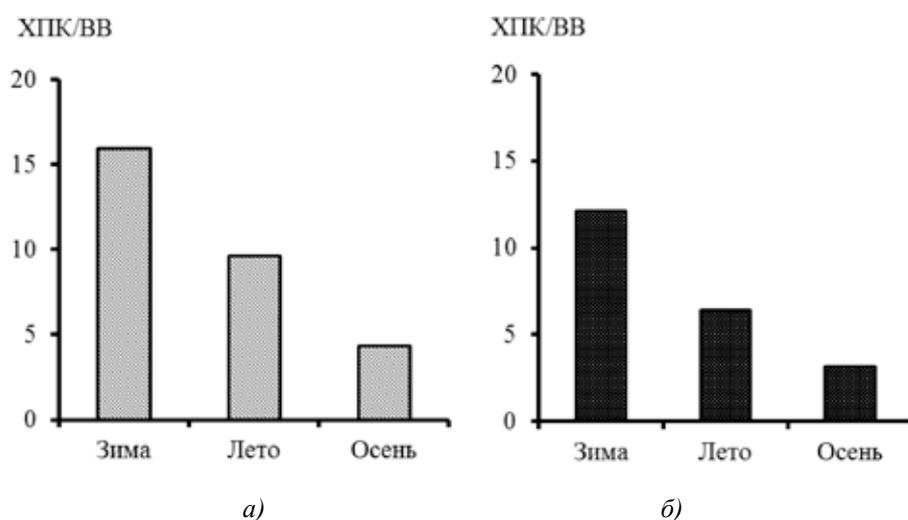


Рис. 2. Сезонная изменчивость соотношения ХПК и взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) на фоновом (а) и контрольном (б) створах р. Зимней Золотицы в районе сброса дренажных вод месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова

Наблюдаемую ситуацию можно объяснить только влиянием дренажных вод, обогащенных сапонитом. Однако необходимо отметить, что смена качественного состава взвешенных веществ в речных водах на контрольном створе реки не сопровождалась возрастанием их концентраций выше фонового уровня. Это можно связать с очень низким содержанием взвесей органического происхождения в дренажных водах, образующихся в осушаемых карьерах месторождения алмазов. При их сбросе они начинают разбавлять речные воды, обогащенные органикой природного генезиса с высокими величинами ХПК. Идентичность сезонных изменений рассматриваемого показателя на фоновом и контрольном створах указывает, что они, в первую очередь, связаны с колебаниями речного стока, а не с техногенным влиянием.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование параметра ХПК/ВВ, как вспомогательный инструмент для оценки влияния антропогенных факторов на качество поверхностных вод в ситуациях, когда необходимо определить происхождение сверхнормативных концентраций взвеси, какая оценка имеет качественный характер и может, например, дополнять экспертный подход при решении геоэкологических задач [6]. Кроме того, его применение позволяет более объективно понимать и трактовать процессы, происходящие в реках таежной зоны, для которых типично высокое содержание органики и взвешенных веществ.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № FMWE-2021-0006.

Список литературы

1. Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Костогоров Н.М., Шульгина Е.В., Иванченко Н.Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 343–352.
2. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 240 с.
3. Котова Е.И., Мискевич И.В., Нецветова О.П. Особенности вертикальной структуры маргинального фильтра в устьях рек с устойчивым галоклином в зимний период на примере дельты Северной Двины // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 61–65.
4. Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 169–200.
5. Мискевич И.В., Кузнецов Е.А. Характеристика сезонной изменчивости содержания взвеси в речных водах Беломорско-Кулойского плато // Естественные и технические науки. 2022. № 2 (165). С. 189–192.
6. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов / Под ред. Кочурова Б.И. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.

УДК 551.5:519.6

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРСКОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ

Пархоменко В.П.

ФИЦ «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва,
e-mail: vparhom@yandex.ru

Представлен анализ изменчивости и чувствительности морского ледяного покрова к характеристикам используемых климатических моделей, определяющим взаимодействие атмосферы, океана и льда, явный тепловой поток от поверхности морского льда и снега, тепловой поток от океана ко льду. В основе лежит модель атмосферных движений и процессов, описываемая уравнениями газовой динамики с особенностями, связанными с вращающейся Землей. Источники тепла определяются в блоке, описывающем процессы распространения тепловой и солнечной радиации с учетом распределения водяного пара и облачности в атмосфере. Взаимодействие с подстилающей поверхностью состоит в обмене импульсом, влагой (испарение и осадки), явным и скрытым потоком тепла. В модели океана определяется температура верхнего перемешанного слоя и его толщина. Лед образуется в результате баланса потоков тепла из атмосферы и океана, учитывается также возможное наличие снежного покрова на поверхности. Модель позволяет описать образование внутренних полостей в толще льда. Приведены расчетные распределения морского ледяного покрова для разных сезонов. Временной анализ эволюции средней толщины льда Северного Ледовитого океана показывает, что и в стационарном состоянии наблюдаются значительные межгодовые вариации толщины ледового покрова. Осуществлена серия численных экспериментов для оценки чувствительности модельных результатов к существенным характеристикам климатической системы.

Ключевые слова: Арктический регион, климатическая модель, численные эксперименты, эволюция морского льда

APPLICATION OF THE GLOBAL CLIMATE MODEL TO ANALYZE THE ARCTIC SEA ICE COVER VARIABILITY

Parkhomenko V.P.

Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: vparhom@yandex.ru

The analysis of the variability and sensitivity of the sea ice cover to the characteristics of the climate models used, which determine the interaction of the atmosphere, ocean and ice, the sensible heat flux from the sea ice and snow surface, the heat flux from the ocean to the ice, is presented. It is based on a model of atmospheric motions and processes described by gas dynamics equations with features associated with the rotating Earth. Heat sources are defined in the block describing the propagation processes of thermal and solar radiation, taking into account the distribution of water vapor and clouds in the atmosphere. Interaction with the surface consists in the exchange of momentum, moisture (evaporation and precipitation), sensible and latent heat flux. The ocean model determines the temperature of the upper mixed layer and its thickness. Ice is formed as a result of the balance of heat fluxes from the atmosphere and the ocean, the possible presence of snow cover on the surface is also taken into account. The model allows us to describe the formation of internal cavities in the ice thickness. Calculated distributions of sea ice cover for different seasons are given. A time analysis of the evolution of the average thickness of the Arctic ice shows that significant interannual variations in the ice cover thickness are observed in the stationary state. A series of numerical experiments was carried out to assess the sensitivity of the model results to the essential characteristics of the climate system.

Keywords: Arctic region, climate model, numerical experiments, evolution of sea ice

Имеется достаточно доказательств того, что парниковый эффект вызовет значительные изменения климата и биотических процессов в районе Северного Ледовитого океана [1, 2]. Эти изменения могут привести к критическим экономическим и экологическим результатам в будущем для России [3].

В настоящей работе представлен анализ изменчивости и чувствительности морского ледяного покрова к характеристикам используемых моделей, определяющим взаимодействие атмосферы, океана и льда, явный тепловой поток от поверхности морского льда и снега, тепловой поток от океана ко льду.

Цель исследования – провести анализ изменчивости и чувствительности покрова морского льда для Арктического региона к основным параметрам, определяющим взаимодействие атмосферы, льда и океана: альbedo снега и льда, потока явного тепла с ледовой поверхности, потока тепла из океана на основе применения комплексной климатической модели.

Материалы и методы исследования

Рассматриваемая климатическая гидродинамическая модель состоит из модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) [4, 5], модели термоклина Северного Ледовитого

океана [6, 7], и модели морского льда. Взаимодействие между элементами модели происходит через перенос импульса, энергии и влаги на границах субстанций.

Основой исследований является модель ОЦА [8], представленная уравнениями, в общем являющимися уравнениями газовой динамики с некоторыми особенностями. Они описывают движение сжимаемого невязкого газа в неинерциальной системе координат, связанной с вращающейся Землей. По этой причине в уравнениях присутствует сила Кориолиса, являющаяся доминирующим членом в уравнениях горизонтального импульса. Центробежное ускорение дает малый вклад в ускорение свободного падения. В качестве уравнения для вертикальной компоненты импульса используется гидростатическое приближение, справедливое для рассматриваемых временных и пространственных масштабов движений в атмосфере. Предполагается, что вертикальные конвективные процессы имеют меньшие временные масштабы и приводят к установившемуся состоянию атмосферы по вертикали. Однако эти мелкомасштабные подсеточные процессы эффективно рассчитываются в так называемой процедуре конвективного приспособления. В ней анализируется возможная вертикальная неустойчивость атмосферы в данной ячейке и на основе сохранения энергии и массы характеристики атмосферы приводятся к устойчивому состоянию. Эта же процедура приводит к вертикальному перераспределению водяного пара в атмосфере с возможностью его конденсации и выпадения в виде осадков. Осадки также могут выпадать и при горизонтальных движениях водяного пара в атмосфере, которые описываются прогнозными уравнениями переноса. В зависимости от температуры осадки предполагаются в виде дождя или снега. Источниками водяного пара в атмосфере являются испарение с подстилающей поверхности, процессы конденсации и выпадения осадков. В модели присутствует также термодинамическое уравнение сохранения энергии, описывающее перенос энергии в слоях атмосферы. Источники тепла в этом уравнении определяются в специальной модели, описывающей процессы распространения тепловой и солнечной радиации с учетом распределения водяного пара и облачности в атмосфере. Процедура определения облачности задает несколько типов облаков, отличающихся плотностью, оптическими свойствами и высотой расположения. На подстилающей поверхности

определяется ее температура, влажность, альbedo и шероховатость в зависимости от типа поверхности. Взаимодействие с атмосферой состоит в обмене импульсом, влагой (испарение и осадки), явным и скрытым потоком тепла.

Система трехмерных дифференциальных уравнений модели ОЦА [8] дискретизируется на горизонтальной равномерной по широте и долготе глобальной конечно-разностной сетке. Все расчеты ведутся в режиме сезонного хода инсоляции. На выходе модели получаются все основные характеристики атмосферы, трехмерные поля скорости ветра, температуры, содержания водяного пара, давления, облачности осадков, потоков теплового и солнечного излучения. Как будет видно далее, все рассчитанные физические поля стохастически меняются, поэтому анализируются полученные средние характеристики атмосферы, обычно для определенных сезонов года. Это позволяет определить адекватность модели в широком диапазоне изменения значений различных характеристик атмосферы путем сравнения с данными наблюдений. Модель ОЦА была использована для воспроизведения современного климата, оценки влияния на климат антропогенных и естественных факторов, реконструкции палеоклимата и других численных экспериментов [9].

Океанический блок представляет собой интегральную двумерную модель деятельного слоя океана. Предполагается, что толщина деятельного слоя везде равна 250 м. В модели определяется температура верхнего перемешанного слоя и его толщина [7].

Термодинамическая модель эволюции морского льда базируется на модели, описанной Семптером [10], но имеет некоторые отличия и модификации [4]. Лед формируется в результате баланса потоков тепла из атмосферы и океана, учитывается также возможное наличие снежного покрова на поверхности. Модель позволяет описать также образование внутренних полоостей в толще льда [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Базовый численный эксперимент с описанной моделью проводится с установившимися характеристиками атмосферы и начальными условиями морского льда Северного Ледовитого океана, соответствующими одинаковой его толщине, равной 2 м, сплоченности 0,9 (доли льда в ячейке) и нулевому количеству снега на поверхности

льда. Область ледяного покрова Северного Ледовитого океана задана климатическими данными наблюдений для текущего месяца. Временной анализ эволюции средней толщины льда Северного Ледовитого океана зафиксирован на рис. 1. Жирная линия показывает скользящее среднее этой величины с периодом осреднения 1 год. Аналогичные результаты следуют и из рассмотрения этой характеристики для отдельной выбранной характерной географической точки вблизи северного полюса (рис. 2). Как следует из этих результатов, и в стационарном состоянии наблюдаются значительные межгодовые вариации толщины ледового покрова (рис. 1 и 2).

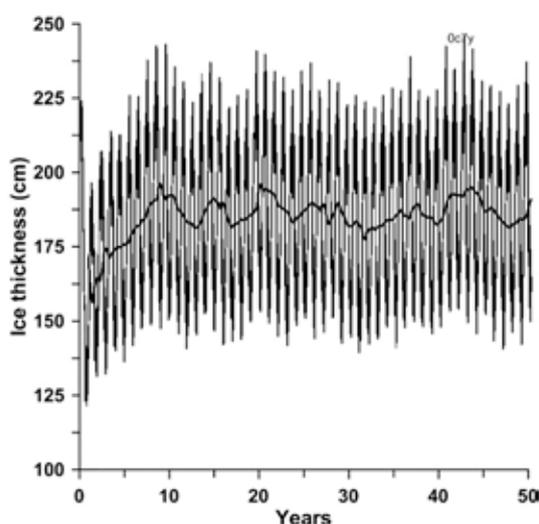


Рис. 1. Временной анализ эволюции средней толщины арктического льда

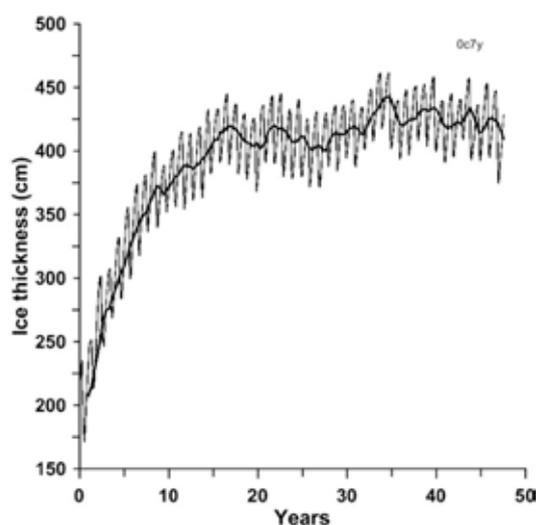


Рис. 2. Временной анализ эволюции средней толщины льда в ячейке вблизи Северного полюса

Изолинии толщины морского льда в Северном Ледовитом океане в результате расчетов по модели для весны (максимальная площадь) и осени (минимальная площадь) показаны на рис. 3 и 4. Эти и последующие рисунки показывают физическую карту Земли, вид со стороны полюса. Зоны равной толщины морского льда на рисунках выделены разными цветами.

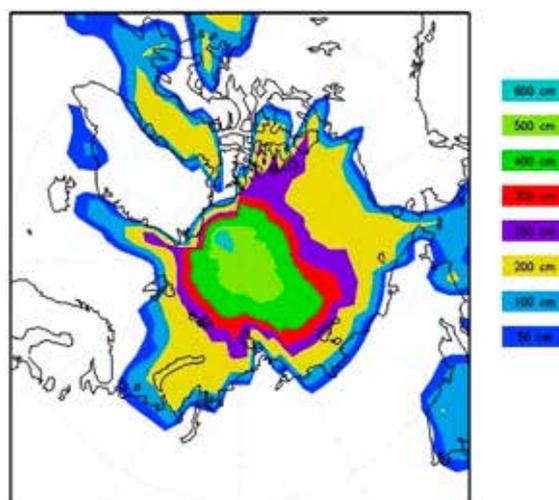


Рис. 3. Толщина и распределение льда в Северном Ледовитом океане (март)

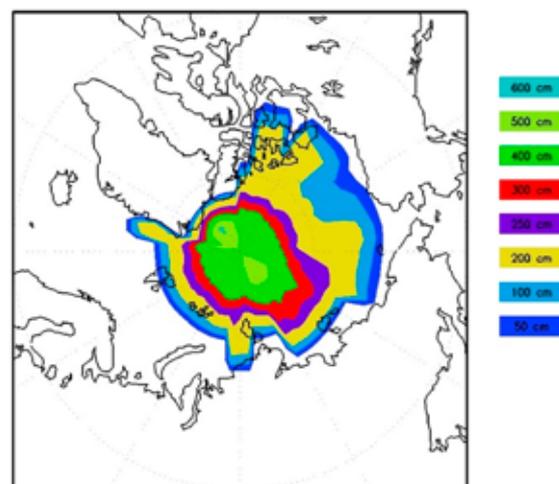


Рис. 4. Толщина и распределение льда в Северном Ледовитом океане (сентябрь)

Результаты расчетов соответствуют многолетним данным наблюдений. Предлагается рассматривать их как исходные для проводимых численных экспериментов.

Далее была осуществлена серия численных экспериментов для оценки чувствительности модельных результатов к существенным характеристикам климатической системы.

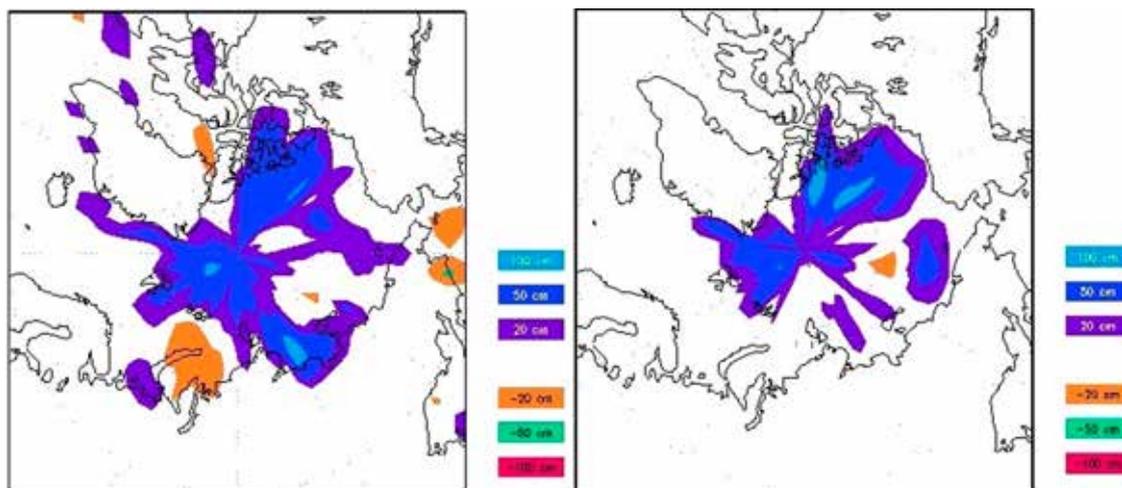


Рис. 5. Изменения толщины льда в марте (слева) и сентябре (справа) при уменьшении теплового потока на 10%

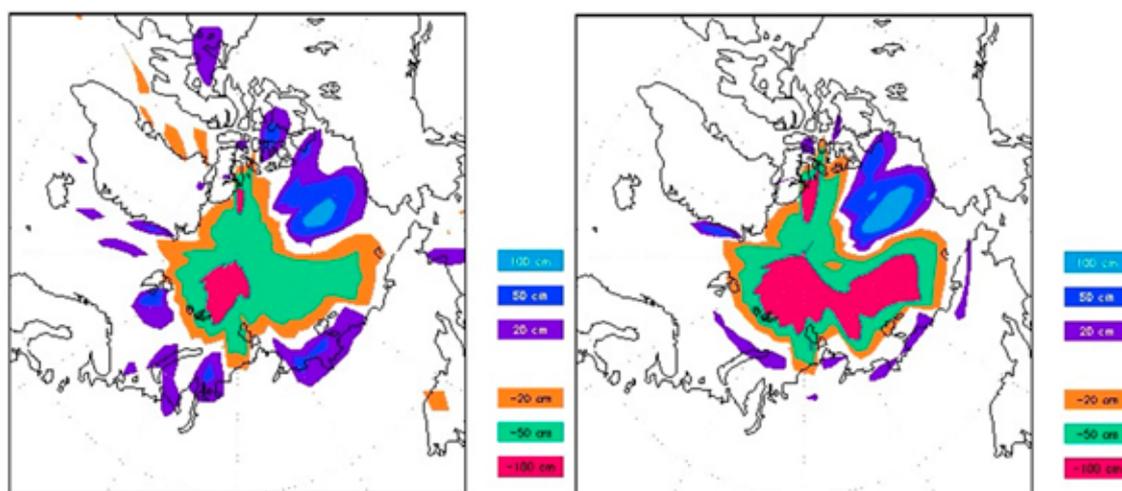


Рис. 6. Изменения толщины льда в марте (слева) и сентябре (справа) при уменьшении коэффициента отражения морского льда

При проведении первой серии расчетов явный тепловой поток с поверхности льда в нижний слой воздуха был ослаблен на 10% в соответствующих граничных условиях для блока океана и морского льда. Обнаружено увеличение толщины льда до 50 см (рис. 5). Также существуют районы с уменьшением толщины льда до 50 см.

Наибольшее увеличение толщины льда и массы снега происходит в конце весны и летом. Тепловой поток ослабевает в этот период максимально, из чего и следует наблюдаемый результат.

Далее коэффициент отражения голого морского льда в Северном Ледовитом оке-

ане был уменьшен на 0,05 по отношению к исходному состоянию поля морского льда. Такая ситуация может возникать при антропогенном влиянии на биосферу Северного Ледовитого океана.

Численные эксперименты демонстрируют уменьшение средней толщины льда и массы снега вне зависимости от времени года от 20 до 60 см с максимумом летом.

Важно отметить, что наряду со значительным уменьшением толщины льда наблюдается район ее увеличения вблизи материка Северной Америки (рис. 6). Все численные эксперименты проведены до формирования стационарного состояния системы атмосфера – океан – морской лед.

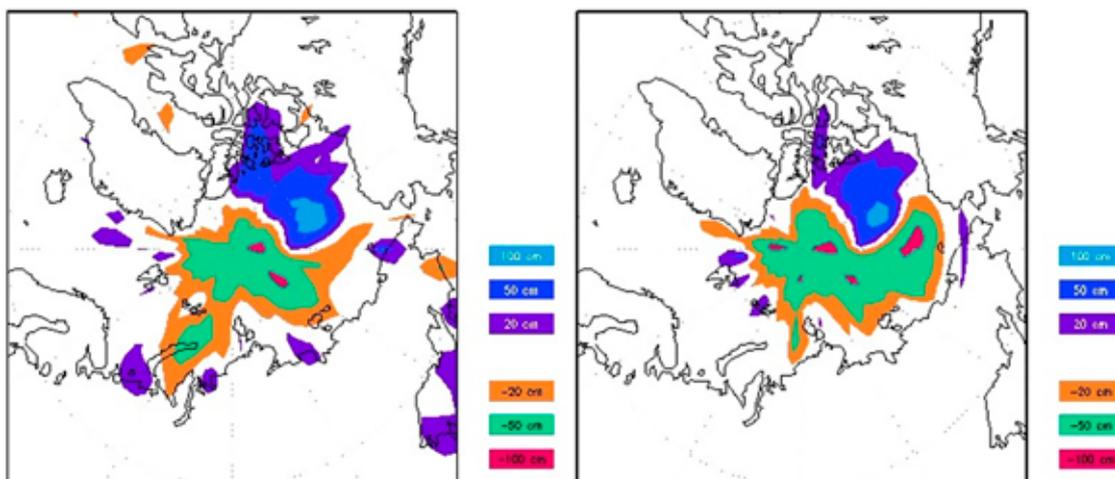


Рис. 7. Изменения толщины льда в марте (слева) и сентябре (справа) при уменьшении коэффициента отражения снега

Связь отражающей способности слоя снега на морском льду прослежена в численных расчетах, когда коэффициент отражения солнечной радиации снега снижен на 0.05 по отношению к исходному состоянию. Отметим, что масса и толщина выпадающего слоя снега вычисляются в модели атмосферы и зависят от гидрологических процессов в этой среде.

При такой постановке численного эксперимента анализ результатов показывает (рис. 7), что средняя толщина льда уменьшилась примерно на 20 см и слабо меняется в течение года.

По-видимому, это связано с тем, что в летний сезон снег отсутствует почти полностью на ледяном покрове Северного Ледовитого океана и его коэффициент отражения не участвует в формировании тепловых потоков.

Как и в предыдущем случае, существует стабильная область увеличения толщины ледяного покрова, и она расположена на том же участке. Возможно, это связано с изменениями атмосферной циркуляции, облачностью и осадками.

Заключение

В статье кратко представлен набор трехмерных гидродинамических математических моделей для описания глобального климата с реальной конфигурацией материков и океанов. Исследование посвящено проблеме изучения влияния на ледовый покров Северного Ледовитого океана некоторых физических факторов, определяющих взаимодействие атмосферы, океана и мор-

ского льда. Эти факторы моделируются изменением параметров применяемых моделей. Проведены расчеты с сезонным ходом инсоляции на установление стационарного режима ледового покрова Северного Ледовитого океана. Получены результаты, свидетельствующие о существенных отклонениях ледяного покрова разных лет от его среднего значения.

Результаты численных экспериментов показали, что толщина, площадь, компактность ледяного покрова и его сезонная эволюция достаточно сильно зависят от таких характеристик климатической системы, как явный тепловой поток от поверхности льда в приземный слой воздуха, коэффициент отражения снежного покрова и льда, а также явный тепловой поток от океана ко льду.

Установлено, что при этом географические и пространственные вариации толщины морского льда Арктики демонстрируют разнонаправленные изменения в разных областях акватории Северного Ледовитого океана и в разное время года. Это объясняется комплексным характером климатической системы и влиянием различных значимых факторов, учитываемых в комплексе моделей.

Список литературы

1. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
2. Melia N., Hawkins E., Haines K. Improved Arctic sea ice thickness projections using bias-corrected CMIP5 simulations. *The Cryosphere*. 2015. Vol. 9. No. 6. P. 2237–2251. DOI: 10.5194/tc-9-2237-2015.
3. Blaseck M., Renssen H., Kissel C., Thornalley D. Holocene North Atlantic Overturning in an atmosphere-ocean-sea ice model compared to proxy-based reconstructions. Pa-

leceanography. 2015. Vol. 30. No. 11. P. 1503–1524. DOI: 10.1002/2015PA002828.

4. Пархоменко В.П. Алгоритм увеличения вычислительной производительности и баланса загрузки процессоров для моделирования общей циркуляции атмосферы // Математическое моделирование и численные методы. 2016. № 3. С. 115–126. DOI: 10.18698/2309-3684-2016-3-93109.

5. Parkhomenko V.P. Organization of Numerical Experiments with an Atmospheric General Circulation Model and an Ocean Global Model. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2021. Vol. 61. No. 10. P. 1661–1671. DOI: 10.1134/S0965542521100110.

6. Goldberg D.N., Gourmelen N., Kimura S., Millan R. How Accurately Should We Model Ice Shelf Melt Rates? Geophysical Research Letters. 2019. Vol. 46. P. 189–199. DOI:10.1029/2018GL080383.

7. Алексеев В.В., Блохина Н.С., Гусев А.М., Жданова Е.Ю. Свободная конвекция в атмосфере и океане. М: Издательство Московского университета, 1979. 139 с.

8. Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. Т. 70. С. 5–32.

9. Пархоменко В.П. Моделирование пространственного и временного глобального распределения стратосферного аэрозоля искусственного происхождения для стабилизации климата // Математическое моделирование и численные методы. 2018. № 4. С. 107–119. DOI: 10.18698/2309-3684-2018-4-107119.

10. Zhang Y., Maslowski W., Semtner A.J. Impact of mesoscale ocean currents on sea ice in high-resolution Arctic ice and ocean simulations. Journal of Geophys Research Atm. 1999. Vol. 1041. No. C8. P. 18409–18430. DOI: 10.1029/1999JC900158.

11. Konovalov Y.V. The eigenvalue problem for ice-shelf vibrations: comparison of a full 3-D model with the thin plate approximation. Earth Syst. Dyn. Discuss. 2015. Vol. 6. P. 1605–1633. DOI: 10.5194/esdd-6-1605-2015.

УДК 911.9

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ НА РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РОССИИ

Сафуллин Р.Г.

*Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение
ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа,
e-mail: SafullinRG@yandex.ru*

В статье дан территориально-структурный анализ, оценка и типология региональных систем России по степени влияния процессов глобальной декарбонизации на их трансформацию. Выполнена группировка крупных и крупнейших региональных систем России по степени зависимости от процессов декарбонизации экономики на основе объемов и структуры общего оборота организаций по видам экономической деятельности и выделены группы региональных систем с экстремально высокой, высокой, средней и низкой зависимостью от процессов декарбонизации. Определены объективные факторы и условия, определяющие особенности и масштабы влияния процессов декарбонизации на трансформацию региональных систем России: объемы производства валового регионального продукта, производственная специализация, геодемографический фактор, внутренний потребительский фактор, объемы внешнеторгового оборота, масштаб участия региональных систем во внутрисистемном территориальном разделении труда. Выделены позитивные (инновационные, технико-технологические, эколого-экономические модернизации, импортозамещение и др.) и негативные (рост инвестиционных издержек, долгосрочный срок реализации проектов декарбонизации, увеличение экологических издержек, проблема нарастания конкуренции и территориальной дифференциации в решении проблем декарбонизации экономики региональных систем и др.) направления влияния процессов декарбонизации на трансформацию региональных систем страны. Предложена авторская типология региональных систем России по степени зависимости их трансформации от процессов декарбонизации исходя из внешнеторговой экспортной ориентированности региональных систем на страны дальнего зарубежья. Научно-прикладные проекты типологии трансформации региональных систем России выходят в ряд приоритетных в связи с актуализацией синергетического территориально-структурного влияния процессов декарбонизации и экономических санкций на развитие экономики. Результаты исследования применимы на федеральном и региональном уровнях при разработке среднесрочных и долгосрочных территориальных целевых программ социо-эколого-экономической трансформации региональных систем страны.

Ключевые слова: региональные системы, трансформация, декарбонизация экономики, группировка, типология, Россия

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DECARBONIZATION OF THE ECONOMY ON THE REGIONAL SYSTEMS OF RUSSIA

Safullin R.G.

*Institute of Socio-Economic Research is a separate structural subdivision
of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, e-mail: SafullinRG@yandex.ru*

The article presents a territorial-structural analysis, assessment and typology of Russia's regional systems according to the degree of influence of global decarbonization processes on their transformation. The grouping of large and largest regional systems of Russia according to the degree of dependence on the processes of decarbonization of the economy based on the volume and structure of the total turnover of organizations by type of economic activity was carried out and groups of regional systems with extremely high, high, medium and low dependence on decarbonization processes were identified. Objective factors and conditions determining the features and extent of the impact of decarbonization processes on the transformation of Russia's regional systems are determined: the volume of production of gross regional product, industrial specialization, geodemographic factor, internal consumer factor, the volume of foreign trade turnover, the scale of participation of regional systems in the intra-Russian territorial division of labor. Positive (innovative, technical and technological ecological and economic modernization, import substitution, etc.) and negative (growth of investment costs, long-term implementation of decarbonization projects, increase in environmental costs, the problem of increasing competition and territorial differentiation in solving the problems of decarbonization of the economy of regional systems, etc.) directions of the influence of decarbonization processes on the transformation of regional systems of the country are highlighted. The author's typology of Russia's regional systems is proposed according to the degree of dependence of their transformation on decarbonization processes based on the foreign trade export orientation of regional systems to foreign countries. Scientific and applied projects of the typology of transformation of Russia's regional systems are among the priorities in connection with the actualization of the synergetic territorial and structural impact of decarbonization processes and economic sanctions on the development of the economy. The results of the study are applicable at the federal and regional levels in the development of medium- and long-term territorial target programs for socio-ecological and economic transformation of the country's regional systems.

Keywords: regional systems, transformation, decarbonization of the economy, grouping, typology, Russia

По мнению некоторых исследователей, с учетом новых геополитических условий и реалий «зеленая повестка» утратила свою приоритетность, нет ясности в том, каковы

перспективы декарбонизации экономики российских регионов в новых условиях. В этом они видят протекционизм экономики стран ЕС и ограничение конкуренции

тоспособности экономики других стран. Предлагается принять ответные ограничительные меры: пересмотреть торговый баланс России со странами Евросоюза, ужесточить условия инвестирования для компаний из стран ЕС [1]. Процессы декарбонизации экономики региональных систем России не потеряли и не потеряют своей актуальности в перспективе. Принимаемые управленческие решения в связи с декарбонизацией экономики в России (Указ Президента В. Путина от 8 февраля 2021 г. № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений»; распоряжения Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»; приказ Министерства науки и высшего образования РФ № 74 от 5 февраля 2021 года «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса») подтверждают это.

Бизнес-модели экономических субъектов в мировом масштабе начали трансформироваться в направлении принципов ESG: E – экологической (изменение климата, выбросы парниковых газов, истощение природных ресурсов, отходы и загрязнение, обезлесение), S – социальной и G – управленческой ответственности (E – environmental, S – social, G – governance). ESG-трансформация касается всех сфер жизнедеятельности человека. Крупнейшие экономические бизнес-структуры России (Роснефть, Газпром, Ростех, Сбербанк и др.) начинают активно использовать мировые ESG-стандарты в рамках достижения целей устойчивого развития и декарбонизации экономики в качестве долгосрочного ориентира. Однако выполнение ESG-инициатив может стать серьезным вызовом для многих российских бизнес-структур. Совокупный объем эмиссии бизнес-структурами зеленых облигаций в мире в 2020 г. достиг 1,1 трлн долл., а в 2012 г. не превышал 3,1 млрд долл. В России эмиссия зеленых облигаций банковскими структурами развита слабо. На США приходится 212 млрд долл. зеленых облигаций, Китай – 127 млрд долл., Францию – 116 млрд долл. Основная часть зеленых инвестиций (80%) направляется в энергетический сектор, строительство и транспорт [2, с. 78]. Трансграничное углеводородное регулирование

(ТУР) касается всего мирового рынка товаров и услуг, в том числе стран СНГ и развивающихся стран (Индия, Индонезия, Бразилия, Мексика, Аргентина и др.), а не только рынка стран ЕС.

Особую актуальность приобрели научно-прикладные разработки проблем трансформации энергетического сырьевого экспортно-ориентированного сектора [3, 4] и внешней торговли России [5]. Общим недостатком этих работ является отсутствие территориально-структурного подхода в анализе, оценке и выявлении трендов трансформации системообразующих секторов экономики региональных систем страны. Научные исследования проблем территориально-структурной трансформации региональных систем России в связи с декарбонизацией экономики немногочисленны и посвящены отдельным частным проблемам [6–8]. Крайне мало исследований по территориально-структурной типологии региональных систем России под влиянием процессов декарбонизации [9].

Цель исследования заключается в территориально-структурном анализе, оценке и типологии региональных систем России по степени их зависимости от процессов декарбонизации экономики.

Материалы и методы исследования

Использованы официальные статистические данные по регионам России (объемы и структура общего оборота организаций по видам экономической деятельности (ВЭД, валового регионального продукта, объемы внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья). Выбор методов исследования (методы типологии и территориально-структурного анализа региональных систем) определялся использованием полимасштабного подхода, позволяющим оценить позитивные и негативные направления влияния процессов декарбонизации на трансформацию региональных систем на федеральном и региональном уровнях, провести их типологию по степени их зависимости от процессов декарбонизации экономики.

Результаты исследования и их обсуждение

Территориально-структурные особенности и масштабы влияния процессов декарбонизации экономики на развитие региональных систем России определяются сложившейся территориальной организацией хозяйства и населения. Пространственная организация экономики России

характеризуется высокой территориальной концентрацией хозяйства и населения в европейской части страны и высокой территориальной локализацией видов хозяйственной деятельности и населения в крупных и крупнейших агломерациях, которые и являются региональными системами, выступающими в качестве ведущих драйверов социо-эколого-экономической трансформации. В нашем исследовании к крупным и крупнейшим региональным системам по экономическому потенциалу отнесены те, которые имеют объем производства валового регионального продукта не менее 1,5 трлн руб. Таких региональных систем в России насчитывается 22 и территориальная концентрация производства ВРП России в них достигает 72%. В связи с этим влияние процессов декарбонизации на трансформацию региональных систем характеризуется также высокой степенью территориальной локализации. Региональные системы страны, не участвующие в международном географическом разделении труда и работающие в основном на внутрисоссийский и внутрирегиональный потребительский рынок товаров и услуг, не испытывают прямого негативного влияния процессов декарбонизации на территориально-структурную трансформацию своих региональных систем.

Степень территориально-структурной зависимости трансформации региональных систем России от процессов декарбонизации экономики может определяться совокупностью интегральных, частных социо-эколого-экономических параметров и показателей: объем валового регионального продукта, объем и структура валовой добавленной стоимости, объемы углеродных выбросов и др. В качестве интегрального критерия оценки степени зависимости региональных систем от процессов декарбонизации, в данном исследовании нами выбраны количественные и структурные параметры оборота организаций по видам экономической деятельности (ВЭД), объем внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья.

Нами проведена группировка крупных и крупнейших региональных систем России по степени зависимости от процессов декарбонизации экономики исходя из объема (более 1,5 трлн руб.), структуры оборота организаций по видам экономической деятельности и доли ВЭД, зависящих от процессов декарбонизации в общем обороте организаций (таблица).

В группе региональных систем страны с экстремально высокой и высокой степенью зависимости от процессов декарбонизации находятся 13 из 22 крупных и крупнейших региональных систем, характеризующихся сырьевой экспортной ориентированностью экономики: ЯНАО, ХМАО, Республики Башкортостан, Татарстан, Красноярский, Пермский края, Белгородская, Иркутская, Кемеровская, Ленинградская, Тюменская, Челябинская области. Доля ВЭД в них, зависящих от процессов декарбонизации в общем обороте организаций, находится в пределах от 71 до 100,0%.

Степень зависимости региональных систем России от процессов декарбонизации экономики определяется объемами и структурой внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья и в первую очередь в страны ЕС. Это связано с тем, что страны ЕС, развитые и развивающиеся страны дальнего зарубежья предусматривают введение углеводородного налогообложения на импортируемую ими продукцию топливно-энергетического, металлургического, лесопромышленного, химического, нефтехимического, сельскохозяйственного секторов экономики. Для оценки степени зависимости декарбонизации региональных систем страны от внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья, нами в качестве критериев выбраны объемы экспорта продукции по секторам экономики (ТЭК, химическая промышленность, производство древесины и целлюлозно-бумажной продукции, металлов и изделий из них, продовольствие и товарное сельскохозяйственное сырье) и товарная структура экспорта. На основе этого выполнена типология региональных систем страны по степени их зависимости от процессов декарбонизации.

Выделены четыре типа региональных систем России с различной степенью территориально-структурной зависимости внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья в связи с процессами декарбонизации (рисунок).

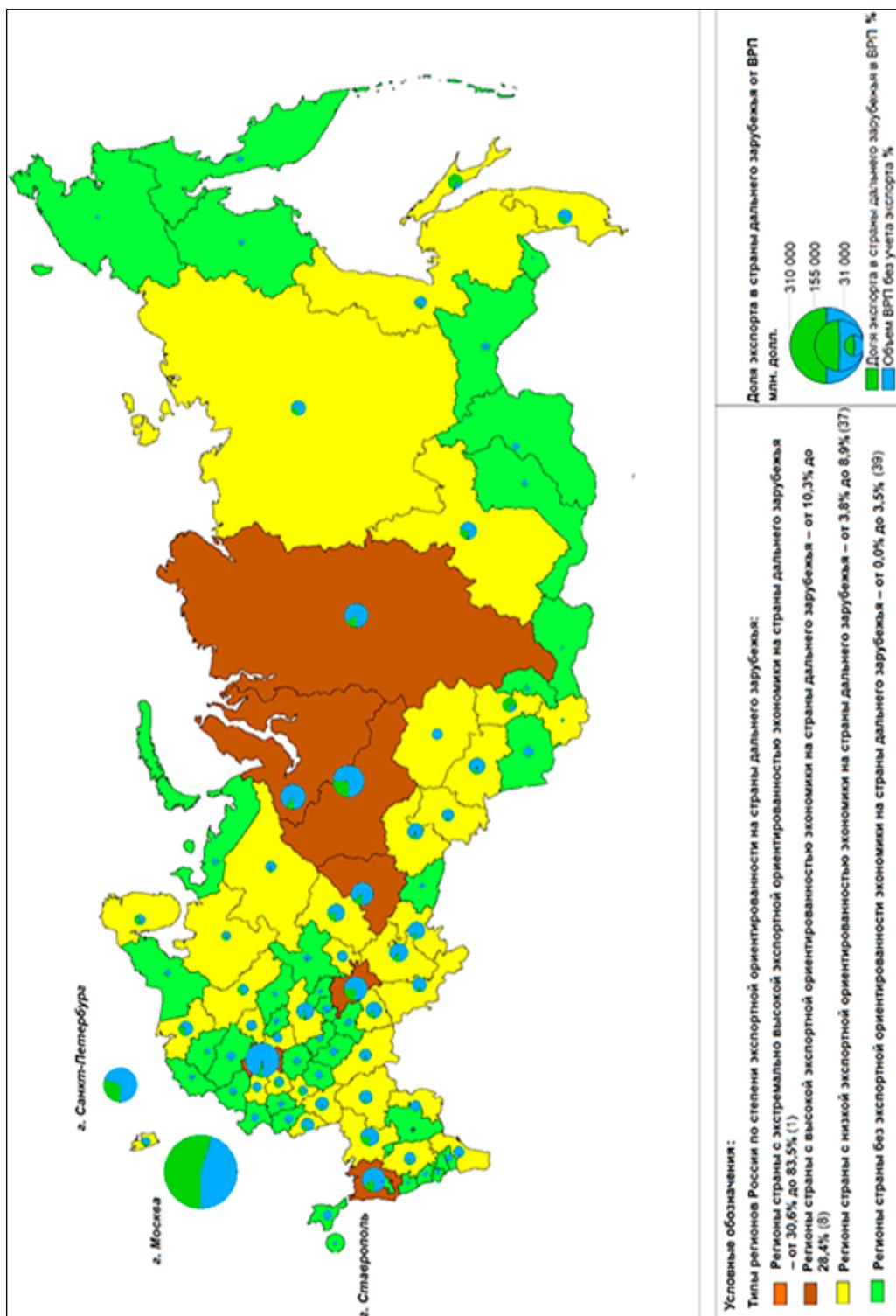
1) регионы с экстремально высокой экспортной ориентированностью экономики на страны дальнего зарубежья (степень зависимости от 30,6 до 83,5%) – г. Москва;

2) регионы с высокой экспортной ориентированностью экономики на страны дальнего зарубежья (степень зависимости от 10,3 до 28,4%) – Республика Татарстан, Краснодарский, Красноярский края, Московская, Тюменская области, ХМАО, ЯНАО, г. Санкт-Петербург;

Группировка крупных и крупнейших региональных систем России по степени зависимости от процессов декарбонизации экономики (2020 год)*

Республики, края, области, АО	Общий оборот организаций по ВЭД, трлн руб.	В том числе по ВЭД, зависящим от процессов декарбонизации								Доля ВЭД, зависящих от процессов декарбонизации:	
		Обрабатывающие производства	Добыча полезных ископаемых	Транспортыровка и хранение	Строительство	Сельское хозяйство	Обеспечение э/э, газом и паром	Всего по ВЭД	От общего оборота организаций, %		
Россия	164,6	45,1	15,2	11,1	4,8	3,2	10,2	89,6	54,4		
С экстремально высокой зависимостью:	7,4	0,6	5,6	0,5	0,2	–	0,3	7,2	97,3		
ЯНАО	3,0	0,5	2,4	–	0,1	–	–	3,0	100,0		
ХМАО	4,4	0,1	3,2	0,5	0,1	–	0,3	4,2	95,5		
С высокой зависимостью:	26,1	10,6	4,5	1,7	0,9	0,7	1,8	20,2	77,4		
Красноярский край	3,4	1,7	0,6	0,2	0,1	–	0,3	2,9	85,3		
Иркутская область	1,7	0,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	1,4	82,4		
Самарская область	2,5	1,0	0,4	0,3	0,1	–	0,2	2,0	80,0		
Пермский край	1,9	0,9	0,3	0,1	0,1	–	0,1	1,5	79,0		
Кемеровская область	2,3	0,6	0,8	0,1	0,1	–	0,2	1,8	78,3		
Челябинская область	2,3	1,3	0,1	0,1	–	0,1	0,2	1,8	78,3		
Ленинградская область	1,8	1,0	–	0,2	0,1	0,1	–	1,4	77,8		
Белгородская область	1,6	0,6	0,3	–	–	0,2	0,1	1,2	75,0		
Тюменская область (без АО)	1,5	0,6	0,3	0,1	0,1	–	–	1,1	73,3		
Республика Татарстан	4,3	1,4	1,0	0,2	0,1	0,1	0,3	3,1	72,1		
Республика Башкортостан	2,8	1,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	2,0	71,4		
Со средней зависимостью:	11,8	4,4	0,2	0,8	0,2	0,3	0,8	6,7	56,8		
Свердловская область	4,3	2,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	2,7	62,8		
Нижегородская область	3,4	1,3	–	0,2	0,1	–	0,3	1,9	55,9		
Ростовская область	2,3	0,8	–	0,1	–	0,1	0,2	1,2	52,2		
Новосибирская область	1,8	0,3	0,1	0,3	–	0,1	0,1	0,9	50,0		
С низкой зависимостью:	89,0	17,4	1,0	6,9	2,9	0,4	5,0	33,6	37,8		
Г. Санкт-Петербург	14,9	3,8	0,1	0,9	0,6	–	0,6	6,0	40,3		
Приморский край	1,5	0,2	–	0,2	–	0,1	0,1	0,6	40,0		
Краснодарский край	4,8	0,7	–	0,5	0,2	0,2	0,3	1,9	39,6		
Г. Москва	54,9	9,6	0,9	4,8	1,8	–	3,3	20,4	37,2		
Московская область	12,9	3,1	–	0,5	0,3	0,1	0,7	4,7	36,4		
Всего	134,4	33,0	10,4	9,9	4,2	1,4	7,9	66,8	49,7		

*Составлено и рассчитано автором по [10, с. 524–528].



Типы региональных систем Российской Федерации по степени зависимости внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья от процессов декарбонизации экономики. Составлен и рассчитан автором по [10, с. 456–457, 1094–1099]

3) регионы с низкой экспортной ориентированностью экономики на страны дальнего зарубежья (степень зависимости от 3,8 до 8,9%) – Республики Башкортостан, Дагестан, Калмыкия, Коми, Удмуртия, Саха (Якутия), Пермский, Хабаровский края, Иркутская, Оренбургская, Сахалинская области и др.;

4) регионы России без экспортной ориентированности экономики на страны дальнего зарубежья (степень зависимости от 0,0 до 3,5%) – Республики Бурятия, Марий Эл, Чувашская, Забайкальский, Камчатский края, Еврейская АО, Чукотский АО, Амурская, Курганская, Магаданская области и др.

Расчеты по типологии зависимости объемов внешнеторгового экспорта региональных систем России в страны дальнего зарубежья от процессов декарбонизации экономики проведены по формуле

$$Vi = (Xi / Gi) * 100\%,$$

где V_i – значение степени зависимости i -го вида хозяйственной деятельности страны от процессов декарбонизации (%);

X_i – объемы внешнеторгового экспорта региональных систем i -й региональной системы страны в страны дальнего зарубежья (млрд долл.);

G_i – объем внешнеторгового экспорта страны в страны дальнего зарубежья (млрд долл.).

Анализ объемов внешнеторгового экспорта региональных систем России в страны дальнего зарубежья свидетельствует о высокой территориальной локализации и дифференциации. Территориальная концентрация внешнеторгового экспорта в страны дальнего зарубежья десяти крупных и крупнейших региональных систем России (Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан, ХМАО, ЯНАО, Краснодарский, Красноярский края, Кемеровская, Свердловская, Тюменская области) составляет около 71,0%. Целый ряд региональных экономик страны (Республика Крым, г. Севастополь, Северный Кавказ, Центральная Россия – Брянская, Ивановская, Псковская области и др., Поволжья – Республики Марий Эл, Мордовия, Чувашская, Восточная Сибирь и Дальний Восток) очень слабо вовлечены во внешнеторговый экспорт в страны дальнего зарубежья, и для них процессы глобальной декарбонизации экономики не являются на сегодня актуальными.

Заключение

По результатам проведенного анализа, оценки и типологии региональных систем

по степени ориентированности внешней торговли на страны дальнего зарубежья предлагаются следующие меры и механизмы по уменьшению негативного воздействия процессов декарбонизации экономики на функционирование региональных систем страны:

- Федеральное субсидирование конкретных производств региональных систем с учетом их территориальной дифференциации по степени ориентированности внешней торговли на страны дальнего зарубежья.

- Инвестиционная поддержка конкретных производств региональных систем по степени ориентированности внешней торговли на страны дальнего зарубежья.

- Федеральная и региональная поддержка конкретных производств региональных систем в предоставлении кредитных ресурсов (низкие процентные ставки, увеличение сроков погашения текущих платежей за кредиты).

- Создание федерального и региональных маркетинговых центров анализа и оценки возможных масштабов влияния процессов декарбонизации на внешнюю торговлю региональных систем с разработкой и формированием альтернативной географии внешней торговли.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-03-2022-001 от 14.01.2022 г.

Список литературы

1. Начало подготовки контрмер для противостояния углеродному налогу ЕС // Нефтегазовая вертикаль. 2021. № 1–2. С. 74.
2. Жукова Е.В. Основные тенденции развития ESG-повестки: обзор в России и мире // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2021. Т. 18. № 6 (120). С. 68–82.
3. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная монография / Под ред. С.Н. Бобылева, П.А. Киришина, О.В. Кудрявцевой. М.: МГУ, 2019. 180 с.
4. Кулапин А. Энергетический переход: Россия в глобальной повестке // Энергетическая политика. 2021. № 7 (161). С. 10–15.
5. Тупикина Е.Н., Ким Е.А., Удовик А.С. Внешняя торговля регионов России: кластерный подход // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16. № 3. С. 398–413.
6. Крюков В.А., Миляев Д.В., Савельева А.Д., Душнин Д.И. Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 3. С. 17–23.
7. Гайнанов Д.А., Сафиуллин Р.Г. Институциональные основы глобальной декарбонизации экономики. Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов: XIII Международная научно-практическая конференция ИСЭИ УФИЦ РАН. Уфа: ИСЭИ УФИЦ РАН, 2021.
8. Лебедева М.А. Проблемы декарбонизации экономики России // Проблемы развития территории. 2022. Т. 26. № 2. С. 57–72.
9. Сафиуллин Р.Г. Типология регионов России по степени зависимости от процесса глобальной декарбонизации // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 126–131.
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2021. 1112 с.

УДК 911:574:332.34

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОДНОЛЕТНИХ КАПУСТНЫХ ТРАВ НА СУХУЮ МАССУ

¹Ураев Г.А., ²Лебедев В.Н.

¹ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы экономической эффективности выращивания однолетних капустных трав по результатам проведения полевых опытов. В полевых опытах проведена оценка влияния ростостимулирующих ризобактерий (PGPR) (Агрофил, Мизорин, Флавобактерин, Экстрасол). При проведении полевых опытов семена однолетних капустных трав (четырёх видов горчиц, сурепица и рыжик) были обработаны ростостимулирующими ризобактериями. Исследуемые препараты оказывали влияние на формирование сухого вещества зеленой биомассы надземных органов, исследованных растений. Наиболее эффективными по отношению к нескольким видам однолетних растений оказались ассоциативные микробиологические штаммы артробактерий и флавобактерий. Накопление сухого вещества в зеленой массе при их применении варьировало в пределах от 68,3 до 183,3 ц/га и от 68,6 до 169,3 ц/га соответственно. При этом наиболее отзывчивой культурой в отношении формирования урожая сухой массы является горчица сарептская: на 57,6% (Флавобактерин) и на 66% (Мизорин) и 57,6%, по отношению к контрольным данным, где предпосевная обработка бактериями семян не проводилась. В работе проведен анализ таких понятий, как доход и рентабельность, на основании которых были оценены такие показатели, как экономический эффект и экономическая эффективность. Существенный экономический эффект от применения при использовании Мизорина и Флавобактерина – от 98 до 226% от контроля. Наиболее отзывчивыми культурами являются горчица белая и горчица сарептская. При использовании Мизорина эффект по сравнению с контролем составляет: по горчице белой 179% при использовании Мизорина и 163% – Флавобактерина; по горчице сарептской 209% при использовании биопрепарата Мизорина и 181% – Флавобактерина. Показатель рентабельности по капустным культурам находится в интервале от 3,83 до 12,03%. У всех изученных видов при проведении бактеризации семян биопрепаратами Мизорином и Флавобактерином в полевых условиях выявило от 3,83 до 12,3% соответственно. Максимальная эффективность достигается при использовании Мизорина и Флавобактерина на следующих культурах: горчица сарептская (12,3 и 10,9% соответственно); горчица белая (11,7 и 10,57%).

Ключевые слова: полевой опыт, инокуляция, ризобактерии, продуктивность, сухая зеленая масса, экономический эффект, экономическая эффективность

THE ESTIMATE OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING ANNUAL CABBAGE GRASSES BY DRY WEIGHT

¹Uraev G.A., ²Lebedev V.N.

¹Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,
e-mail: uraev.ga@yandex.ru;

²Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg,
e-mail: antares-80@yandex.ru

The article discusses the economic efficiency of growing annual cabbage herbs based on the results of field experiments. In field experiments, the influence of growth-stimulating rhizobacteria (PGPR) (Agrophil, Mizorin, Flavobacterin, Extrasol) was evaluated. During field experiments, the seeds of annual cabbage grasses (mustard: white, brown, black, Ethiopian mustard, field mustard, camelina) were treated with growth-stimulating rhizobacteria. The studied preparations influenced the formation of the dry matter of the green weight of vegetative parts of the studied plant organisms. The use of Mizorin and Flavobacterin turned out to be the most effective against six plant species. The maximum dry weight gain in these variants ranged from 68.3 c/ha to 183.3 c/ha (Mizorin) and from 68.6 c/ha to 169.3 c/ha (Flavobacterin). The analysis of the responsiveness of annual field cabbage crops to biological preparations in field experiments shows that we observed the most intensive accumulation of dry matter in mustard brown – by 66% when using arthro bacteria and 57.6% when inoculated with flavobacteria. For the economic evaluation of the effect and effectiveness of the use of cabbage herb seed inoculation with preparations of associative rhizobacteria, income and profitability indicators were evaluated. A significant economic effect from the use of Mizorin and Flavobacterin is from 98% to 226% of the control. The most responsive crops are white mustard and Sarepta. When using Mizorin, the effect compared to the control is: for white mustard, 179% when using Mizorin and 163% – Flavobacterin; according to mustard brown 209% when using the bacterial preparation of Mizorin and 181% – Flavobacterin. The profitability indicator for cabbage crops is in the range from 3.83% to 12.03%. In all the studied species, during the bacterization of seeds with biopreparations Mizorin and Flavobacterin in the field, it was found from 3.83% to 12.3%, respectively. The greatest efficiency is achieved when using Mizorin and Flavobacterin on the following cults: Sarepta mustard (12.3% and 10.9%, respectively); white mustard (11.7% and 10.57%).

Keywords: field experience, inoculation, rhizobacteria, productivity, dry green mass, economic effect, economic efficiency

Теория эффективности определяется экономической наукой как результативность производственного процесса или формы производственно-хозяйственной деятельности. Поэтому результаты такого производительного труда и соответствующих затрат производства соотносятся между собой как тесная взаимосвязь между итоговой производственной целью предприятия и показателем экономической эффективности.

Важно разделять такие не тождественные понятия, как «экономический эффект» и «экономическая эффективность». Например, экономический эффект – это абсолютная величина, показывающая конкретный результат производственных мероприятий. Показателями эффекта могут служить как стоимостные характеристики (прибыль, объем производства, экономия затрат и т.д.), так и натуральные (тонны). Поэтому экономический эффект может проявляться в снижении расходов или в увеличении урожая.

Непосредственно под экономической эффективностью понимают степень достижения основных целей производства. Повышение данного показателя связано как с рациональным использованием, так и с экономией ресурсов, т.е. процесс собственно экономического роста, который изменяется в соответствии с непосредственными затратами этих ресурсов.

Использование ризобактериальных штаммов в составе биологических препаратов оказывает полифункциональный эффект на культурные растения, включая однолетние капустные культуры [1–3]. Данные ростостимулирующие бактерии (PGPR – Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) выделяют биологически активные вещества, которые улучшают минеральное питание и способствуют формированию продуктивности надземных органов растений, повышая накопление сухого вещества.

На сегодняшний день показано, что внедрение биопрепаратов с ризобактериями достигается не только биологический и экологические эффекты, но и экономический эффект. В ряде работ отмечается, что величина чистого дохода и рентабельности сопоставима с внесением минеральных удобрений, а иногда даже незначительно превышает их [4, 5]. Кроме того [6], делается акцент, что экологичность биопрепаратов делает их более предпочтительными, в сравнении с использованием азотных удобрений. Заметим, что на рынке азотных удобрений в последние годы наблюдает-

ся значительный рост цен, что связано как с резким ростом производственных затрат, так и значительным ростом логистических издержек.

Однолетние капустные культуры (четыре вида горчиц, сурепица и рыжик) – одни из важнейших культур, имеющих кормовое и сидеральное значение. Все культуры являются относительно холодостойкими, длиннодневными растениями, поэтому на зеленую массу могут возделываться практически до широты полярного круга. В северных широтах возможно высевать по два посева в год (весенний и летний). За счет формирования большой фитомассы некоторые из этих культур (например, горчица белая) способны к подавлению собственных сорняков путем затенения [7]. При этом данные культуры считаются нетребовательными к почвам. Корневые выделения горчицы белой ингибируют развитие личинок щелкунов – проволочника и обладают фунгистатическим свойством в отношении фитогоры, связывая свободное железо в почве [8]. Культивирование однолетних капустных культур позволяет восстанавливать плодородие почв.

Надземные органы однолетних капустных культур обладают высокими кормовыми качествами. В 100 кг зеленой массы горчицы белой и горчицы сарептской содержится 0,8–1,3 кг перевариваемого протеина; это же количество корма соответствует 11–14 кормовым единицам. Наиболее высокой продуктивностью, по сравнению с другими однолетними капустными, в отношении сырой (10–18 т/га) и сухой (до 150–400 ц/га) массы надземных органов обладает горчица белая. Показано [9], что к фазе укосной спелости в условиях Ленинградской области она может составлять до 300–400 ц/га. Однако данные растения являются трудно силосуемой культурой на всех фазах развития, кроме цветения, когда их зеленая масса обладает высокими питательными качествами [7].

Цель нашей работы – оценка экономической эффективности выращивания однолетних капустных растений на сухую массу в результате их предпосевной обработки (инокуляции) ассоциативными ростостимулирующими ризосферными бактериями.

Задачи:

1. Выявить отзывчивость отобранных бактериальных препаратов на основе ростостимулирующих ризобактерий на формирование продуктивности надземных органов шести видов однолетних капустных культур.

2. Определить наиболее эффективный биопрепарат в отношении образования сухого вещества в зеленой биомассе растительного организма, а также капустную культуру, отличающуюся наиболее существенной продуктивностью от бактериализации предпосевного материала избранными почвенными микроорганизмами.

3. Оценить экономическую эффективность выращивания однолетних капустных трав на сухую массу.

Материалы и методы исследования

Объектами для инокуляции служили такие растения, как сурепица яровая, рыжик посевной, а также четыре биологических вида горчиц (белая, сарептская, черная, абиссинская).

Опыты с исследованными растениями были проведены в полевых условиях Ленинградской области. В качестве экспериментального участка был выбран типичный участок с супесчаной дерново-подзолистой почвой после уравнительного посева на территории биостанции университета. Размер делянки – 1 м². Глубина заделки семян 3–4 см. Повторность опыта четырехкратная. Учет сухой массы растений проводили методом укоса в фазу активного цветения. Продолжительность развития – от всходов до наступления фенологической фазы цветения. Статистическая обработка результатов полевого опыта проводилась дисперсионным методом [10].

Перед посевом семян растения подвергались процессу инокуляции путем их непосредственного погружения в препарат, согласно общепринятой методике [11]. Для осуществления данного способа бактериализации были отобраны четыре наиболее популярных при использовании в многочисленных аграрных хозяйствах штамма бактерий: *Agrobacterium radiobacter*, шт. 10 (Агрофил), *Bacillus subtilis*, шт. Ч-13 (Бактосан), *Arthrobacter mysoirens*, шт. 7 (Мизорин) и *Flavobacterium sp.*, шт. 30 (Флавобактерин). Все апробированные в ходе нашего эксперимента биологические препараты были созданы и любезно предоставлены ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии.

В наших опытах анализ изменения дохода у аграрного предприятия (фермерского хозяйства) от проведения предпосевной обработки ростостимулирующими ризосферными бактериями в сравнении с контрольным вариантом представлял практический интерес, так как служил критерием оценки

экономического эффекта [12]. Необходимо отметить, что имеется тесная связь между такими важнейшими категориальными понятиями, как «экономический эффект» и «экономическая эффективность» [13, 14]. Так, полезный результат от реализации мероприятия или мероприятий, который оценивается в форме дополнительного дохода либо в стоимостной оценке экономии ресурса (ресурсов), характеризуется как экономический эффект [15]. При этом экономическая эффективность – это соотношение между полезным результатом (экономическим эффектом) и затратами, которые были задействованы на ресурсы для его достижения [16].

В рамках проведенного исследования экономический эффект от бактериализации семян отобранных видов растений определялся по формуле

$$\Delta\Pi_{ij} = (D_{ij}^1 - Z_{ij}^1) - (D_{ij}^0 - Z_{ij}^0),$$

где $\Delta\Pi_{ij}$ – изменение прибыли от реализации сухой массы i -го сорта горчицы при инокуляции семян j -м препаратом, тыс. руб./га;

D_{ij}^1 – доход от реализации сухой массы i -го сорта горчицы при инокуляции семян j -м препаратом, тыс. руб./га;

Z_{ij}^1 – затраты на выращивание сухой массы i -го сорта горчицы при инокуляции семян j -м препаратом, тыс. руб./га;

D_{ij}^0 – доход от реализации сухой массы i -го сорта горчицы без инокуляции семян (контроль), тыс. руб.;

Z_{ij}^0 – затраты на выращивание сухой массы i -го сорта горчицы без инокуляции семян (контроль), тыс. руб./га.

Экономическая эффективность от бактериализации исследованных нами растений определялась по формуле

$$\Xi\Xi_{ij} = \frac{\Delta\Pi_{ij}}{Z_{ij}^0},$$

$\Xi\Xi_{ij}$ – рентабельность от реализации сухой массы i -го сорта горчицы при инокуляции семян j -м препаратом или без инокуляции (контроль), %.

Результаты исследования и их обсуждение

Полевые опыты по анализу действия биопрепаратов на основе ассоциативных ростостимулирующих ризобактериальных штаммов показали влияние на формирование сухого вещества зеленой биомассы надземных органов исследованных растений.

Таблица 1

Сухая масса растений при обработке семян ассоциативными ризобактериями

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица черная	Горчица абиссинская	Сурепица яровая	Рыжик посевной
	ц/га (%)	ц/га (%)	ц/га (%)	ц/га (%)	ц/га (%)	ц/га (%)
Контроль	$120,4 \pm 3,8$ (100)	$100,7 \pm 10,7$ (100)	$81,8 \pm 1,4$ (100)	$107,0 \pm 4,3$ (100)	$125,7 \pm 1,3$ (100)	$49,0 \pm 3,0$ (100)
Агрофил	$158,2 \pm 2,3$ (131)	$142,4 \pm 6,1$ (142)	$91,2 \pm 3,0$ (112)	$122,7 \pm 6,8$ (115)	$143,7 \pm 3,7$ (114)	$63,8 \pm 3,3$ (130)
Бактосан	$155,6 \pm 1,1$ (129)	$132,7 \pm 5,2$ (132)	$92,7 \pm 1,7$ (113)	$122,3 \pm 12,1$ (114)	$140,0 \pm 1,1$ (111)	$66,9 \pm 2,1$ (137)
Мизорин	$170,4 \pm 13,4$ (142)	$167,1 \pm 10,3$ (166)	$104,0 \pm 3,0$ (127)	$152,3 \pm 6,1$ (142)	$183,3 \pm 15,0$ (146)	$68,3 \pm 3,8$ (139)
Флавобактерин	$169,3 \pm 3,8$ (141)	$158,7 \pm 12,4$ (158)	$94,2 \pm 13,8$ (115)	$152,0 \pm 16,2$ (142)	$164,7 \pm 1,0$ (131)	$68,6 \pm 3,7$ (140)
НСР ₀₅	10,1	11,4	9,4	12,1	10,8	3,9

Результаты показали увеличение продуктивности при использовании всех отобранных биопрепаратов относительно контроля (табл. 1). Использованные в ходе наших опытов биопрепараты Мизорин и Флавобактерин отличались наибольшей эффективностью независимо от вида растения. Максимальная прибавка сухой массы в этих вариантах составила от 68,3 до 183,3 ц/га (Мизорин) и от 68,6 до 169,3 ц/га (Флавобактерин). Проведенный нами анализ отзывчивости выбранных нами однолетних сельскохозяйственных культур на ассоциативные ростостимулирующие ризобактерии в условиях полевых опытов показывает, что наиболее интенсивное накопление сухого вещества наблюдалось нами у горчицы сарептской – на 66% при использовании *Arthrobacter mysorens*, штамм 7 и на 57,6% при бактериализации *Flavobacterium sp.*, штамм 30.

Важным аспектом для оценки степени эффективности применения бактериальных штаммов, является сравнительная оценка итогового урожая той или иной исследованной сельскохозяйственной культуры, которая чаще всего осуществляется на основании анализа динамики изменения структурных элементов, вносящих свой вклад в формирование продуктивности. Однако обычно она остается неполной без учета таких интегрированных показателей, как экономический эффект и экономическая эффективность. При расчете данных показателей учитывается стоимость от реализации высушенной зеленой надземной массы культуры (1700 руб./т), на основании которой в дальнейшем проводится сравнительная оценка дохода и рентабельности растений из опытных вариантов и контроля.

Внедрение метода бактериализации семян данных культур отобранными нами препаратами непосредственно влияет на такие базисные экономические показатели, как доход, затраты и прибыль (убыток) (табл. 2).

Проведенное исследование основных экономических параметров свидетельствует, что все виды культур являются прибыльными. Существенный экономический эффект от применения при использовании Мизорина и Флавобактерина – от 98 до 226% от контроля. Наиболее отзывчивыми культурами являются горчица белая и горчица сарептская. Эффект по сравнению с контролем составляет: по горчице белой 179% при использовании Мизорина и 163% – Флавобактерина; по горчице сарептской 209% при использовании биопрепарата Мизорина и 181% – Флавобактерина.

Как было отмечено ранее, рентабельность – это один из наиболее значительных интегральных параметров, который характеризует экономическую эффективность как независимый показатель (табл. 3). Диапазон варьирования рентабельности относительно исследованных в наших опытах культур составляет от 4,27 до 5,26%.

Показатель рентабельности по капустным культурам находится в интервале от 3,83 до 12,03%. В свою очередь, на основании данных результатов выявлено, что самая высокая экономическая характерна для вариантов с обработкой семян артро- и флавобактериями (от 3,83 до 12,3%). При этом максимальная эффективность достигается при использовании Мизорина и Флавобактерина на следующих культурах: горчица сарептская (12,3 и 10,9% соответственно); горчица белая (11,7 и 10,57%).

Таблица 2

Основные экономические показатели по сухой массе капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями, тыс. руб. с 1 га

№ п/п	Показатель	Варианты				
		Контроль	Агрофил	Бактосан	Мизорин	Флавобактерин
1	Горчица белая					
1.1	Доход	20,47	26,89	26,45	28,97	28,78
1.2	Затраты	18,78	24,76	24,39	25,93	26,03
1.3	Прибыль (убыток)	1,69	2,14	2,06	3,03	2,75
2	Горчица сарептская					
2.1	Доход	17,12	24,21	22,56	28,41	26,98
2.2	Затраты	15,66	22,22	20,74	25,36	24,33
2.3	Прибыль (убыток)	1,46	1,99	1,82	3,05	2,65
3	Горчица черная					
3.1	Доход	13,91	15,50	15,76	17,68	16,01
3.2	Затраты	12,96	14,50	14,76	16,08	14,71
3.3	Прибыль (убыток)	0,95	1,01	1,00	1,60	1,30
4	Горчица абиссинская					
4.1	Доход	18,19	20,86	20,79	25,89	25,84
4.2	Затраты	17,01	19,58	19,55	23,64	23,83
4.3	Прибыль (убыток)	1,18	1,28	1,24	2,26	2,01
5	Сурепица яровая					
5.1	Доход	21,37	24,43	23,80	31,16	28,00
5.2	Затраты	20,47	23,48	22,92	29,13	26,44
5.3	Прибыль (убыток)	0,90	0,94	0,88	2,03	1,56
6	Рыжик посевной					
6.1	Доход	8,33	10,85	11,37	11,61	11,66
6.2	Затраты	7,90	10,33	10,85	10,75	10,91
6.3	Прибыль (убыток)	0,43	0,52	0,52	0,86	0,75

Таблица 3

Рентабельность от реализации сухой массы растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями, %

Капустные растения	Варианты				
	Контроль	Агрофил	Бактосан	Мизорин	Флавобактерин
Горчица белая	9,02	8,63	8,44	11,70	10,57
Горчица сарептская	9,34	8,95	8,76	12,03	10,90
Горчица черная	7,32	6,95	6,75	9,97	8,86
Горчица абиссинская	6,91	6,53	6,34	9,54	8,44
Сурепица яровая	4,39	4,02	3,83	6,96	5,88
Рыжик посевной	5,38	5,01	4,82	7,98	6,89

Следует отметить, что применение препаратов позволило в условиях ленинградской области получить высокие показатели рентабельности по горчице черной (Мизорин – 9,97%, Флавобактерин – 8,86%).

Заключение

Таким образом, наше изучение роста-стимулирующего эффекта и урожая сухой зеленой массы показало, что ризосферные микроорганизмы, входящие в основу био-

препаратов, при помощи которых была проведена предпосевная бактериализация, оказывают позитивное действие на шесть видов однолетних капустных растений. Наиболее эффективными микробиологическими штаммами являются *Arthrobacter mysorens*, шт. 7 и *Flavobacterium sp.*, шт. 30 от 15 до 66%. Самой отзывчивой культурой на внесение микробиологических удобрений оказалась горчица сарептская.

Список литературы

1. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 28. P. 1327–1350.
2. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Физиологические особенности и продуктивность горчицы белой при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями при нормальном увлажнении и почвенной засухе // *Пермский аграрный вестник*. 2021. № 3 (35). С. 52–58.
3. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas. *Siirt*. 2017. P. 427–442.
4. Велкова Н.И., Наумкин В.П. Экономическая и биоэнергетическая эффективность возделывания горчицы белой в условиях ЦЧР // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2017. № 3 (23). С. 87–92.
5. Мастеров А.С., Плевко Е.А., Журавский А.С. Экономическая эффективность возделывания горчицы белой в зависимости от внесения различных комбинаций микроудобрений и регуляторов роста // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. № 3. С. 64–65.
6. Ураев Г.А., Лебедев В.Н. Оценивание эколого-экономических рисков воздействия на окружающую среду сельскохозяйственных предприятий // *Эколого-географические аспекты природопользования, рекреации, туризма: сборник материалов Международной научно-практической кон-*

ференции, посвященной Году экологии в России (Курган, 8–9 ноября 2017 г.). Курган, 2017. С. 132–136.

7. Воловик В.Т. Горчица белая – значение, использование // *Адаптивное кормопроизводство*. 2020. № 2. С. 41–67.
8. Кочергина А.Н. Влияние биологически активных веществ и норм высева на урожайность горчицы сизой на светло-каштановых почвах Волгоградской области: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук, Волгоград, 2020. 20 с.
9. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А. Продуктивность растений семейства Brassicaceae при инокуляции семян бактериальными препаратами // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Петрозаводск*, 2017. № 12. С. 80–86.
10. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Основы обработки экспериментальных данных с использованием табличного процессора Excel: учебное пособие для студентов педагогических специальностей. СПб.: Издательство РГПУ им. А.И. Герцена, 2021. 54 с.
11. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96.
12. Герасимов Б.Н., Герасимов К.Б. Эффективность экономических систем: монография. Самара: НОАНО ВПО СИБиУ, 2013. 252 с.
13. Петров В.С. Теоретико-методологические основы обеспечения эффективности развития промышленных предприятий: монография. М.: Проспект, 2015. 96 с.
14. Савицкая Г.В. Анализ эффективности и рисков предпринимательской деятельности: методологические аспекты: монография: 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2017. 291 с.
15. Дукмасова Н.В., Ершова И.В. Методические подходы к определению экономического эффекта от внедрения системы экологического менеджмента // *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*. 2013. № 6. С. 90–97.
16. Рябова Е.Ю., Миргородская А.О., Казакова И.Н., Ионида Л.В. Экономика предприятия: оценка экономической эффективности предпринимательства: монография. Ставрополь: Губерния, 2017. 65 с.

СТАТЬИ

УДК 550.834.05:550.832:552.5

**СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
МАЛЫШЕВСКОГО ГОРИЗОНТА БЕРЕГОВОГО
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

**¹Горбунов П.А., ¹Лебедев М.В., ¹Яневиц Р.Б., ¹Фищенко А.Н., ¹Архипов А.В.,
¹Великих А.В., ¹Афлятонова А.Р., ¹Сахипова Ж.А., ¹Бердышева Т.В., ²Дорохов А.Р.**

¹ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, e-mail: pagorbunov@tnc.rosneft.ru;

²АО «Сибнефтегаз», Новый Уренгой

В пределах северной части Западной Сибири (территория ЯНАО) открыты уникальные промышленные скопления углеводородов. Основные нефтегазоносные объекты при этом расположены в меловом интервале разреза и успешно разрабатываются. По мере повышения степени выработки запасов в этих резервуарах все больший интерес представляют более глубоко залегающие среднеюрские нефтегазоносные отложения. Эти горизонты, как правило, характеризуются сложным геологическим строением и вскрываются небольшим количеством скважин. Поэтому для построения их геологических моделей необходимо применять геосистемный подход. В рамках геосистемного подхода осадочные образования рассматриваются как продукты развития древних геосистем. Реализуется он путем комплексирования данных kernового материала, геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсморазведки (СРР) с учетом априорных представлений о современных процессах и обстановках седиментации. Наиболее научно развитой версией геосистемного подхода в настоящее время, по-видимому, является секвенс-стратиграфия. Представленная статья посвящена результатам секвенс-стратиграфического моделирования пластов ЮГ₂ – ЮГ₄ Берегового нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ), расположенного в пределах северо-восточной части Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. В статье представлены результаты комплексирования широкого спектра исследований, направленных на выявление зон развития коллекторов, которые должны рассматриваться как первоочередные объекты для постановки дальнейших геологоразведочных работ. В исследовании доказываем, что достоверность прогноза фаций, как основной единицы моделирования, по сейсмическим атрибутам выше, чем достоверность прогноза коэффициента песчаности, что объясняется геосистемной природой фаций.

Ключевые слова: фациальный анализ, литология, сейсмика, каротаж, секвенс-стратиграфия, керн, углеводороды

**SEQUENCE-STRATIGRAPHIC MODEL
OF THE MALYSHEVSKY HORIZON OF A BEREGOVUE OIL
AND GAS CONDENSATE FIELD AND ITS PRACTICAL APPLICATIONS**

**¹Gorbunov P.A., ¹Lebedev M.V., ¹Yanevits R.B., ¹Fischenko A.N., ¹Arkhipov A.V.,
¹Velikikh A.V., ¹Aflyatonova A.R., ¹Sakhipova Zh.A., ¹Berdysheva T.V., ²Dorokhov A.R.**

¹LLC Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, e-mail: pagorbunov@tnc.rosneft.ru;

²JSC Sibneftegaz, Novy Urengoy

Unique hydrocarbons formations have been discovered within the northern part of Western Siberia (YNAO territory). The main oil and gas objects are located in the Cretaceous interval of the section and are being successfully developed. As the degree of depletion of reserves in these reservoirs increases, the deeper Middle Jurassic oil and gas deposits become new point of interest. These horizons, as a rule, are characterized by a complex geological structure and are penetrated by a small number of wells. To build their geological models (in order to provide successful solution of exploration problems), it is necessary to apply a geosystem approach. Within the geosystem approach, sedimentary formations are considered as products of the development of ancient geosystems. It is implemented by combining the data of core material, well logging and seismic surveys, taking into account a priori ideas about modern geological processes and sedimentation conditions. The most scientifically developed version of the geosystem approach today is the sequence stratigraphy. The presented article is devoted to the results of sequence-stratigraphic modeling of the YuG₂-YUG₄ formations of the Beregovoye oil and gas condensate field, located within the northeastern part of the Purovsky district of the Yamalo-Nenets Autonomous District. The article presents the results of combining a wide range of studies aimed at identifying zones of reservoir development, which should be considered as priority objects for further exploration. The study proves that the reliability of facies forecast, as the main unit of modeling, for seismic attributes is higher than the reliability of the forecast of the net-to-gross ratio, which is explained by the geosystemic nature of facies.

Keywords: facies analysis, lithology, seismic, well logging, sequence stratigraphy, core, hydrocarbons

Нефтеносные пласты ЮГ₂ – ЮГ₄ Берегового НГКМ входят в состав малышевского горизонта тюменской свиты среднеюрского возраста и являются самым нижним доказанным этажом продуктивности этого месторождения. Пласты данной группы вскрыты отно-

сительно небольшим количеством скважин (14 шт.), по пяти из которых имеется kernовый материал (общий вынос керна составил 241 м). Кроме того, в пределах Берегового НГКМ выполнены сейсморазведочные работы МОГТ 3D объемом чуть больше 1100 км².

Пласты ЮГ₂ – ЮГ₄ характеризуются сложным геологическим строением, поэтому для построения их геологических был применен геосистемный подход, реализуемый путем комплексирования данных кернового материала, геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсморазведки (СРР) с учетом априорных представлений о современных процессах и обстановках седиментации. Наиболее научно развитой версией геосистемного подхода в настоящее время является секвенс-стратиграфия, положения которой широко использовались при моделировании.

Главная цель исследования – построение комплексной геологической модели, которая позволяет прогнозировать свойства среднеюрский отложений и выделять наиболее перспективные потенциально нефтегазоносные части резервуара. Данная цель достигалась при решении следующих задач:

- построение секвенс-стратиграфического каркаса объекта исследования;
- проведение детального литолого-фациального анализа керна скважин, построение концептуальных литолого-фациальных моделей секвенсов;
- выделение фаций в разрезах скважин, не охарактеризованных керном (при помощи использования нейросетевого алгоритма) по данным ГИС;
- проведение сейсмофациального анализа, качественная и количественная интерпретация его результатов на основе концептуальных литолого-фациальных моделей.

Материалы и методы исследования

Основными стратиграфическими границами, на которые опирается корреляция исследуемого интервала, являются кровля пласта ЮГ₂ и подошва пласта ЮГ₄, которые однозначно прослеживаются в геологическом разрезе. Кровля пласта ЮГ₂ ассоциируется с кровлей тюменской свиты (и кровлей мальшевского горизонта) и уверенно отбивается по электрическим (БК) и радиоактивным (ГК) методам. Подошва пласта ЮГ₄ является подошвой мальшевского горизонта – стратиграфической границей событийного обоснования, сформированной в результате падения относительного уровня моря в начале позднеюрского времени и последовавшего за этим опесчанивания разреза.

Согласно данным региональной палеогеографии исследуемые отложения образовывались в континентальных и переходных условиях [1], в которых границы секвенсов

приурочены к определенным геологическим событиям – резким падениям относительного уровня моря (ОУМ).

После выполнения увязки местной стратиграфической шкалы [2] с кривой глобальных колебаний уровня моря по Б. Хаку [3] авторами было установлено, что в рассматриваемом районе изменения строения объекта исследования подчинены глобальной цикличности. По данным Б. Хака во временном интервале, соответствующем мальшевскому горизонту, произошло 3 полных и 1 неполный цикл колебания абсолютного уровня моря третьего порядка. Начало каждого цикла начинается с глобального падения уровня моря. При соответствующем сочетании тектоники и эвстатики эти события приводят к формированию в осадочных разрезах стратиграфических несогласий – границ секвенсов соответствующего иерархического уровня (рис. 1).

Разрез типичного секвенса, сформированного в субконтинентальных условиях прибрежной равнины, имеет следующее строение [4]:

– Нижний системный тракт LST является базальным членом секвенсов, представляет собой покров преимущественно песчаных отложений аллювиального и (или) приливно-отливного генезиса. LST включают в себя основные резервуары района работ.

– Трансгрессивный системный тракт TST находится в средней части секвенсов, вероятно, он может характеризоваться повышенной углистостью, включать озерные, дельтовые и мелководноморские образования. Резервуары в его составе встречаются спорадически.

– Верхний системный тракт HST – терминальный член секвенсов, представляет собой углисто-глинистые образования прибрежных равнин иногда с разобщенными песчаными телами аллювиального и приливно-отливного генезиса.

Изложенные представления об особенностях строения секвенсов были положены в основу их выделения в разрезе скважин [5–7]. Суть методики заключается в следующем. Генезис субконтинентальных секвенсов можно представить как результат взаимодействия двух факторов, которые условно названы «региональным» и «случайным». Региональный фактор – это квазициклические колебания относительного уровня моря. Случайный фактор – это автоколебания аллювиальных и приливно-отливных систем. Очевидно, что случайный фактор может полностью «затушевывать» региональный.

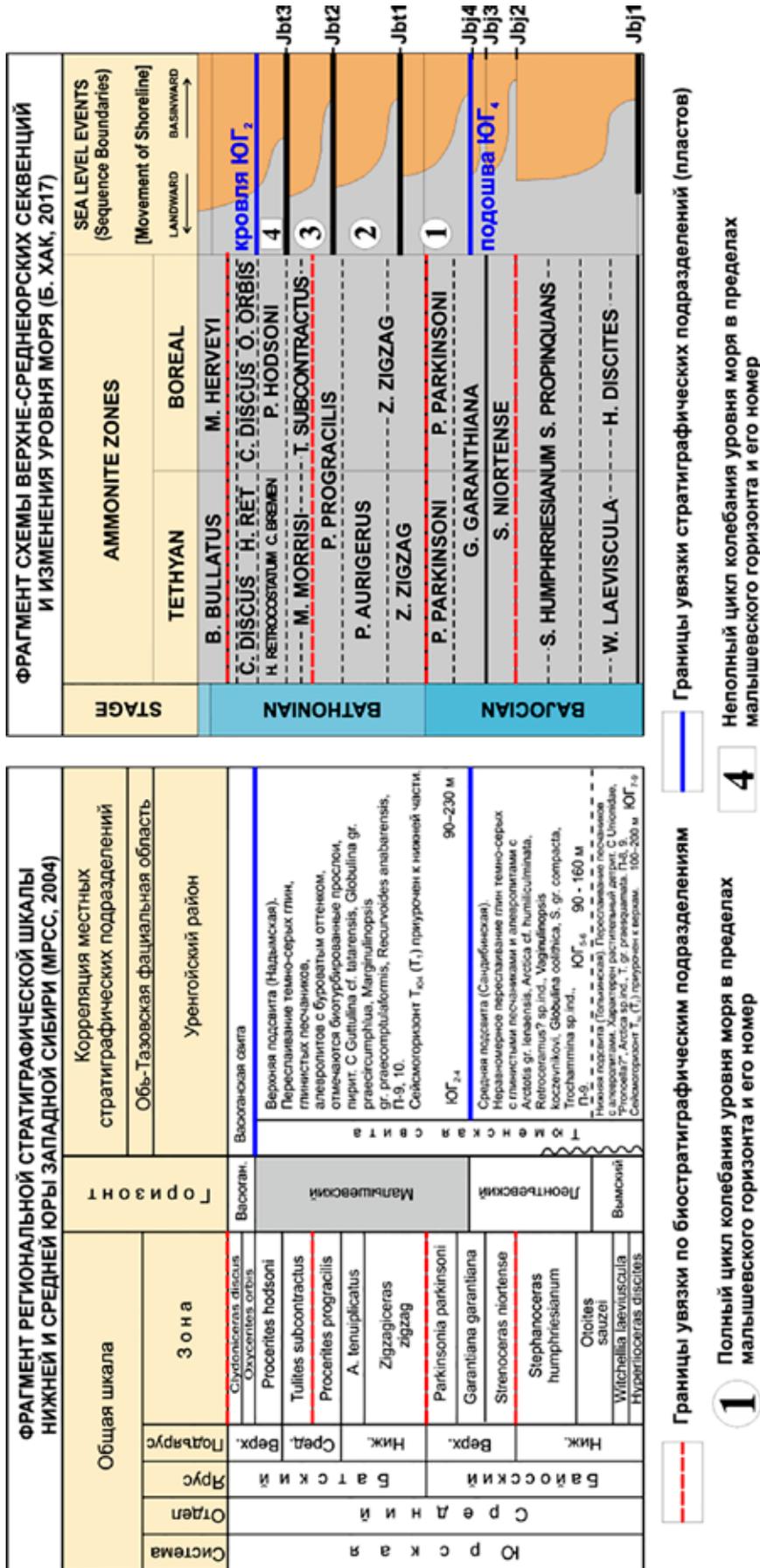


Рис. 1. Фрагмент стратиграфической схемы верхне-среднеюрских отложений Западной Сибири [2], увязанный со схемой изменения уровня моря [3], с нанесенными стратиграфическими границами объекта исследования

Поэтому для выявления регионально-го фактора был использован методический прием, идея которого была заимствована из сейсморазведки: сейсмические трассы в сейсмограмме сначала выравниваются посредством ввода разнообразных поправок, а затем суммируются с целью подавления помех и усиления сигнала. По аналогии с сейсмотрассами в рамках исследования аналогичным образом были обработаны каротажные диаграммы двойного разностного параметра гамма-каротажа ($\Delta J\gamma$) в интервале малышевского горизонта:

- сначала они были отредактированы из-за наличия углей – последние заменены на глинистые отложения;
- затем кривые $\Delta J\gamma$ были приведены к единой мощности, подискретно суммированы и нормированы.

Результирующая кривая приведена на рис. 2.

Как уже упоминалось ранее, временной интервал малышевского горизонта включает три полных цикла колебания уровня моря и один неполный цикл, выделяемый в его прикровельной части. Эти данные были учтены при интерпретации интегральной кривой $\Delta J\gamma$. При анализе интегральной кривой $\Delta J\gamma$ также было установлено, что в интервале малышевского горизонта можно выделить секвенсы более высокого 4 порядка. Всего в результате интерпретации интегральной кривой $\Delta J\gamma$ авторами было выделено (рис. 2):

- 4 секвентные границы третьего порядка (R0, R1, R2, R3);
- 3 секвентные границы четвертого порядка (R0-1, R1-2, R2-3).

Так как над границей секвенсы залегают песчаные тела, а под ней располагаются углисто-глинистые отложения, то каждая из выделенных секвентных границ может быть интерпретирована как подошва пласта. Так как в ходе корреляции было выделено 7 секвентных границ (третьего и четвертого порядков), то интервал малышевского горизонта может быть разделен на 7 самостоятельных пластов.

Исторически на Береговом месторождении в интервале малышевского горизонта выделяются два пласта – ЮГ₂ и ЮГ₄. Секвенс-стратиграфический подход позволил обоснованно разделить пласты ЮГ₂ и ЮГ₄ на две части (пласты ЮГ₂¹ – ЮГ₂² и ЮГ₄¹ – ЮГ₄² соответственно) и выделить три дополнительных пласта между ними (пласты ЮГ₃¹, ЮГ₃² и ЮГ₃³) (рис. 3).

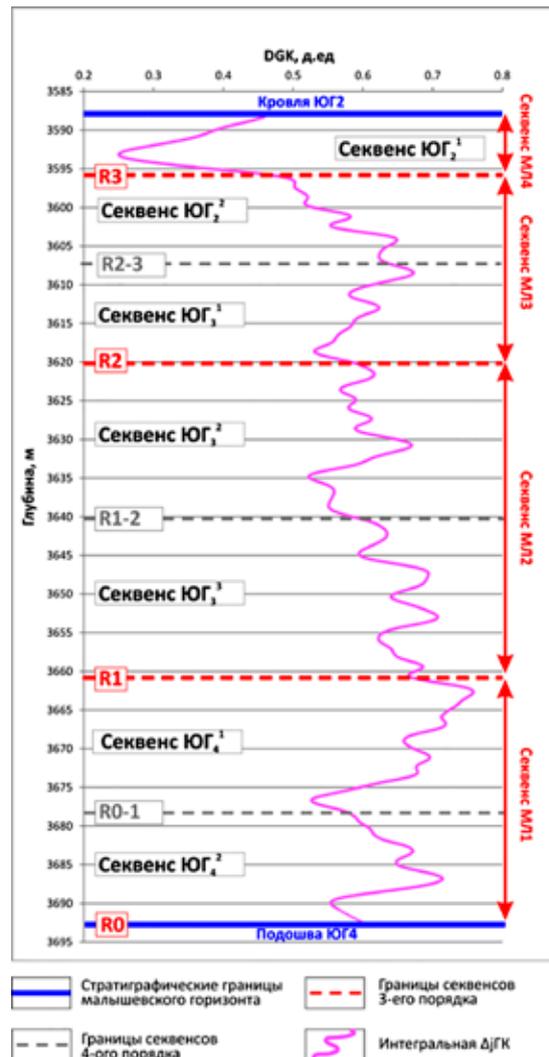


Рис. 2. Интегральная кривая $\Delta J\gamma$ малышевского горизонта Берегового НГКМ с выделенными границами секвенс

**Детальный литолого-фациальный анализ керна скважин.
Построение концептуальной литолого-фациальной модели объекта**

После построения секвенс-стратиграфического каркаса был выполнен детальный седиментологический анализ керна с целью определения обстановок осадконакопления исследуемых отложений и подбора адекватной концептуальной модели.

На основании изучения литологического состава пород отобранного керна установлено, что формирование нижней части малышевского горизонта происходило в континентальных обстановках осадконакопления в условиях низменной (сильно пенеппенизированной) аллювиальной равнины с речными каналами меандрирующего типа и хорошо развитой пойменной долиной.

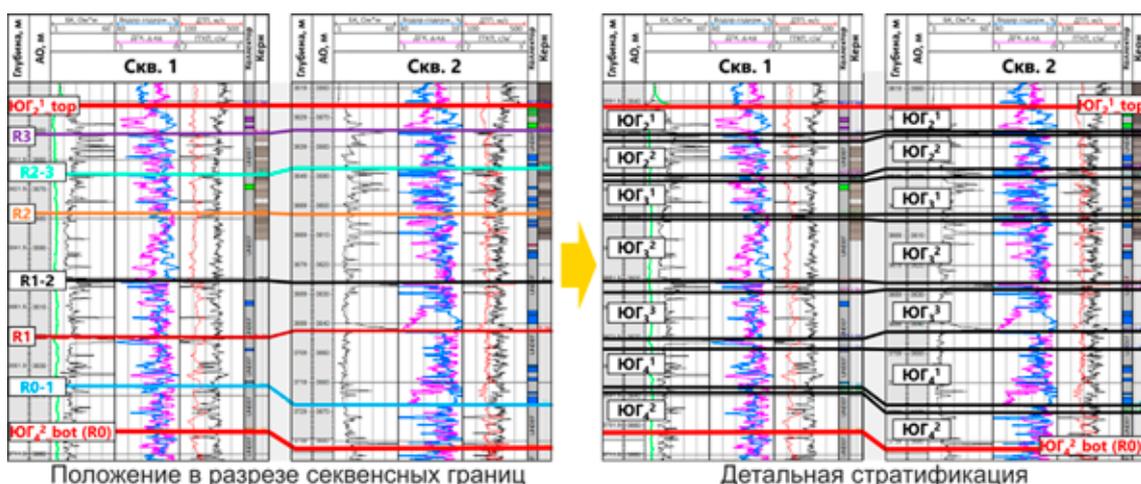


Рис. 3. Пример стратификации отложений мальшевского горизонта на основе опорных секвенсных границ

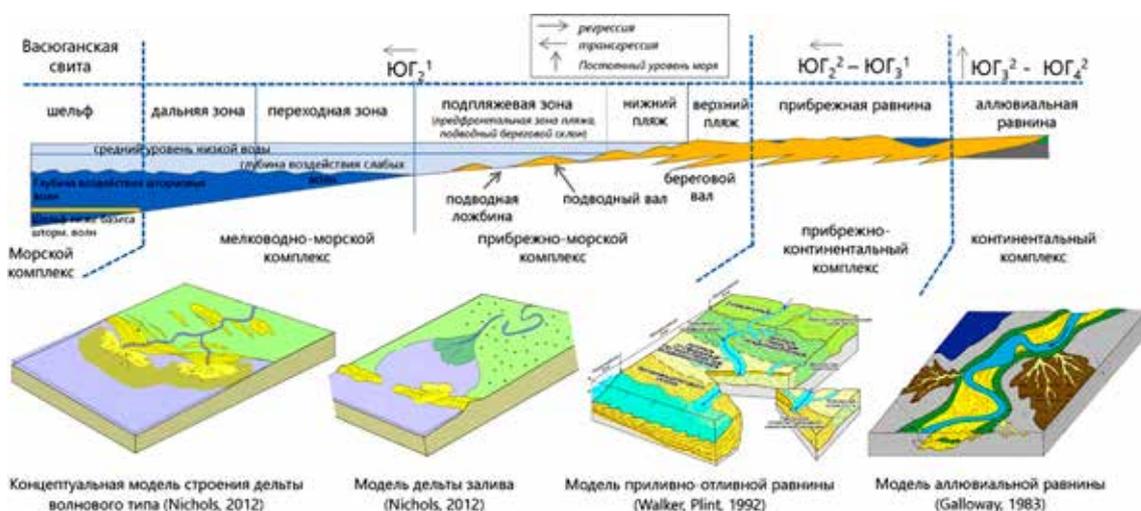


Рис. 4. Концептуальные модели осадконакопления среднегорских отложений с иллюстрациями Nichols [8]; Walker, Flint [9]; Galloway [10]

Отложения верхней и средней частей мальшевского горизонта формировались в условиях постепенно затопляемой прибрежной равнины. По керну отмечается трансгрессивная последовательность: вверх по разрезу прибрежно-континентальные отложения приливо-отливных отмелей, маршей и пересекающих их мелких речных русел сначала сменяются отложениями заливов, а затопленные речные долины, расширяясь, превращаются в эстуарии. Далее, с началом нового этапа трансгрессии, происходит существенная перестройка области седиментации и начинают формироваться отложения прибрежно-морского, дельтового генезиса, которые впоследствии пере-

крываются мелководно-морскими отложениями внутреннего шельфа.

На основании выполненного седиментологического анализа кернового материала для дальнейшего геологического моделирования были приняты следующие концептуальные модели (рис. 4):

- Пласты ЮГ₃² – ЮГ₄² – модель аллювиальной равнины с меандрирующим типом речной системы;
- Пласты ЮГ₂² – ЮГ₃¹ – модель приливо-отливной равнины с речными каналами и модель заливного побережья;
- Пласт ЮГ₂¹ – модель побережья, осложненного влиянием дельт со смешанным влиянием речных и волновых процессов.

Определение обстановок осадконакопления на керне выполнялось в форме выделения фаций – геологических тел, сформировавшихся в определенной физико-географической среде и характеризующихся особенными литологическими и фильтрационно-емкостными свойствами [11].

В ходе литологического описания керна было выделено 26 фаций, приуроченных к континентальным, прибрежно-континентальным, прибрежно-морским и мелко-

водно-морским фаціальным комплексам. Мощность описанных фаций изменяется от первых сантиметров до метров. При этом:

- с одной стороны, высокая степень детальности выделения фаций является залогом корректности интерпретации их седиментационных обстановок;
- с другой стороны, последующий переход при геологическом моделировании в масштабы ГИС и сейсморазведки требует их укрупнения.

Таблица 1

Фации, выделенные по результатам описания керна, и макрофации, полученные на основе их укрупнения

Комплекс фаций	Фация	Индекс фации	Макрофация	Индекс макроф.	
Мелководно-морской	Шельф	Shlf	Глинистые отложения шельфа	SHLF	
	Нижняя часть внутреннего шельфа	LOF	Морские алевритовые отложения	SAL	
	Верхняя часть внутреннего шельфа	UOF			
	Транзитная (переходная) зона	TZ			
	Трансгрессивный слой	TL			
Прибрежно-морской	Дистальная часть продельтового склона	DPD	Дельтовые алевритовые отложения	DAL	
	Проксимальная часть продельтового склона дельты	PPD			
	Дистальная часть фронта дельты	DDF			
	Проксимальная часть фронта дельты	PDF	Дельтовые песчаные отложения	DS	
	Центральная часть залива	CB	Алеврито-глинистые отложения залива	BAL	
	Прибрежная часть залива	BayM			
	Продельта дельты головной части залива	BHD/PD			
	Дельта головной части залива	BHD	Песчаные отложения залива	BS	
Прибрежно-континентальный	Марш	M	Отложения болот	SW	
	Илистая приливно-отливная отмель	MTF	Смешанные алеврито-глинистые отложения приливно-отливной отмели	ShAL	
	Субаквальный намывной вал	SL			
	Смеш. песч.-илистая приливно-отливная отмель	MSTF			
	Песчаная приливно-отливная отмель	STF	Пески разливов	FS	
	Ручей со смеш. влиян. речных и прилив.-отлив. проц.	TFCr			
	Речн. канал с влиянием прилив.-отлив. проц.	FCt			Песчаные речные русла
Болото	SW	Отложения болот			SW
Континентальный	Пойма	FP	Смешанные алеврито-глинистые континентальные отложения	CAL	
	Прирусловой вал	NL			
	Конус выноса промоины	CS			
	Канал выноса промоины	CC	Пески разливов	FS	
	Речное русло	FC	Песчаные речные русла	ChS	

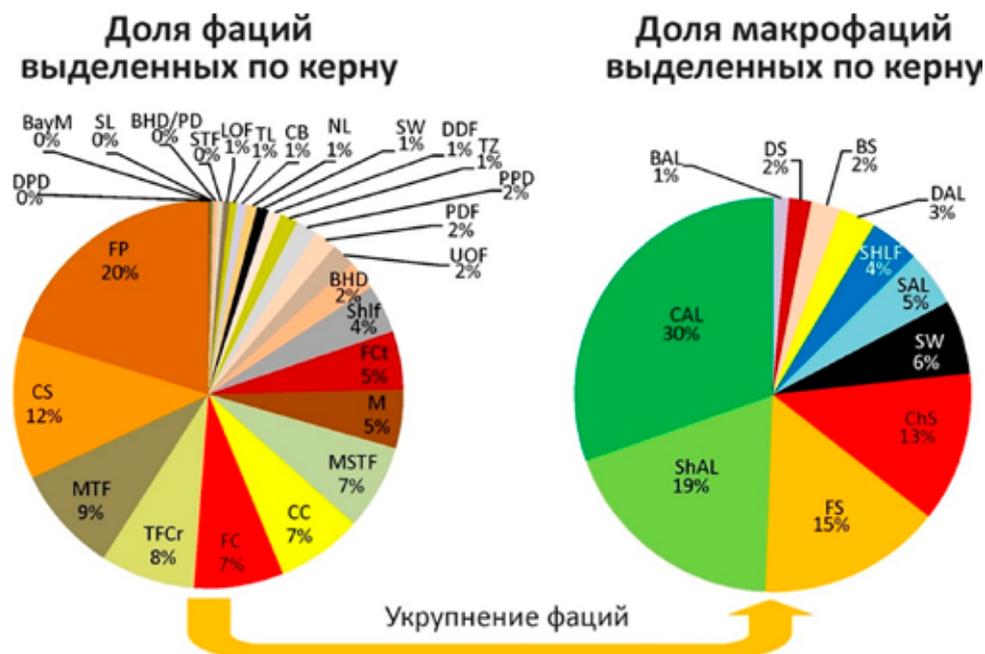


Рис. 5. Диаграмма распределения фаций и макрофаций (расшифровка индексов фаций представлена в табл. 1)

Поэтому на основании генетических, морфологических, литологических и геофизических свойств изначально выделенные по керну 26 фаций были укрупнены до 11 макрофаций, которые соответствуют обособленным палеогеографическим зонам и могут быть реализованы в геологических моделях.

Всего были выделены следующие макрофации – глинистые отложения шельфа, морские алевритовые отложения, дельтовые алевритовые отложения, дельтовые песчаные отложения, алеврито-глинистые отложения залива, песчаные отложения залива, отложения болот, смешанные алеврито-глинистые отложения приливно-отливной отмели, смешанные алеврито-глинистые континентальные отложения, пески разливов и песчаные речные русла.

Выделенные по результатам анализа керна фации и макрофации представлены в табл. 1. На рис. 5 представлены круговые диаграммы, иллюстрирующие, как произошло перераспределение фаций в результате их укрупнения.

Выделение фаций в скважинах, не охарактеризованных керном

Для корректного построения фациальной модели необходимо иметь сведения о фациальном строении исследуемого разреза в каждой скважине. Как правило, объема керна, отбираемого в скважинах, недоста-

точно для решения данной задачи. Поэтому для того чтобы построить комплексную фациальную модель, необходимо распространить фации, выделенные в пределах интервалов скважин, охарактеризованных керном, на весь остальной скважинный фонд, где присутствуют только данные ГИС.

Для решения данной задачи применялся нейросетевой прогноз. Прогнозирование фациальных обстановок в интервалах отсутствия отбора керна выполнялось в модуле MLP-классификатор ПО TechLog (Schlumberger), основанном на технологии многослойного перцептрона – нелинейного регрессивного статистического метода. Обучение нейросети проходило по пяти керновым скважинам. В качестве входных данных ГИС для фациального моделирования были выбраны кривые двойного разностного параметра гамма-каротажа (DGK), водородосодержания (TNPH), акустического (DTP) и плотностного (RHOV) методов.

При выполнении первой итерации нейросетевого прогноза сходимость рассчитанных макрофаций с фактическими данными составила 60%. Столь низкое качество прогнозирования обусловлено тем, что многие макрофации в поле параметров ГИС практически неотличимы друг от друга и разделяются только на основании своего положения в разрезе или характера изменения их мощностей.

Таблица 2

Принцип укрупнения макрофаций в блоки

Макрофация	Индекс макроф.	Стратиграфическая приуроченность	Блок макрофаций	Индекс блока
Глинистые отложения шельфа	SHLF	Васюганская свита	Глинистые отложения шельфа	SHLF
Морские алевритовые отложения	SAL	ЮГ ₂ ¹ (верхняя часть)	Алевритовые субаквальные отложения	SeaAl
Дельтовые алевритовые отложения	DAL	ЮГ ₂ ¹ (нижняя часть)		
Дельтовые песчаные отложения	DS	ЮГ ₂ ¹	Дельтовые песчаные отложения	DelSand
Песчаные отложения залива	BS	ЮГ ₂ ²		
Алеврито-глинистые отложения залива	BAL	ЮГ ₂ ²	Смешанные преимущественно глинистые отложения	MIX
Смеш. алевр.-глин. отложения приливно-отливной отмели	ShAL	ЮГ ₂ ² – ЮГ ₃ ¹		
Смеш. алевр.-глин. континентальные отложения	CAL	ЮГ ₃ ² – ЮГ ₄ ²		
Отложения болот	SW	ЮГ ₂ ² – ЮГ ₄ ²	Отложения болот	SW
Пески разливов	FS	ЮГ ₂ ² – ЮГ ₄ ²	Песчаные аллювиальные отложения	AlSand
Песчаные речные русла	ChS			

Например, макрофация континентальных смешанных алеврито-глинистых отложений и макрофация смешанных отложений приливно-отливной отмели имеют идентичные признаки по ГИС, но отличаются положением в стратиграфическом разрезе малышевского горизонта:

- субконтинентальные отложения входят в состав секвенсов ЮГ₃² – ЮГ₄²,
- приливно-отливные – состав секвенсов ЮГ₂² – ЮГ₃¹.

Макрофации русел и песков разлива также имеют сходные показания по ГИС, но отличаются по своей мощности: макрофации русел имеют значительно большую мощность, чем отложения песков разлива.

Поэтому для того чтобы повысить достоверность прогноза, авторами был применен следующий технический прием. Макрофации со сходными характеристиками по ГИС, но приуроченные к разным интервалам разреза объединялись между собой в шесть условных «блоков макрофаций» (табл. 2). При прогнозировании «блоков макрофаций» посредством нейросетевого алгоритма сходимость расчетных и фактических керновых данных составила 80,6%. На рис. 6 продемонстрированы результаты работы нейросети.

Полученные при помощи нейросетевого анализа «блоки макрофаций» были распространены на скважины, охарактеризованные только данными ГИС. На заключительном этапе анализа спрогнозирован-

ные по данным ГИС «блоки макрофаций» были обратно трансформированы в макрофации на основе их стратиграфического положения в разрезе (табл. 2) и мощности (рис. 7).

Для осуществления дальнейшего количественного сейсмического прогноза макрофаций в межскважинном пространстве для каждого пласта в каждой скважине были рассчитаны доли содержания всех макрофаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Целью сейсмофациального анализа в рассматриваемом случае был прогноз площадного распространения фаций, обладающих наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС).

Согласно проведенным исследованиям к наиболее перспективным отнесены макрофации дельтовых песков, песчаных заливов, русел и песков разливов (рис. 8).

Для построения фациальных моделей был использован метод мультиатрибутного анализа результатов синхронной детерминистической инверсии 3D сейсмических данных, выполненной для изучаемого интервала. Для прогнозирования в пределах каждого пласта были выбраны фации с наибольшей песчаностью и ФЕС, к которым должны быть приурочены зоны с наибольшими эффективными толщинами.

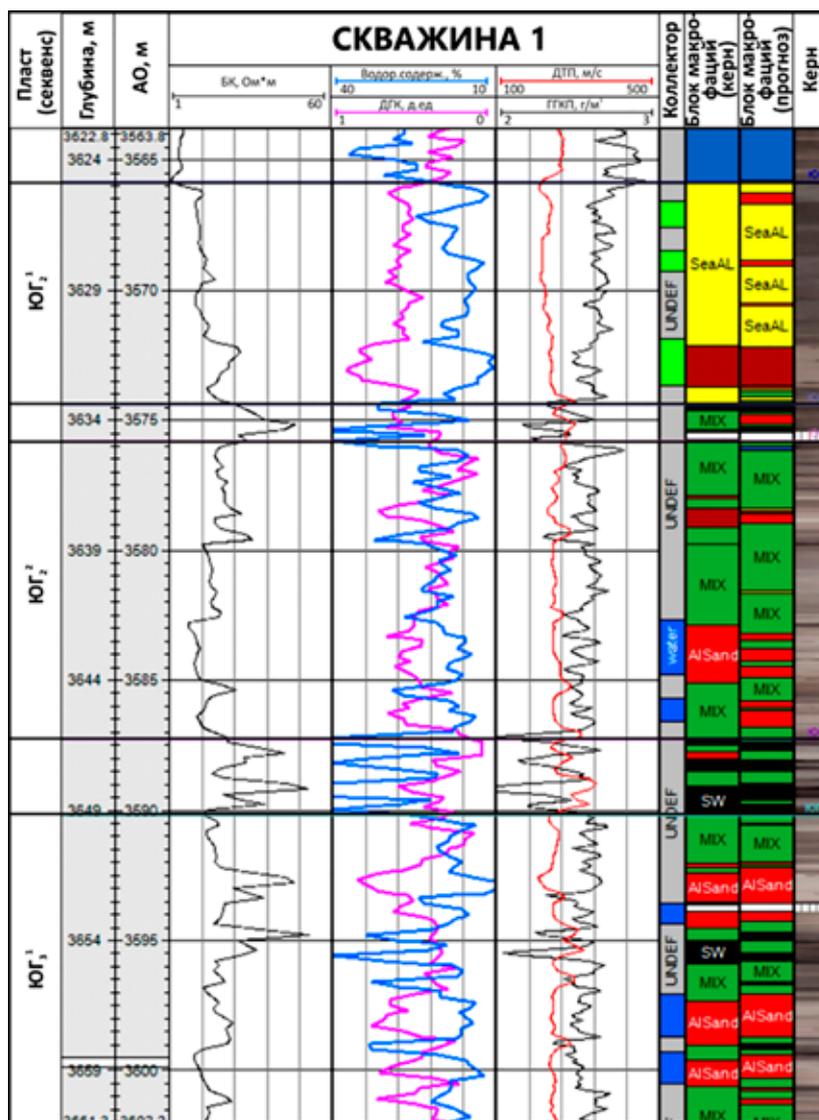


Рис. 6. Сопоставление «блоков макрофаций», выделенных по керну и полученных по результатам работы нейросети

При анализе результатов синхронной инверсии было установлено, что коэффициент корреляции сейсмических данных с долей перспективных фаций в разрезе больше, чем с коэффициентом песчаности. Данное наблюдение позволяет утверждать, что фациальные тела картируются более достовер-

но. Полученный вывод, по мнению авторов, имеет принципиальное значение, поскольку показывает, что фации, как геологические тела, входящие в состав геосистем-секвенсов, оказывают большее влияние на распределение сейсмических атрибутов, чем номинально выделяемые прослои коллекторов.



Рис. 7. Гистограмма распределения толщин блока макрофаций песчаных аллювиальных отложений для интервала мальшевского горизонта с выделением по ней самостоятельных мощных трендов макрофаций русел и песков разлива

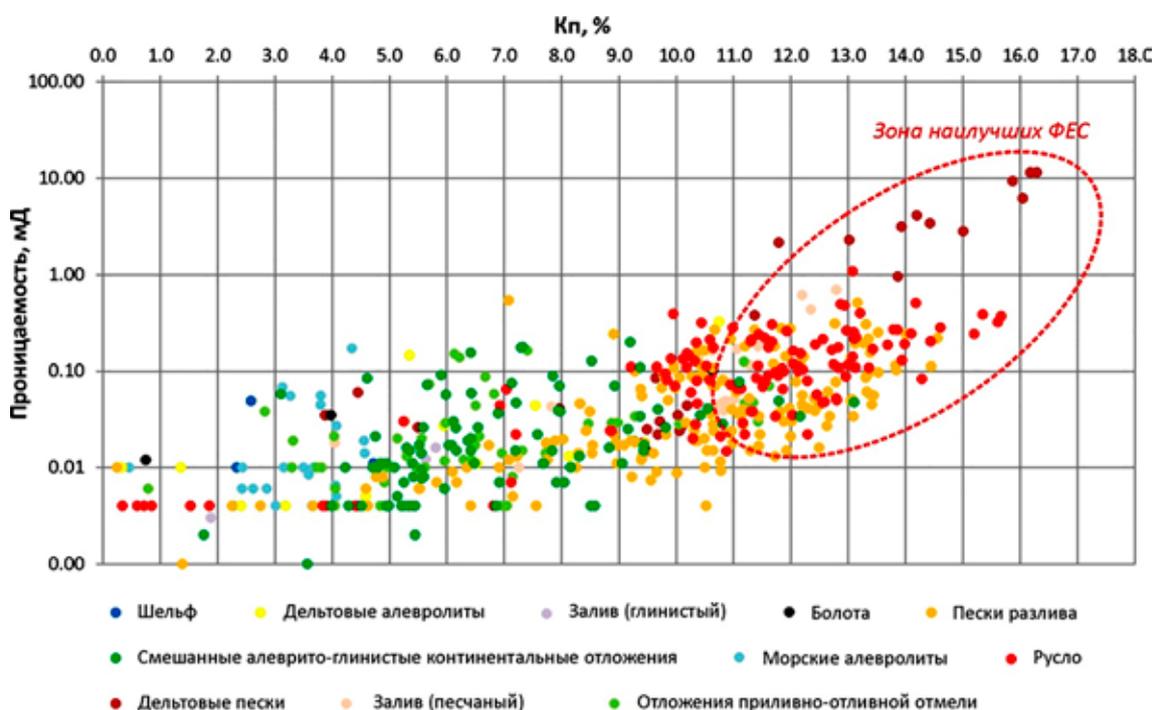


Рис. 8. График зависимости проницаемости от пористости выделенных макрофаций по данным лабораторных исследований ядра

В качестве примера в данной статье приводятся результаты концептуального фациального моделирования пласта ЮГ₃², отложения которого образовались в континентальных условиях аллювиальной рав-

нины. Целевой моделируемой фацией этого пласта, соответственно, является фация русел. В результате моделирования была получена карта, описывающая содержание доли фации русловых отложений в пространстве.

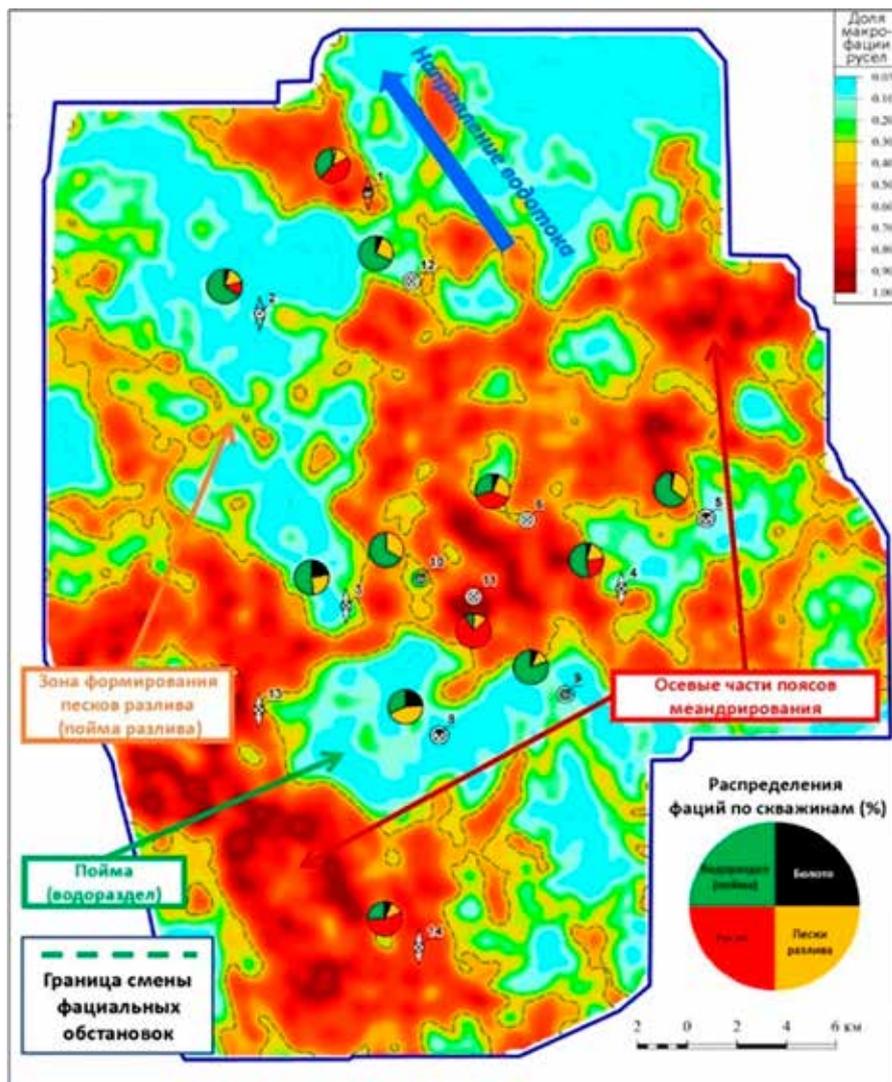


Рис. 9. Фациальная модель пласта ЮГ₃² на основе сейсмического прогноза фацции русел

Аллювиальные пояса меандрирования имеют очень сложную фациальную структуру, обусловленную наложением друг на друга песчаных кос, формирующихся в результате развития меандр различных русел в разное время. По результатам сейсмического прогноза в пределах пласта ЮГ₃² можно наблюдать подобную картину. Зоны наиболее выраженных фрагментов аллювиальной системы (места, где прогнозируется повышенное содержание доли русловых отложений) можно рассматривать как зоны повышенной гидродинамической связности резервуаров, разобценные фациями ближней и дальней поймы (рис. 9).

Полученные результаты в дальнейшем будут уточняться за счет привлечения метода стохастической инверсии волнового поля, ко-

торая должна обеспечить еще более плотную связь скважинных и сейсмических данных.

Заключение

В ходе построения секвенс-стратиграфической модели малышевского горизонта Берегового НГКМ был создан секвенс-стратиграфический каркас объекта, включающий семь секвенсов четвертого порядка. Секвенс-стратиграфический подход позволил обоснованно разделить традиционно выделяемые на Береговом месторождении пласты ЮГ₂ и ЮГ₄ на две части (пласты ЮГ₂¹ – ЮГ₂² и ЮГ₄¹ – ЮГ₄² соответственно) и выделить три дополнительных пласта между ними (пласты ЮГ₃¹, ЮГ₃² и ЮГ₃³).

На основании анализа кернового материала были установлены и описаны фацции

изучаемого объекта и установлена их вертикальная последовательность.

Фации, определенные по керну, по данным ГИС при помощи нейросетевого моделирования были распространены на все скважины, вскрывшие исследуемый разрез. При этом была обоснована оптимальная крупность выделенных тел, апробированы алгоритмы последовательного укрупнения и разукрупнения фаций.

Были установлены фации, характеризующиеся наилучшим ФЭС, которые могут рассматриваться как наиболее перспективные резервуары для углеводородов. Результаты синхронной детерминистической инверсии 3D сейсмических данных позволили распространить данные фации в межскважинном пространстве при помощи мультиатрибутного сейсмического анализа. Установлено, что достоверность прогноза фаций по сейсмическим атрибутам выше, чем достоверность прогноза коэффициента песчаности, что объясняется геосистемной природой фаций.

Полученные результаты являются основой для проектирования геологоразведочных работ, а также последующего трехмерного цифрового геологического и гидродинамического моделирования.

Список литературы

1. Конторович А.Э., Конторович В.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. № 8. С. 972–1012.
2. Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Новосибирск, 2004. 148 с.
3. Haq В.У. Jurassic sea-level variations: a reappraisal. GSA Today. 2017. Vol. 28. No 1.
4. Catuneanu O. Principles of Sequence Stratigraphy. Second Edition. Elsevier, 2022. P. 486.
5. Зундэ Д.А. Методика построения сиквенс-стратиграфической модели покурской свиты // Нефтепромысловое дело. 2015. № 5. С. 54–59.
6. Зундэ Д.А. Разработка методики дифференциации континентальных отложений аллювиального генезиса на примере пластов покурской свиты // Геология нефти и газа. 2015. № 3. С. 22–25.
7. Зундэ Д.А. Разработка методики дифференциации континентальных отложений с использованием сиквенс-стратиграфической модели на примере пластов покурской свиты месторождений Западной Сибири. автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень, 2016. 17 с.
8. Nichols G. Sedimentary and stratigraphy. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. 419 p.
9. Уолкер Р., Джеймс Н. Фациальные модели / Пер. с англ. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. 916 с.
10. Galloway W.E., Hobday D.K. Terrigenous clastic depositional systems: applications to petroleum, coal, and uranium exploration. New York: Spring – Verlag, 1983.
11. Реддинг Х. Обстановки осадконакопления и фации: в 2 т. / ред.: пер. с англ. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с. Т. 2. 360 с.

УДК 550.461

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

¹Зиппа Е.В., ^{1,2}Пургина Д.В., ^{1,2}Дребот В.В.

¹Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, e-mail: zev-92@mail.ru;

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

В статье представлены новые данные о химическом составе и температурном режиме термальных вод Республики Бурятия. Показано, что термальные воды являются пресными (минерализация не превышает 500 мг/л), слабощелочными и щелочными (pH от 8,2 до 9,7). Исследуемые термы по своему химическому составу относятся преимущественно к HCO₃-SO₄-Na и SO₄-Na типам, однако встречаются термы SO₄-HCO₃-Na типа. Оценка температур на глубине циркуляции была произведена с помощью Si- и Na/K-геотермометров. Согласно полученным результатам расчетов по Si-геотермометру при адиабатическом охлаждении температура терм на глубине циркуляции составляет от 98 до 143 °С, по Si-геотермометру при кондуктивном охлаждении – от 97 до 150 °С. Температуры терм на глубине, рассчитанные по Na/K-геотермометрам, варьируют от 74 до 173 °С. С помощью построения диаграммы Гиггенбаха для термальных вод исследуемого региона установлено, что применение Na/K-геотермометра возможно только для источников Сеюйский и Змеиный. Кроме этого, в рамках настоящего исследования проведена оценка степени смешения термальных вод и холодных подземных вод по мере миграции первых к зоне разгрузки. Оценка степени смешения терм произведена с помощью построения модели смешения Si-энтальпии, которая показывает, что большая часть термальных вод подвержена смешению с холодными водами.

Ключевые слова: термальные воды, химический состав, глубина циркуляции, глубинные температуры, геотермометры

CHEMICAL COMPOSITION AND GEOTHERMAL REGIME OF THERMAL WATER OF THE BAIKAL FOLDED REGION (REPUBLIC OF BURYATIA)

¹Zippa E.V., ^{1,2}Purgina D.V., ^{1,2}Drebot V.V.

¹Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics in the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: zev-92@mail.ru

²National research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

The manuscript presents new data on the chemical composition and temperature regime of the thermal waters of the Republic of Buryatia. It is shown that thermal waters are fresh (mineralization does not exceed 500 mg/l), weakly alkaline and alkaline (pH from 8.2 to 9.7). In terms of their chemical composition, the studied waters mainly belong to the HCO₃-SO₄-Na and SO₄-Na types, however, there are waters of the SO₄-HCO₃-Na type. Temperatures at the circulation depth were estimated using Si- and Na/K-geothermometers. According to the results of calculations by the Si-geothermometer with adiabatic cooling, the temperature of the term at the circulation depth is from 98 to 143 °C, by the Si-geothermometer with conductive cooling – from 97 to 150 °C. Thermal water temperatures at depth calculated from Na/K geothermometers range from 74 °C to 173 °C. Using the construction of the Giggenbach diagram for the thermal waters of the region under study, it was found that the use of the Na/K geothermometer is possible only for the Seyuysky and Zmeiny springs. In addition, within the framework of this study, an assessment was made of the degree of mixing of thermal waters and cold groundwaters as the former migrate to the discharge zone. Estimation of the degree of thermal mixing was made using the Si-enthalpy mixing model, which shows that most of the thermal waters are subject to mixing with cold waters.

Keywords: thermal waters, chemical composition, circulation depth, circulation temperature, geothermometers

Термальные воды широко распространены по всему миру и являются объектом исследования учёных разных областей. Среди возникающих вопросов в области гидрогеологии и гидрогеохимии наиболее дискуссионными являются проблемы формирования терм, процессы и механизмы в системе вода-порода, генезис и возраст терм, генезис вторичных минералов и др. Республика Бурятия характеризуется проявлением термальных вод, которые активно используются местным населением в баль-

неологических целях. Исследуемым водам посвящены многочисленные работы [1-3], описывающие химический, газовый и изотопный состав, характер равновесия с минералами вмещающих пород, механизмы взаимодействия терм с горными породами и т.д. В настоящей работе представлены новые данные по составу термальных вод Республики Бурятия и рассчитаны температуры на глубине циркуляции. Полученные результаты позволят восстановить, в частности, геотермальный режим, а также усло-

вия, процессы и механизмы формирования термальных вод в целом. В дальнейшем это послужит основой и для построения концептуальной модели формирования состава термальных вод интрузивных пород. В этой связи целью настоящего исследования является оценка температур термальных вод Республики Бурятия на глубине их циркуляции.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование основано на результатах гидрохимического опробования, проведённого в 2022 г. на территории Республики Бурятия. Непосредственно на месте пробоотбора был определён ряд показателей: pH и температура измерены с помощью pH-метра HI 9911300, Eh – с помощью ОВП-метра HM Digital ORP 200. Анализ проб по определению химического состава проводился в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (г. Томск). Химический анализ осуществлён методом титрования при помощи анализатора жидкости «Анион 7-51» (Россия) (HCO_3^- , CO_3^{2-}), атомно-абсорбционным методом (Ca^{2+} и Mg^{2+}), методом ионообменной хроматографии с использованием хроматографа ICS-1000 Dionex (США) (Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+) и методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой NexION 300D (PerkinElmer, США) (Si). Оценка глубинных температур проведена с применением различных геотермометров, представляющих собой эмпирические и расчётные соотношения, связывающие пластовую температуру и концентрацию или отношения концентрации Si, Na/Li, Mg/Li, Na/K, Na-K-Ca [4-6]. В частности, применены кварцевые геотермометры при адиабатическом (1) и кондуктивном охлаждении раствора (2) [7]:

$$T, ^\circ\text{C} = 1522 / (5,75 - \log(\text{SiO}_2)) - 273,15 \quad (1)$$

$$T, ^\circ\text{C} = 1309 / (5,19 - \log(\text{SiO}_2)) - 273,15 \quad (2)$$

где SiO_2 – концентрация SiO_2 в мг/л [7].

Наряду с вышеперечисленными геотермометрами расчёт температур терм на глубине циркуляции осуществлён по Na-K-геотермометрам, которые в меньшей степени подвержены влиянию процессов кипения и охлаждения, поскольку включают себя отношения концентраций ионов (3, 4) [4].

$$T, ^\circ\text{C} = [1217 / (1,483 + \log(\text{Na} / \text{K}))] - 273,15 \quad [8] \quad (3)$$

$$T, ^\circ\text{C} = [1178 / (1,470 + \log(\text{Na} / \text{K}))] - 273,15 \quad [9] \quad (4)$$

Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом отношении исследуемая территория расположена на границе докембрийской Сибирской платформы и Байкальской складчатой области и характеризуется широким распространением глубинных разломов, сформированных в результате рифтогенных процессов [1]. Выходы термальных вод Республики Бурятия приурочены в основном к баргузинскому комплексу, представленному интрузивными породами протерозойского возраста [10]. Баргузинский комплекс гранитоидов состоит из двух фаз: 1) среднезернистых порфиридных (часто гнейсовидных) биотитовых, биотит-роговообманковых и роговообманковых гранитов, граносиенитов, гранодиоритов, сиенитов, диоритов и 2) средне- и мелкозернистых массивных и гнейсовидных (иногда порфиридных) биотитовых гранитов [10].

Результаты анализа химического состава представлены в табл. 1, из которой видно, что исследуемые термальные воды являются пресными, поскольку величина общей минерализации едва достигает 1 г/л и варьирует от 266 до 858 мг/л. При этом термальные воды являются щелочными, значения pH колеблются от 8,2 до 9,7, что является характерной особенностью азотных терм, отличающих их от большинства других природных вод. Величина Eh преимущественно колеблется от -350 до -110 мВ, но есть исключения, родники Гусихинский и Алгинский, где значения Eh выше 0 и составляют соответственно 38 и 124 мВ [4]. Температуры терм в местах разгрузки варьируют от 21 до 72 °С. Самые низкие значения температуры отмечены для источников Толстихинский и Алгинский (29 и 21 °С соответственно). Вероятно, температура терм понизилась в результате смешения с более холодными водами, поскольку рассматриваемые источники разгружаются в непосредственной близости рек [4].

Анионный состав исследуемых терм характеризуется попеременным доминированием SO_4^{2-} и HCO_3^- . Концентрации SO_4^{2-} и HCO_3^- соответственно составляют от 40 до 365 мг/л и от 27 до 154 мг/л. Содержание Cl^- варьирует от 3,5 до 40,5 мг/л. Катионный состав характеризуется преобладанием Na^+ , концентрации которого варьируют от 104 до 211 мг/л. Исключение составляет Алгинский источник, где преобладание от Na^+ переходит к Ca^{2+} и до-

стигает максимального значения 81,7 мг/л. Содержание Ca^{2+} в исследуемых термах изменяется в пределах широкого диапазона от 1,6 до 81,7 мг/л. На фоне основных катионов, Mg^{2+} и K^+ содержится в наименьших количествах, не превышающих соответственно 2,5 и 6 мг/л, за исключением родника Гусихинского (K^+ достигает

12 мг/л). Наряду с основными ионами для термальных вод Республики Бурятия характерны высокие концентрации F^- и SiO_2 , соответственно варьирующие от 3 до 20 мг/л и от 47 до 125 мг/л. По химическому составу исследуемые термы относятся преимущественно к HCO_3^- - SO_4^- -Na и SO_4^- -Na, реже к SO_4^- - HCO_3^- -Na (рис. 1) [4].

Таблица 1

Химический состав термальных вод Республики Бурятия, мг/л

Название источника	T, °C	pH	Eh, мВ	M*	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SiO_2	F^-
Горячинский	51	9,0	-206	685	15,6	42	365	6,2	34,7	2,44	149	4,3	63	3
Золотой ключ	45	8,8	-110	526	10	60	210	19,6	12,9	1,22	123	4,2	78	7
Кулиные болота	51	9,4	-115	628	25,8	137	133	32,6	2,1	0,73	154	3,4	121	19
Змеиный	37	9,6	-350	582	25,2	144	122	40,5	4,4	0,24	146	2,2	88	9
Гусихинский	72	8,5	38	858	9,4	106	356	33,5	17,2	0,98	211	12	101	11
Толстихинский	29	9,7	-240	453	19,5	128	92	20,8	3,2	1,22	114	2,5	62	10
Алгинский	21	8,2	124	664	3	63	338	15,5	81,7	1,59	104	5,6	47	4
Аллинский	43	9,2	-339	556	28,5	154	88	14,3	8,6	0,73	122	4,3	125	12
Умхеский	48	9,5	-275	506	42	134	79	12,4	1,7	0,85	125	1,9	95	14
Кучигерский	38	9,5	-300	465	29,4	110	90	15,0	2,3	0,92	118	1,5	86	12
Сеюйский	53	9,4	-244	456	35,7	100	85	11,0	2,0	0,31	130	1,6	72	19
Хакусский	47	8,4	-	266	7,2	27	90	3,5	17,2	0,49	72	1,0	45	3
Котельниковский	63	9,5	-	375	31,2	112	40	19,1	2,0	0,71	93	2,7	55	20
Гоуджекит	52	9,6	-	475	39,6	142	76	20,6	1,6	0,49	114	4,2	57	19
Мин.	21	8,2	-350	266	3	27	40	3,5	1,6	0,24	72	1,0	45	3
Макс.	72	9,7	124	858	42	154	365	40,5	81,7	2,44	211	12	125	20
Сред.	46	9,2	-183	535	23	104	154	18,9	13,7	0,92	126	3,7	78	12

*М – минерализация.

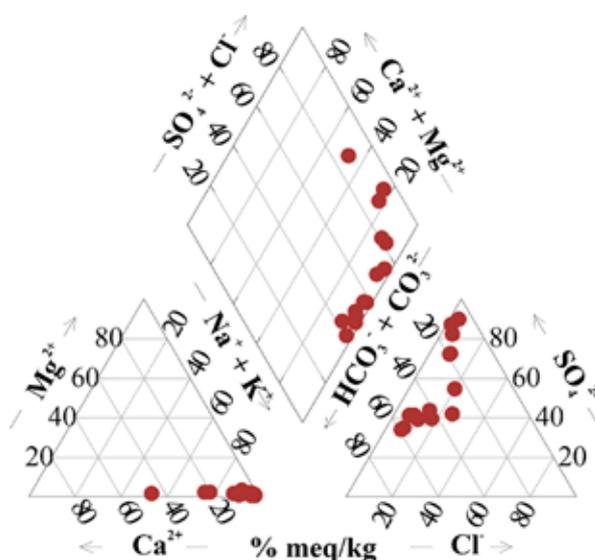


Рис. 1. Химические типы термальных вод Республики Бурятия

Результаты расчётов температур термальных вод Республики Бурятия на глубине их циркуляции, произведённых с применением разных геотермометров, приведены в табл. 2, из которой видно, что температуры, рассчитанные с помощью кварцевых геотермометров, отличаются незначительно. Расчёты по Si-геотермометру при кондуктивном охлаждении показывают температуры терм от 97 до 150 °С, при адиабатическом охлаждении – от 98 до 143 °С. Расчёты с помощью Na/K-геотермометров показали температуры терм на глубине, варьирующие в диапазоне от 74 до 173 °С. Вполне вероятно, что такие завышенные значения являются ошибочным результатом ввиду пределов применения Na/K-геотермометров, или, наоборот, заниженные температуры по Si-геотермометру можно объяснить смешением с более холодными водами по мере движения терм на поверхность [4].

Для корректного применения Na-K-геотермометров при оценке температур термальных вод на глубине циркуляции используется треугольная диаграмма Гиггенбаха (рис. 2) [5]. На диаграмму нанесены точки, отражающие соотношение концентраций катионов в термальных источниках. Видно, что подавляющее большинство термальных источников располагается в области «незрелых вод» по [5], т.е. вод, не достигших равновесия с вмещающими породами. Для таких

вод представляются некорректными результаты расчётов температур с помощью Na-K-геотермометров. Последние могут быть использованы для оценки геотермального режима источников Змеиный и Сеюйский, находящихся в зоне «частичного равновесия» (рис. 2), где характерны значения глубинных температур от 110 до 120 °С.

Использовать геотермометры для оценки глубинных температур следует с учётом условий формирования термальных вод, особенностей состава и пределов применения, например смешивания термальных вод с более холодными подземными водами. Предполагается, что геотермометры не учитывают возможность смешивания терм с холодными водами, но если термы подвержены смешиванию, то концентрации кремния в термальных водах уменьшаются, что, как следствие, приводит к заниженным температурам, оценённым с помощью геотермометров.

В этой связи необходимо провести оценку степени смешения термальных вод с холодными водами для более точного определения температуры терм на глубине циркуляции. Оценка степени смешения производится с помощью модели смешения Si-энтальпия (рис. 3) [11-13], при использовании которой необходимо учитывать процесс кипения вод, сопровождающийся выделением пара.

Таблица 2

Результаты расчётов глубинных температур терм Республики Бурятия, °С

Номер родника	t _{разгрузки}	t(Si) _{кондук.}	t(Si) _{адиабат}	t(Na/K) [8]	t(Na/K) [9]
Горячинский	51	113	112	130	119
Золотой ключ	45	124	121	140	128
Кулиные болота	51	148	142	115	104
Змеиный	37	130	127	96	86
Гусихинский	72	138	133	173	161
Толстихинский	29	112	111	114	103
Алгинский	21	99	100	169	157
Аллинский	43	150	143	142	130
Умхеский	48	134	130	96	85
Кучигерский	38	129	126	87	77
Сеюйский	53	120	118	84	74
Хакусский	47	97	98	93	83
Котельниковский	63	106	106	131	119
Гоуджекит	52	108	108	144	132
Мин.	21	97	98	84	74
Макс.	72	150	143	173	161

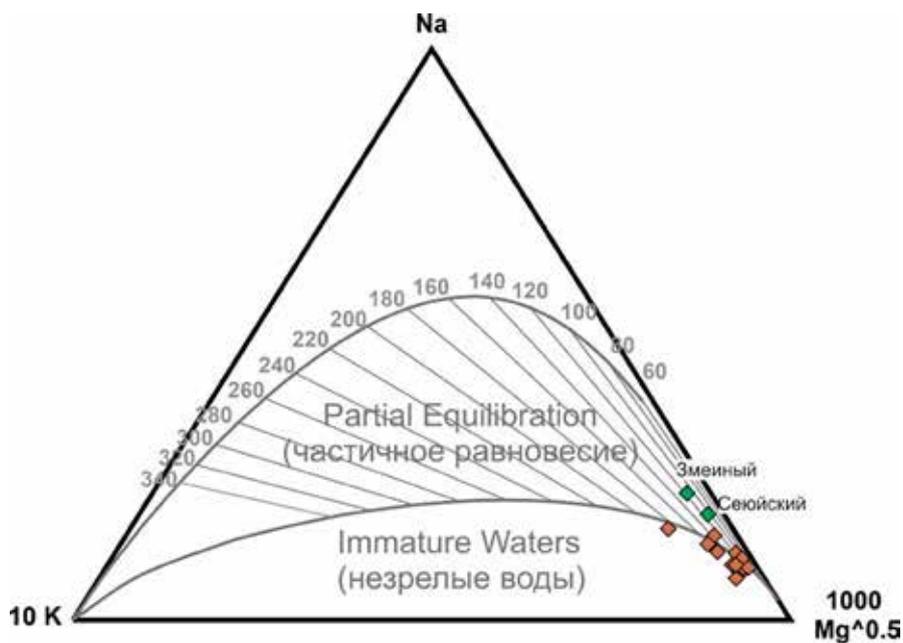


Рис. 2. Диаграмма Гиггенбаха для термальных вод Республики Бурятия

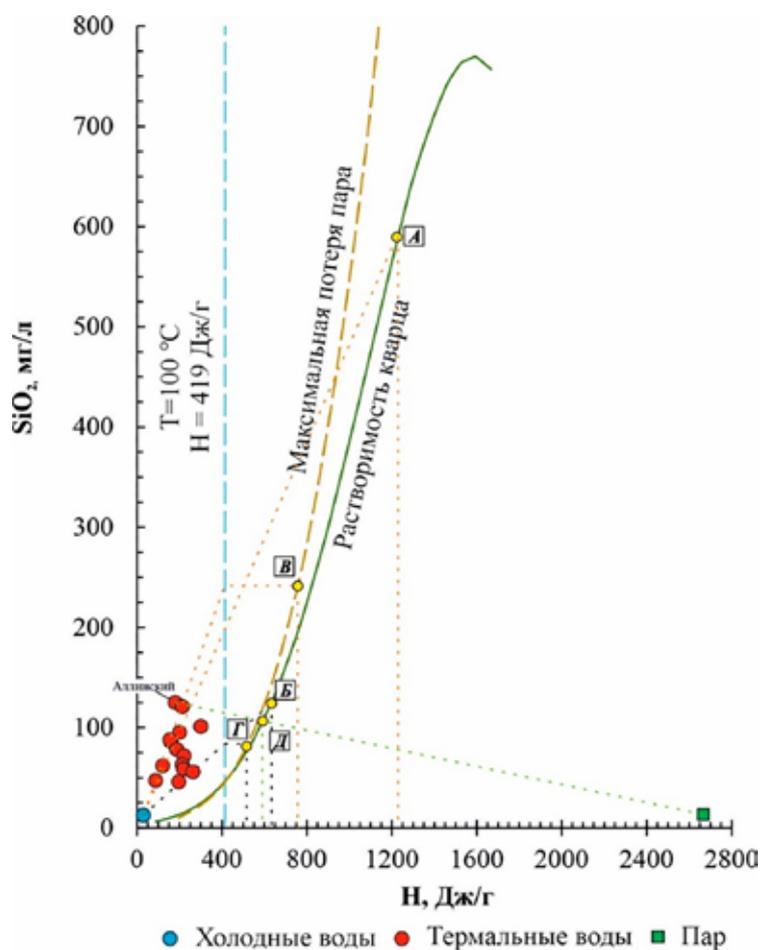


Рис. 3. Расположение фигуративных точек азотных термальных вод Республики Бурятия на модели смешения Si-энтальпия

Расположенные точки ниже линии 0-А на рис. 3 свидетельствуют о смещении большинства термальных вод исследуемого региона с холодными водами и, в этой связи, об изменении температуры терм по мере движения к местам разгрузки. Следует рассмотреть две ситуации, когда кипение не произошло или произошло до момента смещения термальных вод с холодными. В первом случае (точки А и Б на рис. 3) температура терм на глубине составляет от 152 до 283, во втором (точки В и Г на рис. 3) температура терм изменяется от 122 до 177°C. Следует отметить Аллинский источник, отклоняющийся от общей тенденции и характеризующийся отсутствием смещения с холодными водами, так как линия, проходящая через холодные воды и фигуративную точку Аллинский, не пересекает кривую растворимости кварца. Температура воды на глубине при этом составляет 141°C (точка Д).

Выводы

Таким образом, температура термальных вод Республики Бурятия при движении с глубины к местам разгрузки понижается вследствие смещения с холодными водами. Об этом свидетельствует расположение фигуративных точек терм на диаграмме Si-энтальпия. Полученные температуры терм на глубине, рассчитанные с помощью геотермометров, отличаются друг от друга. Однако для оценки геотермального режима исследуемых вод следует отдавать предпочтение Si-геотермометрам, поскольку полученные с помощью них результаты хорошо коррелируют с результатами оценки по диаграмме смещения. Что касается Na/K-геотермометров, то последние показали широкий диапазон температур, и большинство точек расположены в зоне «незрелых вод» на диаграмме Гиггенбаха. В этой связи температуры термальных вод Республики Бурятия на глубине циркуляции составляют от 122 до 177°C.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-1408.2022.1.5.

Список литературы

1. Плюссин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 5. С. 647-664.
2. Шварцев С.Л., Замана Л. В., Плюссин А. М., Токаренко О. Г. Равновесие азотных терм байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования // Геохимия. 2015. № 8. С. 720-733.
3. Zippa E., Plyusnin A., Shvartsev S. The chemical and isotopic compositions of thermal waters and gases in the Republic of Buryatia, Russia. E3S Web of Conference. 2019. V. 98. 6 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20199801055.
4. Зиппа Е.В. Оценка температур циркуляции термальных вод Республики Бурятия // Геология на окраине континента: материалы II молодежной научной конференции школы ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток, 12-16 сентября 2022 г.) Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2022. С. 181-185.
5. Bragin I.V., Zippa E.V., Chelnokov G.A., Kharitonova N.A. Estimation of the Deep Geothermal Reservoir Temperature of the Thermal Waters of the Active Continental Margin (Okhotsk Sea Coast, Far East of Asia). Water. 2021. V. 13. № 9. 15 p. DOI: 10.3390/w13091140.
6. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его оформления. М.: ГЕОС, 2012. 348 с.
7. Fournier R.O. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics. 1977. V. 5. P. 41-50.
8. Fournier R.O. A revised equation for the Na-K geothermometer. Geothermal Resource Council Transactions. 1979. V. 3. P. 221-224.
9. Nieva D., Nieva R. Developments in geothermal energy in Mexico, part 12. A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources. Heat Recovery Systems and CHP, 1987. V. 7. P. 243-258.
10. Ferronsky V.I., Polyakov V.A. Isotopes of the earth's hydrosphere. Springer, Berlin, 2012. 567 p. DOI: 10.1007/978-94-007-2856-1.
11. Pasvanoğlu S., Çelik M. A conceptual model for groundwater flow and geochemical evolution of thermal fluids at the Kızılcahamam geothermal area, Galatian volcanic Province. Geothermics, 2018. V. 71. P. 88-107. DOI: 10.1016/j.geothermics.2017.08.012.
12. Wang X., Wang G. L., Gan H. N., Liu Z., and Nan D. W. Hydrochemical characteristics and evolution of geothermal fluids in the Chabu high-temperature geothermal system, Southern Tibet. Geofluids, 2018. 15 p. DOI: 10.1155/2018/8532840.
13. Alçiçek H., Bülbül A., Brogi A., Liotta D., Ruggieri G., Capezzuoli E., Meccheri M., Yavuzer I., Alçiçek M.C. Origin, evolution and geothermometry of the thermal waters in the Gölemezli Geothermal Field, Denizli Basin (SW Anatolia, Turkey). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2018. V. 349. P. 1-30. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.07.021.

УДК 911:631.445.4

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ ПОЧВ
ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ****Кайгородов Р.В.***Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук,
Тобольск, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

Почвенный покров является одним из важнейших регуляторов биогеохимической миграции минеральных элементов в биосфере в целом и в пределах локальных ландшафтов в частности. Содержание микроэлементов в почвенном покрове существенным образом определяет их агроэкологическое состояние, влияет на обеспеченность растений минеральными веществами, а также регулирует активность микроорганизмов в почве. Изменение химического состава по профилю почвы хорошо изучено для кремния, алюминия, марганца, железа и калия. В нашей работе исследована дифференциация микроэлементов и тяжелых металлов в профилях некоторых типов почв южной части Тюменской области. В генетических горизонтах почв изучено валовое содержание элементов меди, цинка, никеля, хрома, железа, свинца и кадмия. Исследованные типы почв располагались на разных элементах рельефа. На водораздельных участках изучены подзол типичный и дерново-подзолистая типичная почва, на надпойменных террасах – темно-серая типичная и дерново-темногумусовая почвы, в поймах – аллювиальная серогумусовая почва с погребенным гумусовым горизонтом и аллювиальная гумусовая глееватая почва. Содержание металлов в почвах определяли методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе «Perkin Elmer 7000 DV». Валовое содержание определяли после разложения почвы в системе СВЧ-пробоподготовки в смеси концентрированных азотной и соляной кислот в присутствии перекиси водорода. Установлены закономерности миграции микроэлементов и тяжелых металлов в профилях в зависимости от типа почвообразования, свойств горизонтов (содержание гумуса, гранулометрический состав) и расположения почв в рельефе.

Ключевые слова: микроэлементы, тяжелые металлы, профильная дифференциация почвы, тип почвообразования, гранулометрический состав, органическое вещество, тип рельефа

**DIFFERENTIATION OF TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS
IN THE GENETIC PROFILES OF SOILS IN THE SOUTH
OF THE TYUMEN REGION****Kaygorodov R.V.***Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk,
e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

Soil cover is one of the most important regulators of biogeochemical migration of mineral elements in the biosphere in general and within local landscapes in particular. The content of trace elements in the soil cover significantly determines their agroecological condition, affects the availability of plants with minerals, and also affects the activity of microorganisms in the soil. Changes in the chemical composition of the soil profile have been well studied for silicon, aluminum, manganese, iron and potassium. In our work, the differentiation of trace elements and heavy metals in the profiles of some types of soils in the southern part of the Tyumen region is investigated. The gross content of elements of copper, zinc, nickel, chromium, iron, lead and cadmium has been studied in the genetic horizons of soils. The studied types of soils were located on different elements of the relief. Typical podzol and sod-podzolic typical soil were studied in watershed areas, dark gray typical and sod-dark humus soils were studied on floodplains, alluvial gray humus soil with a buried humus horizon and alluvial humus gleevate soil in floodplains. The metal content in the soils was determined by optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma on the Optima 5500 Perkin Elmer device. The gross content was determined after the decomposition of the soil in the microwave sample preparation system in a mixture of concentrated nitric and hydrochloric acids in the presence of hydrogen peroxide. The regularities of migration of trace elements and heavy metals in the profiles are established depending on the type of soil formation, the properties of horizons (humus content, granulometric composition) and the location of soils in the relief.

Keywords: trace elements, heavy metals, soil profile, type of soil formation, particle size distribution, organic substance, type of relief

В почвенном покрове происходит взаимодействие большого геологического и малого биологического круговоротов веществ, которое проявляется в соотношении процессов выноса и аккумуляции веществ в почвенном профиле. Совокупность явлений миграции, накопления и трансформации веществ и энергии в почвенном покрове определяет тип почвообразования. Дифференциация веществ в педосфере зависит

от многообразных природных и антропогенных факторов. Миграция веществ определяется их геохимическими свойствами, движением миграционных потоков по склону и внутри профиля почвы, образованием минеральных и органо-минеральных комплексов разной растворимости и доступности для живых организмов [1].

Динамика минерального состава в генетических профилях почв с разным типом

почвообразования изучена главным образом в отношении макроэлементов Si, Fe, Al, Mn, точнее их полуторных оксидов. Выявлены закономерности изменений валового химического состава этих элементов в зависимости от особенностей почвообразовательных процессов, затрагивающих минеральную часть почвы: элювиальный процесс, элювиально-иллювиальная дифференциация профиля, выщелачивание, лессиваж и др. [2]. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в основном изучается в генетических профилях почв, много значащих в урбанизированных и сельскохозяйственных экосистемах. Большая часть исследований направлена на оценку урвневой накопления токсичных элементов для установления степени загрязнения той или иной экосистемы [3–6].

Ряд работ направлен на исследование эколого-геохимических закономерностей распределения металлов в профилях отдельных типов почв или почвенного покрова отдельных регионов России [7, 8].

Разнообразие типов почв, многообразие внешних и внутрипочвенных условий миграции химических элементов обуславливают необходимость дальнейших исследований факторов и закономерностей распределения микроэлементов и тяжелых металлов в профилях естественных и антропогенно-нарушенных почв, а также в слоях искусственных техногенных поверхностных образований (ТПО), для прогноза геохимической обстановки в почвенном покрове.

В настоящей работе исследованы закономерности распределения некоторых микроэлементов (Cu, Zn, Ni, Cr) и тяжелых металлов (Pb, Cd) в генетических профилях разных типов почв юга Тюменской области. Характер миграции исследуемых металлов сравнивался нами с распределением железа (Fe) в профилях почв, поскольку закономерности миграции этого металла в почвах разного типа хорошо изучены [1, 2]. Основные задачи: установить связь между расположением почвы в разных типах ландшафта с дифференциацией металлов в профиле, проанализировать влияние гумуса и гранулометрического состава почв на распределение металлов по генетическим горизонтам, оценить характер ведущего почвообразовательного процесса на содержание металлов в отдельных горизонтах почв.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использованы образцы почв, отобранные из генетических горизонтов почвенных разрезов,

расположенных в разных типах рельефа в Вагайском и Тобольском районах Тюменской области. Исследованные почвенные объекты рассматриваются нами как фоновые, поскольку места закладки разрезов располагались на большом удалении от крупных населенных пунктов, на участках без видимых признаков антропогенного воздействия.

Полевое определение почв и номенклатуру проводили согласно «Классификации и диагностике почв России, 2004» [9]. Из каждого горизонта отбирали по три смешанных почвенных образца с трех стенок разреза. Гранулометрический состав образцов почвы проводили в полевых условиях органолептическим мокрым способом [10]. Содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО [11].

Содержание микроэлементов и тяжелых металлов определяли методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ОЭС ИСП) на приборе «Perkin Elmer 7000 DV» на базе Тобольской комплексной научной станции УрО РАН в химико-экологической лаборатории. В образцах почв анализировали валовое содержание элементов после мокрого озоления в системе СВЧ-пробоподготовки в смеси концентрированных соляной и азотной кислот в присутствии 30%-ной перекиси водорода.

Список исследованных типов почв, их расположение в рельефе, данные по гранулометрическому составу генетических горизонтов и содержанию гумуса в органо-генных горизонтах представлены в табл. 1.

Характеристика исследуемых территорий

Геологическое строение

Почвообразующие породы Тобольского материка представлены в основном различного возраста озерно-аллювиальными светло-бурыми или желто-бурыми средними и тяжелыми суглинками. В гранулометрическом составе высокое содержание крупной пыли, что сближает их с лёссовидными. Породы уплотнены, иногда плотны, нередко тонкопористы, имеют признаки былого и современного оглеения в виде ржаво-охристых и сизых пятен. На основной части материка они бескарбонатны, и только в восточной более приподнятой части ближе к границе Васюганской равнины обнаруживаются карбонаты. Вещественный состав обычен для озерно-аллювиальных отложений региона.

Таблица 1

Исследованные типы почв, расположение в рельефе,
гранулометрический состав и доля гумуса в органогенных горизонтах

Тип почвы	Горизонты, границы/мощность, см	Положение в рельефе	Гранулометрический состав	Доля гумуса, %
Подзол типичный	О – подстилочный 0-4/4	Высокая равнина (автоморфный)	Супесь	2–3
	ЕL – элювиальный 4–14/10		Легкий суглинок	–
	BEЛ – субэлювиальный 14-63/49		Супесь	–
	BT – текстурный 63-105/42		Средний суглинок	–
Дерново-подзолистая типичная	АО – Подстилочный 0-4/4	Высокая равнина (автоморфный)	Супесь	5–7
	АУ – Серогумусовый 4-17/13		Легкий суглинок	10–15
	ЕL – Элювиальный 17-24/7		Супесь	0,5–0,3
	BEЛ – Субэлювиальный 24-68/44		Средний суглинок	0,3–0,2
	BT – Текстурный 68-91/23		Средний суглинок	0,2–0,1
дерново-темно-гумусовая	АН – Перегнойно-темногумусовый 0-4/4	Надпойменная терраса (полугидроморфный)	Супесь	15–17
	АU – Темногумусовый 4-34/30		Легкий суглинок	10–12
	BEЛ – Субэлювиальный 34-94/60		Средний суглинок	0,5–1,1
Гумусово-квасилгеевая почва	АУ – Серо-гумусовый 0-2/2	Надпойменная терраса (полугидроморфный)	Супесь	10–15
	АU – Темногумусовый 2-28/26		Легкий суглинок	11–13
	Q – Квасилгеевый 28-42/14		Средний суглинок	0,5–0,7
	СQ – Переходный к породе 42-72/30		Средний суглинок	0,1–0,3
Аллювиальная гумусовая глееватая	АУ Серо-гумусовый 0–6/6	Пойма (гидроморфный)	Супесь	3 – 6
	С~g–аллювиальная порода оглеенная 6–140/134		Легкий суглинок	0,5–0,8
Аллювиальная гумусовая глеевая с погребенным гумусовым горизонтом	АУ – серогумусовый 0-4/4	Пойма (гидроморфный)	Супесчаный	9–11
	G – глеевый 4-37/33		Супесчаный	0,7–0,9
	G(hh) – погребенный гумусовый 37-50/13		Супесчаный	6–8
	Сg – аллювиальная порода оглеенная 50-94/44		Средний суглинок	0,5–0,8

На данной территории отмечают повышенное содержание Ti и Mn, а в некоторых разрезах и Al. Несколько своеобразны водно-физические свойства. Также характерна невысокая плотность твердой фазы пород, что говорит о малом содержании минералов тяжелых фракций и невысокая объемная масса, по-видимому, из-за высокого содержания крупной пыли и ее набухаемости в условиях повышенного увлажнения. Поэтому эти породы имеют низкую водопроницаемость, что способствует возникновению верховодки и длительному увлажнению профиля почв [12].

Почвенный покров

Структура почвенного покрова Тюменской области несложная. Более 60% занимают гидроморфные почвы, главным образом торфяно-болотные. Широко представлены аллювиальные почвы, особенно в поймах рек Тобол, Иртыш. Менее распространены дерново-глеевые, луговые, лугово-болотные, дерново- и торфянисто-подзолисто-глеевые.

Из автоморфных почв абсолютно преобладает тип подзолистых почв. Здесь более широко представлены дерново-подзолистые как обычные, так и со вторым гумусовым горизонтом. Большинство исследователей считают погребенный гумусовый горизонт реликтовым, сохранившимся от высокогумусированных гидроморфных или полугидроморфных почв, близких к современным лугово-черноземным. На это указывают в том числе данные радиоуглеродного датирования, определившие возраст второго гумусового горизонта около 7000 лет, в отличие от 1300 лет верхнего гумусового горизонта А [12].

**Результаты исследования
и их обсуждение**

***Распределение микроэлементов
и тяжелых металлов
в профилях текстурно-
дифференцированных почв***

Подзолистая и дерново-подзолистая почва относятся к зональным типам почв Тюменской области и располагаются на автоморфных участках рельефа. Оба типа почв характеризуются кислой реакцией почвенного раствора и низким содержанием гумуса. Для подзолистой почвы характерно наличие органогенного грубогумусового горизонта (O), состоящего из слабо разложившегося лесного опада растений. В профиле дерново-подзолистой почвы за счет дернового процесса формируется серогумусовый горизонт. Органогенные горизонты выступают важнейшими геохимическими барьерами, аккумулирующими микроэлементы и тяжелые металлы [6].

Как показывает анализ данных из табл. 2 и 3, подзолистая и дерново-подзолистая почвы, относящиеся к одному отделу текстурно-дифференцированных почв [9], проявляют общие закономерности в распределении металлов по профилям. Оба изученных разреза обладали сходным гранулометрическим составом, меняющимся от супесчаного до легкосуглинистого. Характерная для обоих типов почв миграция железа, связанная с элювиальным процессом, выраженная в переносе элемента вниз по профилю и обеднением элювиального горизонта (EL) [2], проявилась и в отношении ряда других металлов: меди и цинка.

Таблица 2

Валовое содержание металлов
в генетических горизонтах подзола типичного, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
O	0-4/4	2,1±0,1	1,9±0,2	0,3±0,01	193±26	0,1±0,02	5,4±0,2	0,2±0,03
EL	4-14/10	0,6±0,1	1,0±0,1	0,1±0,01	24±2	0,01±0,001	0,1±0,01	0,1±0,01
BEL	14-63/49	1,6±0,2	2,6±0,5	0,2±0,04	275±10	0,1±0,01	0,5±0,02	0,1±0,02
BT	63-105/42	0,9±0,1	3,1±0,1	0,2±0,02	318±10	0,1±0,02	0,1±0,01	0,1±0,01

Таблица 3

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах
дерново-подзолистой типичной почвы, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
АО	0-4/4	4,9±0,3	6,3±0,9	0,3±0,04	289±16	0,3±0,01	6,4±0,6	0,2±0,03
АУ	4-17/13	1,3±0,2	0,5±0,05	0,1±0,01	75,4±0,7	0,03±0,001	0,7±0,1	0,04±0,01
ЕЛ	17-24/7	0,4±0,05	0,2±0,02	0,03±0,01	24±2	0,02±0,004	0,3±0,02	0,02±0,004
ВЕЛ	24-68/44	1,1±0,2	0,4±0,05	0,2±0,01	109±2	0,1±0,01	1,5±0,1	0,05±0,004
ВТ	68-91/23	0,7±0,1	0,4±0,02	0,3±0,03	341±9	0,05±0,01	2±0,4	0,1±0,001

Таблица 4

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах
дерново-темногумусовой почвы, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
АН	0-4/4	7,4±0,4	9,0±0,3	1,4±0,1	237±3	0,5±0,01	8,4±0,7	0,7±0,04
АУ	4-34/30	5,9±0,5	5,9±0,8	0,9±0,1	211±2	0,3±0,03	1,5±0,2	0,3±0,06
ВЕЛ	34-94/60	1,5±0,2	0,9±0,1	0,7±0,06	273±6	0,2±0,04	0,7±0,08	0,07±0,01

Для большинства изученных металлов характерно повышенное накопление в верхних органогенных горизонтах, по сравнению с нижележащими минеральными генетическими горизонтами. Никель и хром распределялись по профилю относительно равномерно, однако также выносились из элювиального горизонта вниз по профилю.

**Распределение микроэлементов
и тяжелых металлов
в профилях органо-аккумулятивных
и гидротематоморфических почв**

Исследованные типы почв: дерново-темногумусовая и гумусово-квасиглеевая из отделов органо-аккумулятивных и гидротематоморфических почв соответственно, располагались в одинаковых полугидроморфных элементах рельефа в пределах надпойменных террас малых и средних рек и характеризовались относительно высоким содержанием гумуса в верхней части профиля (табл. 1). В связи с этим мы рассматриваем характер распределения металлов в профиле данных типов почв совместно.

Однако некоторые особенности распределения металлов в профилях дерново-темногумусовой и гумусово-квасиглеевой почв, связанные с различием почвообразовательных процессов, также рассмотрены ниже.

Характер распределения металлов по профилю коренным образом отличался от типов из отдела текстурно-дифференцированных, рассмотренных выше и выражается в повышенном содержании элементов в верхней органогенной части почвы и постепенном снижении их концентрации вниз по профилю (табл. 4 и 5).

Наличие субэлювиального горизонта (ВЕЛ), в котором наблюдалось повышенное содержание железа, свидетельствует о протекании элювиального процесса в профиле дерново-темногумусовой почвы.

Характерной особенностью распределения металлов в профиле гумусовой-квасиглеевой почвы (табл. 5) стало высокое содержание железа в квасиглеевом горизонте (Q), который в морфологическом плане отличался обилием ржавых пятен и примазок, появляющихся за счет накопления оксидов железа за счет глеевого процесса [2].

Таблица 5

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах гумусовой-квизиглеевой почвы, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-2/2	9,1±0,4	9,6±0,4	2,1±0,1	243±3	0,8±0,06	9,0±0,4	1,2±0,1
AU	2-28/26	7,2±0,5	2,7±0,3	1,4±0,1	129±6	0,3±0,06	2,7±0,4	0,7±0,06
Q	28-42/14	1,5±0,3	0,6±0,06	0,7±0,06	653±4	0,2±0,04	0,6±0,06	0,2±0,06
CQ	42-72/30	0,3±0,1	0,2±0,06	0,5±0,05	467±23	0,08±0,01	0,3±0,03	0,02±0,006

Таблица 6

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах аллювиальной гумусовой глееватой почвы, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-6/6	10,4±0,6	12,8±1,3	2,7±0,3	227±3	1,6±0,06	1,3±0,06	1,2±0,04
C~g	6-140/134	0,5±0,09	1,0±0,1	0,7±0,08	258±7	1,3±0,06	0,3±0,06	0,2±0,06

Таблица 7

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах аллювиальной темногумусовой глеевой почвы с погребенным гумусовым горизонтом, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-4/4	11,3±0,5	16,4±0,5	3,3±0,5	143±6	1,6±0,3	11,3±0,5	1,7±0,1
G	4-37/33	3,3±0,6	2,8±0,2	1,4±0,1	468±19	0,9±0,05	1,9±0,4	0,8±0,06
G(hh)	37-50/13	9,2±0,5	13,3±0,5	2,8±0,3	137±3	1,1±0,1	8,3±0,4	0,5±0,06
Cg	50-94/44	0,3±0,04	0,9±0,1	0,2±0,05	250±6	0,5±0,08	0,7±0,06	0,2±0,05

Распределение микроэлементов и тяжелых металлов в профилях аллювиальных почв

Отдел аллювиальные почвы входит в ствол синлитогенных почв, в профиле которых процессы почвообразования идут параллельно с процессами осадконакопления в аккумулятивных пойменных элементах рельефа. Аллювиальные гумусовые глееватые почвы формируются в средней части поймы в условиях периодического краткосрочного затопления под злаковыми и пойменными лесными растительными сообще-

ствами [9]. Аллювиальные темногумусовые глеевые почвы залегают в нижней части поймы и подвержены регулярному длительному затоплению в период паводков.

Расположение аллювиальной гумусовой глееватой почвы в аккумулятивном типе ландшафта (пойма) и высокая доля гумуса (до 10–15%) в серогумусовом горизонте (AУ) обусловило высокое содержание всех металлов в верхнем горизонте. Вниз по профилю в материнской породе (C~g), отбор образцов проводили в средней части горизонта, наблюдается резкое снижение

содержания всех металлов, за исключением железа и хрома. Оба элемента характеризовались относительно равномерным распределением в профиле.

Аллювиальная гумусовая глеевая почва с погребенным гумусовым горизонтом располагалась в пойме, т.е. занимала аккумулятивное гидроморфное положение в рельефе. Высокая доля гумуса в верхней части почвы, наряду с положением в аккумулятивном элементе рельефа, обусловила накопление металлов, мигрирующих с вышележащих элементов рельефа в серогумусовом горизонте (AY). Немаловажным источником поступления микроэлементов и тяжелых металлов в пойменные почвы выступают паводковые процессы, приносящие водные растворы и органо-минеральные осадки с больших водосборных территорий [2]. В глеевом горизонте (G) наблюдалось резкое снижение содержания всех металлов, за исключением железа, аккумуляция которого в этом слое связано с глеевым процессом и накоплением восстановленных форм железа. Наличие в профиле погребенного гумусового горизонта (Ghh) привело к повышению содержания металлов в средней части разреза. В материнской породе происходило резкое снижение содержания большинства металлов, что может свидетельствовать об их поступлении с поверхности за счет положения в аккумулятивном типе рельефа, а не из материнской породы. Содержание железа в оглеенной материнской породе вновь повышается относительно вышележащего горизонта, что также обусловлено протеканием глеевых процессов.

В табл. 8 приведены некоторые эколого-геохимические характеристики и показатели исследуемых элементов.

Таблица 8

Эколого-геохимические характеристики
исследованных металлов [5, 6]

Элемент	Кларк литосферы, мг/кг	Кларк почвы, мг/кг	ПДК, мг/кг
Cu	47	20	55
Zn	83	50	150
Ni	58	40	100
Cr	83	200	–
Pb	16	20	30
Cd	0,1	0,3–0,5	5

Сопоставление кларков литосферы и почвы для изученных металлов в образцах

с максимальным содержанием (содержание ниже кларков) в исследованных типах почв показало рассеивание большинства металлов в генетических горизонтах, даже в почвах аккумулятивных пойменных ландшафтов. Вероятно, это связано с легким гранулометрическим составом исследованных почв. Содержание кадмия в органогенных и некоторых минеральных горизонтах почв, расположенных в полугидроморфных и гидроморфных элементах рельефа, было выше кларка литосферы и в некоторых случаях выше кларка почв, что свидетельствует о биогеохимической аккумуляции кадмия. Превышение ПДК для всех изученных элементов не установлено.

Заключение

Выявлены закономерности распределения микроэлементов и тяжелых металлов в профиле разных типов почв. Отдельные элементы проявляют специфические особенности в дифференциации в профиле. Хром характеризуется относительно равномерным распределением по генетическим горизонтам изученных почв. Дифференциация цинка, меди и свинца в профилях почв существенным образом связана с долей гумуса. Распределение кадмия зависит главным образом от положения почвы в рельефе, при этом его содержание повышается от элювиальных ландшафтов к аккумулятивным.

Исследованные почвы обладали сходным легким гранулометрическим составом, в связи с чем этот фактор миграции и иммобилизации металлов не оказывал существенного влияния на различия в дифференциации исследованных элементов в профилях почв.

Миграция железа в профилях исследованных почв существенным образом связана с протекающими почвообразовательными процессами, что соответствует классическим почвенным исследованиям. В ходе подзолистого процесса и элювиально-иллювиальной дифференциации профиля наблюдается вынос железа из элювиальных горизонтов и его накопление в субэлювиальных и текстурных горизонтах подзолистой и дерново-подзолистой почв. Аналогичные железу закономерности в текстурно-дифференцированных почвах проявляют медь и цинк. В почвах с выраженными глеевыми процессами высокое содержание железа характерно для глеевых горизонтов. Для никеля, свинца и кадмия установлено постепенное снижение содержания от верх-

ней к нижней части профиля почв из отделов органо-аккумулятивных, гидроморфических и аллювиальных.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы «Региональные особенности пространственно-временной дифференциации почв юга Тюменской области» (FUUM-2022-0005).

Список литературы

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебное пособие для геогр., биол., геолог., сельхоз. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
2. Щеглов Д.И. Процессы почвообразования: учебное пособие. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 58 с.
3. Михальчук Н.В. Тяжелые металлы и микроэлементы в фоновых почвах и агроландшафтах юго-запада Беларуси // Агроэкологический журнал. 2017. № 3. С. 27–31.
4. Персикова Т.Ф., Мыслыва Т.Н., Царева М.В. Распределение микроэлементов по профилю дерново-подзолистой почвы при использовании куриного помета в качестве удобрения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 158–162.
5. Синдирева А.В., Котченко С.Г., Елизаров О.И. Экологическая оценка содержания меди в почвенном покрове на юге Тюменской области // Вестник НВГУ. 2022. № 1 (57). С. 82–90. DOI: 10.36906/2311-4444/22-1/09.
6. Щеглов Д.И., Горбунова Н.С., Семенова Л.А., Хатунцева О.А. Микроэлементы в почвах сопряженных ландшафтов Каменной степи различной степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 3. С. 282–290. DOI: 10.7868/S0032180X1303009X.
7. Панасин В.И., Депутатов К.В., Рымаренко Д.А. Эколого-геохимические особенности распределения микроэлементов в почвах Калининградской области // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 3. С. 3–7. DOI: 10.26178/AE.2019.49.39.001.
8. Архипов И.А. Закономерности пространственного и внутрипрофильного распределения микроэлементов (ванадия и никеля) в почвах бассейна реки Катунь // Русское географическое общество. Алтайское отделение. Известия Алтайского отделения Русского географического общества. Барнаул, 2013. Вып. 34. С. 113–117.
9. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв: учебно-методическое пособие / Сост. В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. Краснодар: КубГАУ, 2016. 65 с.
11. Определение количественных и качественных характеристик гумуса различными методами и интерпретация полученных результатов. Методические указания / Сост. Е.В. Каллас, А.С. Новикова, Т.О. Валевиц. Томск. Изд-во ТГУ, 2020. 60 с.
12. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 286 с.

УДК 614.751-026.86(571.17)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВЫ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ)

¹Осипова Н.А., ²Филимоненко Е.А., ¹Язык Е.Г.

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: osipova@tpu.ru;

²Институт экологической и сельскохозяйственной биологии ТюмГУ, Тюмень,
e-mail: filimonenkoea@mail.ru

В работе выполнена оценка риска хронического токсического и канцерогенного воздействия элементов почв на здоровье населения для части территории небольшого промышленного города Юга Кузбасса. В почвах, отобранных на территории небольшого промышленного города Юга Кузбасса (угледобывающий регион), определено содержание 73 элементов в 10 пробах и 29 элементов в 30 пробах методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС ИСП) и инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), соответственно. Установлена геохимическая специализация почв, проявляющаяся в формировании положительных геохимических аномалий со средними коэффициентами концентрации до 26,1–1,9 единиц по содержанию Zn, Pb, Cd, Hg, Cu, Mn, Ti, Sb, As, Ge, Hf, Yb, U. Рассчитан суммарный показатель загрязнения (СПЗ), характеризующий эффект воздействия группы элементов (13 – 201 единиц, при среднем значении 64). Экологические риски здоровью населения от воздействия загрязненных почв (учтены 9 элементов почв по данным ИНАА, 26 элементов по данным МС ИСП) оценены с учетом перорального, ингаляционного и кожного путей поступления и использованием стандартных факторов экспозиции. Канцерогенные и неканцерогенные риски не превышают значения, принятые в качестве приемлемых. Сопоставление геохимических и эколого-гигиенических характеристик почв указывает на необходимость учета эколого-геохимических особенностей территории при интерпретации результатов оценки рисков.

Ключевые слова: канцерогенный и неканцерогенный риск, суммарный показатель загрязнения, техногенные почвы, геохимические аномалии

THE EFFECTS OF HEAVY METALS IN SOILS AS A RISK FACTOR FOR THE HEALTH OF THE POPULATION (CASE-STUDY OF COAL-MINING AREAS)

Osipova N.A., Filimonenko E.A., Yazikov E.G.

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: osipova@tpu.ru

²Institute of Ecological and Agricultural Biology of Tyumen State University, Tyumen,
e-mail: filimonenkoea@mail.ru

The risk assessment of chronic toxic and carcinogenic effects of soil elements on human health for part of the territory of a small industrial city of the South of Kuzbass are performed. Contents of 73 elements in 10 samples and 29 elements in 30 samples taken on the territory of the city in the coal mining region were determined in soils by inductively coupled plasma mass spectrometry (MS ICP) and instrumental neutron activation analysis (INAA). Geochemical specialization of the soils was established and it showed itself by the formation of positive geochemical anomalies with average concentration factors to 26.1- 1.9 units with respect to contents of Zn, Pb, Cd, Hg, Cu, Mn, Ti, Sb, As, Ge, Hf, Yb and U. The total pollution index characterizing the effect of a group of elements (13 – 201 units, with an average value of 64) was calculated. Ecological risks to public health caused by the impact of contaminated soils (9 soil elements were taken into account according to INAA, 26 elements according to MS ICP data) were assessed taking into account dermal, inhalation and ingestion routes of entering and using standard exposure factors. Cancerogenic and noncarcinogenic risks do not exceed the acceptable values. Comparison of geochemical and ecological-hygienic characteristics of soils makes it necessary taking ecological and geochemical features of the territory into account when interpreting the results of risk assessment.

Keywords: carcinogenic and non-carcinogenic risk, total pollution index, technogenic soils, geochemical anomalies

Опыт практических исследований в области многосредовой оценки риска для здоровья населения для ряда городов и регионов в России широко представлен в ряде публикаций, в том числе последних лет, (г. Уфа, г. Челябинск, г. Самара, и др.) [1-3]. Методологической основой подобных расчетов служат общепризнанные и востребованные отечественные руководства [4-5], нормативные документы Агентства по защите окружающей среды США [6].

Исследователи по-разному оценивают вклад риска от воздействия веществ почв, однако есть подтверждения, что в некоторых случаях, например, в сельских поселениях, в отличие от городских [7], этот вклад может быть весомым. В зонах застройки на территориях отработанных угольных шахт Китая фиксируются значительные концентрации Mn и Ni в подвижных мобильных формах, формирующие риски здоровью, а никель в экстрагируемой подвижной форме обу-

славливает канцерогенный риск для детей выше предельно допустимого уровня [8].

На основе анализа риска воздействия загрязненных почв оцениваются ущербы при эколого-экономической оценке территорий [9], конкретизируются диапазоны приемлемого содержания загрязнителей в почвах при нормировании их качества [10].

Оценка опасности загрязненных почв для человека выполнена в исследованиях загрязнения местообитания тяжелыми металлами, происходящих как от специфических источников (в металлоиндустрии [11-13], от горнодобывающих предприятий и коксовых заводов Китая [14-15], медно-молибденового комбината в Армении [16]), так и для территорий городов с развитой промышленностью [17]).

Цель исследования – оценка риска токсического воздействия почв выполнена для части территории небольшого промышленного города Юга Кузбасса. Выбранный для исследования регион испытывает сочетанное воздействие нескольких факторов антропогенного характера, характерных как для всех урбанизированных территорий (промышленность, ТЭК, автотранспорт), так и специфических (развитая угледобывающая промышленность [18]). Ландшафтно-климатические особенности местности препятствуют активному рассеянию загрязняющих веществ.

Материал и методы исследования

Отбор проб почв из приповерхностного горизонта (0-10 см) на территории г. Междуреченск

производился в 30 точках, равномерно распределённых по селитебной зоне города (рис. 1) согласно методическим рекомендациям по отбору проб почв [19].

Аналитические работы по определению содержания химических элементов в почвах г. Междуреченск проведены в лабораториях Инженерной школы природных ресурсов ТПУ с использованием методов инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП). Методом ИНАА установлены содержания 28 химических элементов в 30 образцах почв (840 элементо-определений), методом МС-ИСП – 73 химических элемента в 10 образцах почв (730 элементо-определений).

На начальном этапе математико-статистического анализа результатов исследований почв г. Междуреченска концентрации химических элементов, которые по данным лабораторно-аналитических измерений характеризуются значениями меньшими, чем аналитический предел обнаружения, были заменены на $\frac{1}{2}$ соответствующего предела. Для каждого рассматриваемого химического элемента в составе почв была проверена принадлежность его максимального содержания к анализируемой выборке. В случае установления ураганных (аномально высоких) концентраций химических элементов в почвах они были заменены на содержания, отвечающие требованиям их принадлежности к анализируемой выборке.

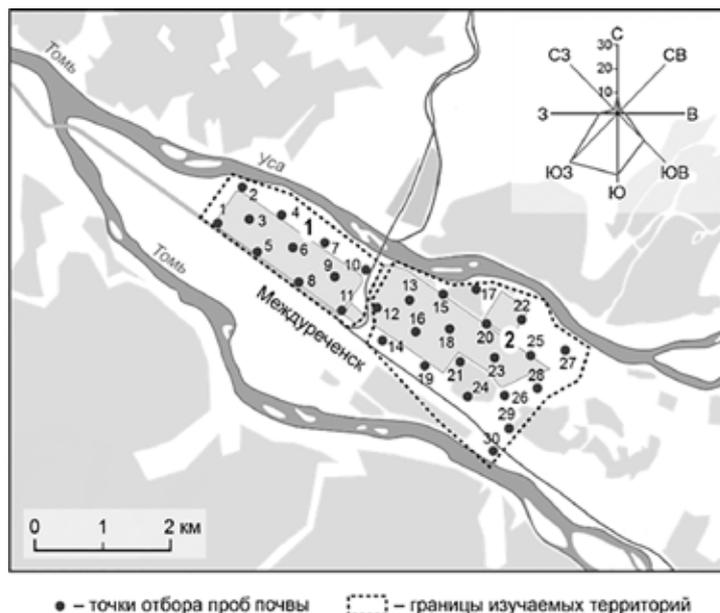


Рис. 1. Карта-схема размещения точек отбора проб почв на территории г. Междуреченска

Показателем уровня аномальности содержания химических элементов в почвах является кларк концентрации, который рассчитывался как отношение содержания химического элемента в почве к его кларку в верхней части континентальной земной коры [20]:

$$KK_{\text{зк.п}} = C_{\text{п}} / K_{\text{зк}}$$

где $C_{\text{п}}$ – концентрация химического элемента в почве, мг/кг;

$K_{\text{зк}}$ – кларк верхней части континентальной земной коры, мг/кг [20].

На основе расчетов кларков концентраций химических элементов производился расчет суммарного показателя загрязнения, характеризующего эффект воздействия группы химических элементов [21]:

$$Z_{\text{с.зк.п}} = \sum KK_{\text{зк.п}} - (n - 1),$$

где $KK_{\text{зк.п}}$ – кларк концентрации химического элемента в почве, рассчитанный относительно кларка верхней части континентальной земной коры;

n – число химических элементов, учитываемых в расчетах при выполнении условия $KK_{\text{зк.п}} > 1$.

Оценка риска воздействия тяжелых металлов, обнаруженных в поверхностном слое почв (10 проб) выполнена для 26 элементов из 73, концентрации которых определены методом МС ИСП – Be, Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Ce, W, Hg, Tl, Pb; а также для элементов, обнаруженных в поверхностном слое почв по более детальной схеме опробования (30 проб) методом ИНАА (расчет для 9 элементов Cr, Fe, Co, Zn, As, Ag, Sb, Ba, Ce из 28). Критерием отбора этих элементов послужило наличие токсикологической информации, сведений о референтных концентрациях при пероральном, ингаляционном, кожном поступлении.

Стандартные факторы экспозиции, используемые при расчете дозы, и их вариабельность при анализе неопределенности, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Стандартные факторы экспозиции, используемые при расчете дозы, и их вариабельность при анализе неопределенности

Фактор экспозиции и его характеристика	Обозначение	Единицы измерения	Значение	Тип распределения**	Вариабельность** или доверительный интервал значений [22]
Фактор эмиссии пылевых частиц	PEF	-	1,36*10 ⁹		
Объем поступающего воздуха в сутки в организм взрослого человека	R _{инг}	м ³ /день	20		
Суточное пероральное поступление почвы в организм взрослого человека	V	мг/день	100		
Площадь кожи, подвергшейся воздействию	SA	см ²	5700		
Фактор адгезии	SL	мг/см ² сут.	0,07		
Фактор кожной адсорбции	ABS	-	0,001		
Частота воздействия	EF	дней/год	350	Триангулярное	180-365
Продолжительность воздействия	ED	лет	30	Логнормальное	19-43
Масса тела взрослого человека	BW	кг	70	Логнормальное	55-80
Период осреднения экспозиции	AT	лет	30 (70*)	Точечное	30 (70*)
Концентрация элемента в почве	C _{эл}	мг/кг	C _{эл}	Нормальное	C _{эл} ±SD

SD – стандартное отклонение;

* – значение для канцерогенов

** – тип распределения и вариабельность значений указаны для тех факторов экспозиции, которые используются в анализе неопределенностей

Для оценки неканцерогенных рисков применены пороговые модели, основанные на использовании референтных концентраций. Данная модель, в отличие от линейно-экспоненциальных, не зависит от такой характеристики загрязняющего вещества, как класс опасности, и реализуется с помощью коэффициента опасности. Индекс опасности HI является суммой коэффициентов опасности по отдельным элементам и по различным путям поступления.

$$\begin{aligned} HI_{\text{общ}} &= HI_{\text{инг}} + HI_{\text{дерм}} + HI_{\text{пер}} \\ HI_{\text{инг}} &= \Sigma KO_{\text{инг}} \\ HI_{\text{дерм}} &= \Sigma KO_{\text{дерм}} \\ HI_{\text{пер}} &= \Sigma KO_{\text{пер}} \end{aligned}$$

Суммарный индекс опасности по каждому элементу рассчитывается как сумма коэффициентов опасности перорального ($KO_{\text{пер}}$), ингаляционного ($KO_{\text{инг}}$) и дермального воздействия ($KO_{\text{дерм}}$) воздействия для каждого элемента:

$$KO = KO_{\text{пер}} + KO_{\text{инг}} + KO_{\text{дерм}}$$

Коэффициент опасности перорального воздействия $KO_{\text{пер}}$ оценивался как отношение среднесуточной дозы ($LADD_{\text{пер}}$) к референтной дозе при пероральном поступлении ($RfD_{\text{пер}}$):

$$KO_{\text{пер}} = LADD_{\text{пер}} / RfD_{\text{пер}}$$

Среднесуточная доза при пероральном поступлении ($LADD_{\text{пер}}$) каждого элемента вместе с почвой рассчитывалась:

$$LADD_{\text{пер}} = \frac{C_{\text{эл}} \times V \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365} \times 10^{-6}$$

где $LADD_{\text{пер}}$ – среднесуточная доза при пероральном поступлении в течение жизни для неканцерогенного воздействия, мг/(кг × сутки);

Коэффициент опасности кожного воздействия $KO_{\text{дерм}}$ оценивался как отношение среднесуточной дозы к референтной дозе при поступлении через кожу ($RfD_{\text{дерм}}$):

$$KO_{\text{дерм}} = LADD_{\text{дерм}} / RfD_{\text{дерм}}$$

Среднесуточная доза при поступлении каждого элемента вместе с почвой через кожу $LADD_{\text{дерм}}$, мг/(кг × сутки), рассчитывалась:

$$LADD_{\text{дерм}} = \frac{C_{\text{эл}} \times SA \times SL \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6}$$

Коэффициент опасности ингаляционного хронического воздействия $KO_{\text{инг}}$ рассчитывался, в первом случае, как отношение

среднесуточной дозы $LADD_{\text{инг}}$ к референтной дозе при ингаляционном поступлении ($RfD_{\text{инг}}$):

$$KO_{\text{инг(1)}} = LADD_{\text{инг(1)}} / RfD_{\text{инг}}$$

Среднесуточная доза при ингаляционном поступлении каждого элемента вместе с почвой рассчитывалась:

$$LADD_{\text{инг(1)}} = \frac{C_{\text{эл}} \times R_{\text{инг}} \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT \times 365}$$

По второму способу концентрации элементов в почве ($C_{\text{эл}}$) были пересчитаны на их концентрации во вдыхаемом воздухе ($C_{\text{инг}}$), с использованием модели переноса загрязнителя из почвы во вдыхаемый воздух (расчет переноса загрязнителей из почвы в атмосферный воздух, как среды, непосредственно контактирующей с человеком) [23], предлагаемой в программном комплексе «Risk Assistant» [24] и реализуемой, например, в [12]:

$$C_{\text{инг}} = C_{\text{пыли}} \cdot R \cdot f \cdot C_{\text{эл}}$$

где $C_{\text{пыли}} = 7.5 \cdot 10^{-6}$ мг/м³

R – вдыхаемая фракция пыли, 73% = 0,73

f – загрязненная часть пыли, 1% = 0,01

Коэффициент опасности ингаляционного воздействия $KO_{\text{инг}}$ оценивался как отношение ингаляционной концентрации ($C_{\text{инг}}$) к референтной концентрации при ингаляционном хроническом воздействии ($RfC_{\text{инг}}$):

$$KO_{\text{инг(II)}} = C_{\text{инг}} / RfC_{\text{инг}}$$

Канцерогенный риск рассчитывался:

$$R_{\text{инд.канц}} = LADD_{\text{(пер)}} \times SF$$

где SF – фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг × сут.)⁻¹.

Факторы экспозиции, входящие во все расчетные формулы, по смыслу являются неопределенными и имеют доверительный интервал значений, в пределах которого эти параметры могут варьироваться [25]. При анализе неопределенностей в расчетах среднесуточных доз канцерогенов методом Монте-Карло, основанном на генерации случайных чисел [26-27], рассчитывалась вероятность (P) реализации доз, при которых канцерогенный риск превышает приемлемый уровень.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты аналитических определений химических элементов в почвах г. Междуреченск методами ИНАА и МС-ИСП имеют высокую степень сходимости для содержания Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Rb, Sr, Ag, Ba, Ta.

Статистически значимые различия между аналитическими результатами двух ИНАА и МС-ИСП установлены для средних концентраций Na, Ca, As, Eu, Tb, Lu, а высоко значимые различия – для Br, Sb, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Yb, Hf, Au, Th, U (рисунок 2). Для перечисленных элементов, исключая Br, As, Cs и Sc, содержания в почвах г. Междуреченск, определённые по данным ИНАА, характеризуются более высокими значениями. Это, вероятно, обусловлено различиями в методиках подготовки образцов к аналитическим исследованиям: разложение проб для определения по методу МС-ИСП и отсутствие химической подготовки для определения по методу ИНАА. При этом в процедуре оценки риска не учитываются те элементы, для которых различия существенны – Cs, La, Ce, Nd, Sm, Yb, Hf, Au, Th, U. Из тех элементов, которые учитываются в расчетах риска – статистически значимые различия есть для As, Br, Sb.

Уровни содержания большинства рассматриваемых химических элементов в почвах г. Междуреченск ниже или соответствуют средним концентрациям элементов в верхней части континентальной земной коры [20]. Содержания некоторых тяжелых металлов (Zn, Pb, Cd, Hg, Cu, Mn, Ti), полуметаллов (Sb, As, Ge), редких и редкоземельных (Hf, Yb), радиоактивных (U) элементов в почвах г. Междуреченска формируют положительные геохимические аномалии со средними коэффициентами концентрации до 26,1–1,9 единиц.

Количественной мерой выявленной геохимической специализации почв является

суммарный показатель загрязнения, характеризующий эффект воздействия группы элементов [21]. Значения данного показателя для почв г. Междуреченск изменяются от 13 до 201 единиц, при среднем значении 64, которое соответствует высокой степени загрязнения территории и опасному уровню заболеваемости населения согласно [21].

Элементный состав почв г. Междуреченск сформировался в результате совместного влияния таких факторов, как строительство города на насыпных грунтах и многолетнее загрязнение почв. Для засыпки болотистой местности и строительства объектов промышленного и гражданского назначения в г. Междуреченск были использованы вскрышные породы с близ расположенных угольных разрезов. Наибольшие концентрации Cu, V, Cr, Sn, Ni и Co во вскрышных породах угольных предприятий Кузбасса [28] соответствуют средним концентрациям в верхней части континентальной земной коры [20]. Тогда как концентрации Hg, Sb, Mo, Pb, Cd, Mn, Zn во вскрышных породах до 1,8 – 20,8 раз превосходят указанный критериальный уровень, что находит прямое отражение в установленной геохимической специализации почв г. Междуреченск.

Накопление загрязняющих веществ в почвах происходит за счет депонирования поллютантов из атмосферного воздуха. При длительных сроках воздействия аэротехногенных источников концентрации элементов в почвогрунтах пропорциональны нагрузкам элементов, поступающих на подстилающие поверхности из атмосферы.

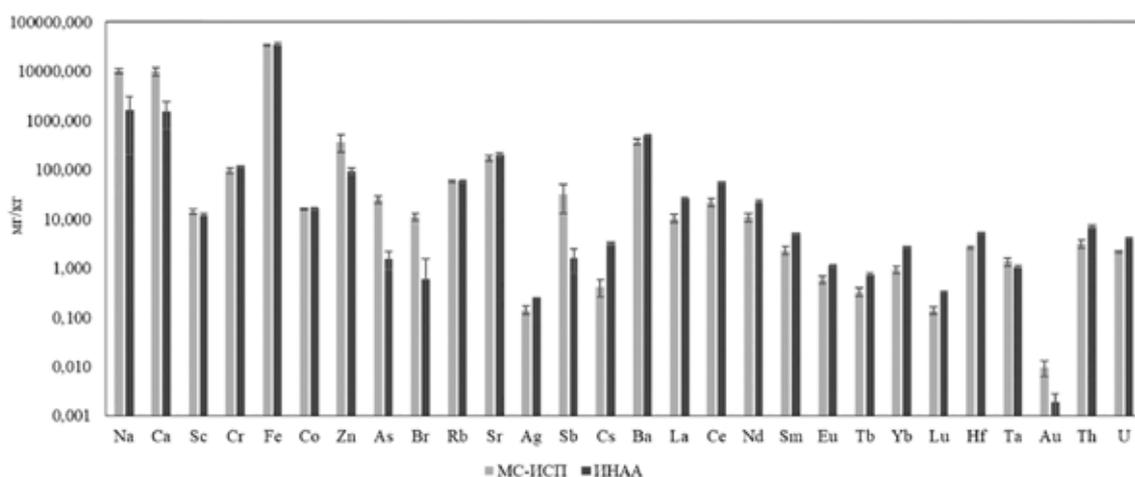


Рис. 2. Средние концентрации химических элементов в почвах г. Междуреченск по данным аналитических определений методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) и инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА)

Основными источниками, формирующими загрязнение атмосферного воздуха, являются промышленные объекты угледобычи и углепереработки, расположенные вокруг г. Междуреченск, а также многочисленные котельные, локализованные в пределах жилых зон города.

При добыче угля вблизи г. Междуреченск в атмосферный воздух выбрасывается значительное количество угольной пыли – 3300 тонн ежегодно [29]. По мере распространения аэротехногенных шлейфов от объектов по добыче и переработке угля частицы угольной пыли осаждаются из воздуха на депонирующие природные среды. Таким образом, геохимические особенности загрязнения почв г. Междуреченск, формируемые под влиянием добычи угля, соответствуют геохимической специализации добываемых углей. Известно, что угли, добываемые на разрезах вблизи г. Междуреченск (Ольжерасский, Красногорский, Сибиргинский, Междуреченский), в 2 и более раз обогащены Mn, Nb, Be, Zr, Mo, Y, As, Sr, Ni, Pb, Cu, Li, Sn, Ti, Zn, P, Ba, Hf, Ga, Tb, V, Co, Lu, Ta, Sm, Eu относительно среднего состава каменных углей [30, 31]. Другим основным источником поступления химических элементов в почвы г. Междуреченск является депонирование пылевых выбросов местных угольных котельных. Вблизи теплоэлектростанции и локальных котельных, использующих кузбасские угли, атмосферные пылеаэрозоли в повышенных количествах содержат Hg, Zn, Ni, Mo, Co, Ba, Sr, Cd, As, Sb, Pb, V, U и Fe [32, 33].

В таблице 2 приведены рассчитанные значения всех показателей риска по результатам определения элементов методом МС ИСП, в таблице 3 – по результатам определения методом ИНАА.

По вкладу различных путей поступления в суммарное значение коэффициента опасности $KO_{пер.} (0,51) > KO_{дерм.} (0,05) > KO_{инг.} (0,0174)$; $HI = 0,57$.

Вклад ингаляционного пути поступления существенно возрастает при расчете ингаляционной составляющей с использованием модели переноса загрязнителя из почвы во вдыхаемый воздух, и этот путь поступления становится доминирующим, преобладающим в формировании неканцерогенного риска: $KO_{инг.} (1,72) > KO_{пер.} (0,51) > KO_{дерм.} (0,05)$. При этом значение общего коэффициента опасности превышает 1 ($HI = 2,3$), что соответствует опасному уровню риска.

Вклады ингаляционного, перорального и кожного путей поступления составляют,

соответственно, по результатам определения элементов методом МС ИСП, при первом (3,0; 89,1; 7,9%) и втором (76,0; 23,0; 6,0,%) способах расчета, и по данным метода ИНАА – 1,0; 94,0; 5,0; и (45,0; 52,0; 3,0,%) .

По уменьшению коэффициента опасности перорального воздействия элементы ($KO > 10^{-3}$) образуют следующий ряд: $KO_{пер.} Fe (0,15) > As (0,11) > Sb (0,11) > Al (0,04) > Cr (0,03) > Pb (0,02) > Mn (0,008) > V (0,007) > Ba (0,007) > Tl (0,006) > Cu (0,004) > Ni (0,003) > Zn (0,002) > Cd (0,001)$.

По уменьшению коэффициента опасности дермального воздействия ($KO > 10^{-3}$) элементы образуют следующий ряд: $KO_{дерм.} Sb (0,021) > Cr (0,009) > V (0,008) > Al (0,002) > Mn (0,002)$.

По уменьшению коэффициента опасности ингаляционного хронического воздействия ($KO > 10^{-3}$) элементы образуют следующий ряд при расчете по первому способу: $KO_{инг.} Mn (0,011) > Al (0,005)$; и по второму: $Mn (0,85) > Al (0,35) > Cu (0,15) > V (0,08) > Cr, As (0,05) > Co, Ni, Ba (0,04) > Zn (0,02)$.

Последний ряд представляет особый интерес, так как при этом подходе оцененный KO уровень опасности превышает 1. Заметим, однако, что оценки характеризуют лишь вклад почвенного загрязнения в суммарный риск при многосредовом воздействии веществ на человека.

При сохранении этих же пропорций по вкладу каждого элемента в ингаляционный риск, мы рассчитали ориентировочно приемлемые содержания этих элементов в почвах, при которых формируемый уровень неканцерогенного риска не будет превышать 1 ($KO_{инг.}$ менее или равно 1) (таблица 4).

Необходимо отметить, что в этот перечень входят лишь Zn, Cu, Mn, As, отмеченные выше среди 13 элементов с коэффициентами концентрации относительно кларка в земной коре 26,1–1,9 единиц, что еще раз подчеркивает необходимость сочетания геохимического и эколого-гигиенического подходов при оценке опасности почвенного загрязнения.

Если сравнить результаты по тем элементам, которые определяются обоими методами – Cr, Fe, Co, Zn, As, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Se, – то можно полагать, что при статистически значимых различиях в концентрациях ряда элементов наблюдаются сопоставимые значения на уровне оценки HI ($KO_{инг.} = 0,21$ и $0,22$, $KO_{пер.} = 0,24$ и $0,41$, $KO_{дерм.} = 0,014$ и $0,032$ (по идентичному перечню элементов)).

Таблица 2

Риски воздействия веществ почвы (по данным МС-ИСП)

Элемент	ингаляционное воздействие				пероральное воздействие			дермальное воздействие		НИ метод 1	НИ метод 2
	Метод 1		Метод 2		LADD per, мг/кг*день	КО per	LADD derm, мг/кг*день	КО derm			
	LADDинг, мг/кг*день	КО инг	С инг, мг/м ³	КО инг							
Be	$3,7 \cdot 10^{-10} \pm 2,3 \cdot 10^{-11}$	–	$1,0 \cdot 10^{-7} \pm 6,4 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-3} \pm 3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6} \pm 1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-3} \pm 1, \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8} \pm 6,4 \cdot 10^{-10}$	–	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	
Mg	$1,1 \cdot 10^{-8} \pm 1,7 \cdot 10^{-9}$	–	$3,0 \cdot 10^{-4} \pm 4,7 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-3} \pm 4,7 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-3} \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-4} \pm 1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5} \pm 4,7 \cdot 10^{-6}$	–	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	
Al	$6,5 \cdot 10^{-6} \pm 8,9 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-3} \pm 6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3} \pm 2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-1} \pm 4,8 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2} \pm 6,1 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-2} \pm 6,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4} \pm 2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-3} \pm 5,5 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$	
Ti	$7,9 \cdot 10^{-7} \pm 2,1 \cdot 10^{-8}$	–	$2,1 \cdot 10^{-4} \pm 5,8 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-3} \pm 1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-3} \pm 1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3} \pm 3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5} \pm 5,8 \cdot 10^{-7}$	–	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	
V	$2,1 \cdot 10^{-8} \pm 6,8 \cdot 10^{-10}$	–	$5,8 \cdot 10^{-6} \pm 1,9 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-2} \pm 2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \pm 4,6 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-3} \pm 2,4 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-7} \pm 1,9 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-3} \pm 2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$	
Cr	$1,9 \cdot 10^{-8} \pm 2,4 \cdot 10^{-9}$	$6,8 \cdot 10^{-4} \pm 8,5 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-6} \pm 6,6 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-2} \pm 6,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4} \pm 1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-2} \pm 3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-7} \pm 6,6 \cdot 10^{-8}$	$8,8 \cdot 10^{-3} \pm 2,8 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	
Mn	$1,6 \cdot 10^{-7} \pm 8,4 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-2} \pm 5,9 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-5} \pm 2,3 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-1} \pm 4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3} \pm 5,7 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-3} \pm 5,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-6} \pm 2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-3} \pm 7,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-1}$	
Fe	$6,7 \cdot 10^{-6} \pm 2,5 \cdot 10^{-7}$	–	$1,8 \cdot 10^{-3} \pm 6,7 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-2} \pm 1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-1} \pm 5,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4} \pm 6,7 \cdot 10^{-6}$	–	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	
Co	$3,2 \cdot 10^{-9} \pm 9,1 \cdot 10^{-11}$	$5,6 \cdot 10^{-4} \pm 1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-7} \pm 2,5 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-2} \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-5} \pm 6,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-3} \pm 3,1 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-8} \pm 2,5 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-6} \pm 1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	
Ni	$7,9 \cdot 10^{-9} \pm 3,2 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-7} \pm 1,6 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-6} \pm 8,8 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-2} \pm 1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-5} \pm 2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-7} \pm 8,8 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-5} \pm 1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$	
Cu	$1,1 \cdot 10^{-8} \pm 2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-7} \pm 6,2 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-6} \pm 6,8 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-1} \pm 3,4 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-5} \pm 1,7 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-3} \pm 9,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-7} \pm 6,8 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-5} \pm 7,8 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	
Zn	$7,4 \cdot 10^{-8} \pm 2,8 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-7} \pm 9,3 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-5} \pm 7,6 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-2} \pm 8,4 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4} \pm 1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3} \pm 6,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-6} \pm 7,6 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-5} \pm 1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	
Ga	$3,0 \cdot 10^{-9} \pm 6,4 \cdot 10^{-11}$	–	$8,2 \cdot 10^{-7} \pm 1,7 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-5} \pm 4,3 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5} \pm 4,3 \cdot 10^{-7}$	–	$8,1 \cdot 10^{-8} \pm 1,7 \cdot 10^{-9}$	–	–	$2,0 \cdot 10^{-5}$	
As	$5,1 \cdot 10^{-9} \pm 8,7 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^{-5} \pm 2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6} \pm 2,4 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-2} \pm 7,9 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-5} \pm 5,9 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-1} \pm 2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-7} \pm 2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-3} \pm 3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	
Se	$4,8 \cdot 10^{-10} \pm 1,0 \cdot 10^{-10}$	–	$1,3 \cdot 10^{-7} \pm 2,8 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-3} \pm 3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6} \pm 7,0 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-4} \pm 1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-8} \pm 2,8 \cdot 10^{-9}$	–	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	
Mo	$2,2 \cdot 10^{-10} \pm 7,5 \cdot 10^{-12}$	$4,4 \cdot 10^{-8} \pm 1,5 \cdot 10^{-9}$	$5,9 \cdot 10^{-8} \pm 2,0 \cdot 10^{-9}$	$4,9 \cdot 10^{-6} \pm 1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6} \pm 5,1 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-4} \pm 1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-9} \pm 2,0 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-6} \pm 9,8 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	
Ag	$2,9 \cdot 10^{-11} \pm 5,6 \cdot 10^{-12}$	$5,7 \cdot 10^{-9} \pm 1,1 \cdot 10^{-9}$	$7,7 \cdot 10^{-9} \pm 1,5 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-7} \pm 7,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7} \pm 3,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5} \pm 1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-10} \pm 1,5 \cdot 10^{-10}$	$8,6 \cdot 10^{-7} \pm 2,7 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	
Cd	$1,0 \cdot 10^{-10} \pm 2,5 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-7} \pm 2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8} \pm 6,7 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-3} \pm 3,3 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-7} \pm 1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-3} \pm 3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-9} \pm 6,7 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-4} \pm 8,7 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	
Sn	$5,7 \cdot 10^{-10} \pm 1,5 \cdot 10^{-10}$	–	$1,6 \cdot 10^{-7} \pm 4,1 \cdot 10^{-8}$	$7,8 \cdot 10^{-6} \pm 2,1 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6} \pm 8,0 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-8} \pm 4,1 \cdot 10^{-9}$	–	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	
Sb	$6,3 \cdot 10^{-9} \pm 3,7 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-5} \pm 9,3 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-3} \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-5} \pm 2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-1} \pm 6,3 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-7} \pm 1,0 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-2} \pm 6,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	
Ba	$7,4 \cdot 10^{-8} \pm 9,9 \cdot 10^{-9}$	$5,2 \cdot 10^{-4} \pm 6,9 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5} \pm 2,7 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-2} \pm 5,4 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4} \pm 6,7 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-3} \pm 9,6 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-6} \pm 2,7 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-4} \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	
Ce	$4,4 \cdot 10^{-9} \pm 8,3 \cdot 10^{-10}$	–	$1,2 \cdot 10^{-6} \pm 2,3 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-5} \pm 5,7 \cdot 10^{-6}$	–	$1,2 \cdot 10^{-7} \pm 2,3 \cdot 10^{-8}$	–	–	$6,0 \cdot 10^{-3}$	

Окончание табл. 2

Элемент	ингаляционное воздействие				пероральное воздействие			дермальное воздействие		НИ метод 1	НИ метод 2
	Метод 1		Метод 2		LADD пер, мг/кг*день	КО пер	LADD дерм, мг/кг*день	КО дерм			
	LADD инг, мг/кг*день	КО инг	С инг, нг/м ³	КО инг							
W	$2,6 \cdot 10^{-10} \pm 1,4 \cdot 10^{-11}$	–	$7,1 \cdot 10^{-8} \pm 3,9 \cdot 10^{-9}$	$7,1 \cdot 10^{-7} \pm 3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6} \pm 9,7 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-4} \pm 4,5 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-9} \pm 3,9 \cdot 10^{-10}$	–	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	
Hg	$2,1 \cdot 10^{-11} \pm 5,8 \cdot 10^{-12}$	$2,4 \cdot 10^{-7} \pm 6,8 \cdot 10^{-8}$	$5,7 \cdot 10^{-9} \pm 1,6 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-5} \pm 5,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-7} \pm 4,0 \cdot 10^{-8}$	$4,7 \cdot 10^{-4} \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-10} \pm 1,6 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-5} \pm 8,6 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	
Tl	$6,4 \cdot 10^{-11} \pm 4,9 \cdot 10^{-12}$	–	$1,7 \cdot 10^{-8} \pm 1,3 \cdot 10^{-9}$	$7,6 \cdot 10^{-5} \pm 5,8 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7} \pm 3,3 \cdot 10^{-8}$	$6,2 \cdot 10^{-3} \pm 7,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-9} \pm 1,3 \cdot 10^{-10}$	–	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	
Pb	$1,2 \cdot 10^{-8} \pm 4,6 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-6} \pm 1,3 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6} \pm 1,3 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-3} \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-5} \pm 3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-2} \pm 9,0 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-7} \pm 1,3 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-4} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	
Σ КО	–	$0,0172 \pm 0,0014$	–	$1,716 \pm 0,170$	–	$0,512 \pm 0,12$	–	$0,045 \pm 0,014$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	2,3	

Таблица 3

Риски воздействия веществ почвы (по данным ИНАА)

Элемент	ингаляционное воздействие				пероральное воздействие			дермальное воздействие		НИ метод 1	НИ метод 2
	Метод 1		Метод 2		LADD пер, мг/кг*день	КО пер	LADD дерм, мг/кг*день	КО дерм			
	LADD инг, мг/кг*день	КО инг	С инг, нг/м ³	КО инг							
Cr	$2,3 \cdot 10^{-8} \pm 5,2 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-9} \pm 1,9 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \pm 2,6 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-2} \pm 2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4} \pm 6,4 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-2} \pm 1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-7} \pm 2,6 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-2} \pm 4,3 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	
Fe	$7,5 \cdot 10^{-6} \pm 1,7 \cdot 10^{-6}$	–	$2,0 \cdot 10^3 \pm 8,4 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^3 \pm 1,4 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^{-2} \pm 2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-1} \pm 7,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4} \pm 8,4 \cdot 10^{-6}$	–	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	
Co	$3,4 \cdot 10^{-9} \pm 8,4 \cdot 10^{-10}$	$6,0 \cdot 10^{-4} \pm 2,7 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-1} \pm 4,2 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-2} \pm 2,1 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-5} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3} \pm 5,2 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-8} \pm 4,1 \cdot 10^{-9}$	$5,8 \cdot 10^{-6} \pm 2,6 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	
Zn	$2,3 \cdot 10^{-8} \pm 1,7 \cdot 10^{-8}$	$7,7 \cdot 10^{-8} \pm 1,0 \cdot 10^{-8}$	$6,3 \pm 8,5 \cdot 10^{-1}$	$7,0 \cdot 10^3 \pm 9,5 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{-4} \pm 2,1 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4} \pm 7,1 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-7} \pm 8,5 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-5} \pm 1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	
As	$6,0 \cdot 10^{-10} \pm 6,8 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-6} \pm 4,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-1} \pm 3,4 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^3 \pm 1,1 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^{-6} \pm 8,5 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-2} \pm 2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-8} \pm 3,4 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-4} \pm 2,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	
Ag	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-9} \pm 1,5 \cdot 10^{-25}$	$1,5 \cdot 10^{-6} \pm 1,7 \cdot 10^{-22}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	
Sb	$8,3 \cdot 10^{-10} \pm 1,8 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-6} \pm 8,4 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^1 \pm 9,1 \cdot 10^2$	$5,7 \cdot 10^4 \pm 2,3 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^{-6} \pm 2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-2} \pm 5,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-8} \pm 9,1 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	
Ba	$1,0 \cdot 10^{-7} \pm 2,5 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-4} \pm 3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^1 \pm 1,3$	$5,4 \cdot 10^2 \pm 2,5 \cdot 10^3$	$6,8 \cdot 10^{-4} \pm 3,1 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-3} \pm 4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-6} \pm 1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-4} \pm 2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$	
Ce	$1,1 \cdot 10^{-8} \pm 2,3 \cdot 10^{-9}$	–	$3,0 \pm 1,1 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^2 \pm 5,7 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^{-5} \pm 2,9 \cdot 10^{-6}$	–	$3,0 \cdot 10^{-7} \pm 1,1 \cdot 10^{-8}$	–	–	$3,0 \cdot 10^{-2}$	
Σ КО	–	$1,3 \cdot 10^{-3} \pm 6,0 \cdot 10^{-5}$	–	$2,1 \cdot 10^4 \pm 1,0 \cdot 10^2$	–	$2,4 \cdot 10^{-1} \pm 1,7 \cdot 10^{-2}$	–	$1,4 \cdot 10^{-2} \pm 1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$4,7 \cdot 10^{-1}$	

Таблица 4

Диапазоны ориентировочно приемлемых содержаний химических элементов в почвах, при которых формируемый уровень неканцерогенного риска не будет превышать 1 (мг/кг)

Химический элемент	Диапазон ориентировочно приемлемых содержаний в почвах	
	минимальная концентрация	максимальная концентрация
Al	12017	15862
V	44.6	47.6
Cr	36.7	47.2
Mn	319	355
Co	6.6	7.0
Ni	16.4	17.8
Cu	18.2	29.0
Zn	99	219
As	9.0	12.8
Ba	138	181

При увеличении числа элементов, включенных в расчет, за счет возможностей метода МС ИСП, идет увеличение численных значений коэффициентов опасностей ингаляционного воздействия, оцениваемых по 1-ому и 2-ому способам (увеличение в 8,2 раза), перорального воздействия (увеличение в 2,1 раза) и дермального воздействия (увеличение в 3,2 раза).

На результаты оценок риска слабо влияет количество проб, что позволяет ограничивать их число при натурных измерениях. Большее влияние оказывает перечень определяемых химических элементов. С увеличением количества анализируемых и вовлекаемых элементов

в процедуру оценки риска возрастает суммарный индекс риска.

В таблице 5 приведены результаты расчетов канцерогенных рисков. Канцерогенные риски от воздействия компонентов почвы Be ($4,6 \cdot 10^{-6}$), Cr ($2,4 \cdot 10^{-5}$), As ($2,2 \cdot 10^{-5}$), Cd ($1,1 \cdot 10^{-8}$), Pb ($1,6 \cdot 10^{-6}$) не превышают значения, принятые в качестве приемлемых ($1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$), при этом вероятности реализации доз при пероральном поступлении, соответствующих канцерогенному риску более 10^{-6} , составляют, соответственно, 4%; 73,8%; 78%; 1%; 74,1%.

В таблице 6 элементы объединены в группы согласно механизму их воздействия на одни и те же органы организма человека. Видно однонаправленное влияние большой группы элементов на органы дыхания и центральную нервную систему (ЦНС) (15 и 4 соответственно), при ингаляционном пути поступления. Коэффициенты опасности, суммированные по однонаправленному воздействию на органы дыхания при ингаляционном пути поступления, по первым четырем органам (дыхания, ЦНС, нервная система, системные) в 3-15 раз отличаются от суммарных КО по другим органам, что доказывает проявленность направленности влияния. В структуре впервые выявленной заболеваемости [34] на первом месте у всего контингента города также находятся болезни органов дыхания (у детей 54,9%, у подростков 43,9%, у взрослых 20,2%).

Что касается КО при суммации элементов при пероральном поступлении, эти значения различаются не более чем в два раза для 10 жизненно важных органов и систем, от иммунной и центральной нервной системы до ЖКТ и сердечно-сосудистой систем, т.е. более равномерно воздействие на эти органы.

Таблица 5

Величины канцерогенных рисков от воздействия компонентов почвы

	По результатам метода МС ИСП			По результатам метода ИНАА		
	LADD _{канц.} мг/кг*день	P	R _{инд.канц.}	LADD _{канц.} мг/кг*день	P	R _{инд.канц.}
Be	$1,1 \cdot 10^{-6} \pm 6,8 \cdot 10^{-8}$	4	$4,6 \cdot 10^{-6} \pm 2,9 \cdot 10^{-7}$	-	-	-
Cr(VI)	$5,7 \cdot 10^{-5} \pm 7,1 \cdot 10^{-6}$	74	$2,4 \cdot 10^{-5} \pm 3,0 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-5} \pm 2,7 \cdot 10^{-6}$	74	$2,9 \cdot 10^{-5} \pm 1,2 \cdot 10^{-6}$
As	$1,5 \cdot 10^{-5} \pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	78	$2,2 \cdot 10^{-5} \pm 3,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6} \pm 3,6 \cdot 10^{-7}$	100	$2,6 \cdot 10^{-6} \pm 5,5 \cdot 10^{-7}$
Cd	$2,9 \cdot 10^{-7} \pm 7,2 \cdot 10^{-8}$	1	$1,1 \cdot 10^{-8} \pm 2,7 \cdot 10^{-9}$	-	-	-
Pb	$3,5 \cdot 10^{-5} \pm 1,3 \cdot 10^{-5}$	74	$1,6 \cdot 10^{-6} \pm 6,3 \cdot 10^{-7}$	-	-	-

Таблица 6

Суммарные коэффициенты опасности, рассчитанные с учетом объединения химических элементов по направленности их воздействия на органы и системы человека и пути поступления поллютантов в организм

Органы и системы	Σ КО	Учтенные химические элементы
ингаляционное воздействие		
Органы дыхания	1,302	Be, V, W, Fe, Cd, Co, Mn, Cu, As, Ni, Se, Sb, Te, Cr, Zn
ЦНС	0,898	Mn, Ni, Hg, Pb
Нервная система	0,894	Mn, As
Системные заболевания	0,239	Co, Cu, As, Se
Сердечно-сосудистая	0,086	Ba, As
Иммунная (сенсibil.)	0,070	Be, Ni, Zn
Кровь	0,072	Ni, Pb, Zn
Развитие	0,052	As, Pb
Репродуктивная	0,040	Ba
Гормональная	0,001	Cd, Hg
Почки	0,001	Cd, U
Кожа	$3,9 \cdot 10^{-7}$	Ag
пероральное воздействие		
Иммунная (сенсibil.)	0,267	Fe, As, Hg
ЦНС	0,190	Al, Mn, As, Hg, Pb, Te
Кровь	0,188	Fe, Co, Mn, Ni, Pb, Zn
Кожа	0,175	Fe, Pb
Слизистые	0,152	Fe
Гормональная	0,140	Cd, As, Hg, Pb
Нервная	0,138	As, Pb
Сердечно-сосудистая	0,124	Ba, As, Ni
ЖКТ	0,122	Be, Cu, As, Ni
Биохим	0,115	Sb, Tl, Zn
Печень	0,043	V, Cu, Ni, Pb, Tl, Te
Репродуктивная	0,024	Hg, Pb
Волосы	0,008	V, Se
Почки	0,009	Ba, Cd, Mo, Hg, U
Селезенка	0,001	Se

Заключение

Расчет рисков хронической интоксикации на основании изучения тома ПДВ од-

ной из угольных шахт Кузбасского региона (из тяжелых металлов есть оценка по Mn, и опосредовано, через золу углей) показал, что хроническое ингаляционное воздействие на здоровье населения, с учетом расстояния от источников выбросов до жилой зоны, не оказывается [35]. В исследованиях, специально сфокусированных на установлении рисков воздействия ТМ почв в угледобывающих регионах, установлено, что в районе открытых шахт автономного района на севере Китая (угли с повышенным содержанием мышьяка) уровень риска по Cd, Be, Ni, расценивается как приемлемый, а $R_{\text{канц.}}(\text{As})$ превышает приемлемый в 6,29-8,70 раз, HQ – в 4,53 раз [36]. В [37], юго-западная провинция (Guizhou) Китая, элементы почв по значению фактора потенциального экологического риска образуют следующий ряд $\text{Hg} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr}$, при этом степень потенциального экологического риска от Hg and As оценивается как высокая. По уменьшению фактора загрязнения как показателя опасности для здоровья элементы почв угольного поля Jharia, Индия [38] располагаются в ряду $\text{Cd} (1,83) > \text{Cu} (1,46) > \text{Zn, Pb} (1,43) > \text{Fe} (1,43) > \text{Ni} (1,43) > \text{Cr} (1,43)$. За формирование состава почв ответственны три фактора – угледобыча и пожары на шахтах – 40%, пыление (23%) поступление из земной коры (24%), по этим же данным [38]. При этом авторы связывают поступление Ni, Cu, Cr с деятельностью угольных шахт, Pb, Fe, Cd – с ветровым переносом, Mn, Zn – поступление из земной коры. На наш взгляд, как подробно описано выше, почвенное загрязнение г. Междуреченск формируется под влиянием выбросов местных котельных и угольной пыли; автотранспорта, ремонтных и металлообрабатывающих производств, в результате использования вскрышных угольных пород при строительстве города и также определяется геохимической специализацией угля. В [39], Пакистан, нет количественных характеристик риска, однако описывается влияние Pb, Hg, As как компонентов углей и продуктов их сгорания, на биологические объекты, с использованием зависимости «Доза-эффект». В целом, если привлекать к обсуждению не только риски почвенного загрязнения в районе угольных шахт, но и от других источников, прослеживается тенденция привлечения к расчету и обсуждению большого круга элементов почв, как и в настоящем исследовании.

Сопоставим ряды элементов по уменьшению коэффициентов опасности (характере-

ристика неканцерогенного риска) для двух разных географических регионов: Южного Кузбасса, по данным настоящей статьи,

КО (неканц.): $Sb (1.3 \cdot 10^{-1}) > As (1.2 \cdot 10^{-1}) > Al (5,0 \cdot 10^{-2}) > Cr (3,6 \cdot 10^{-2}) > Mn (2,1 \cdot 10^{-2}) > Cd (1,6 \cdot 10^{-3}) > Cu (3,9 \cdot 10^{-3}) > Ni (2,7 \cdot 10^{-3}) > Pb (2,4 \cdot 10^{-2}) > Zn (1,7 \cdot 10^{-3}); HI = 5,7 \cdot 10^{-1}$

и по данным [8], оценки получены для угольных шахт вдоль реки Qingshui (Beijing, Китай):

КО (неканц.): $Mn (6,06 \cdot 10^{-3}) > Pb (5,46 \cdot 10^{-3}) > Cr (4,77 \cdot 10^{-3}) > Ni (5,94 \cdot 10^{-4}) > Cd (3,93 \cdot 10^{-4}) > Cu (2,02 \cdot 10^{-4}) > Zn (9,14 \cdot 10^{-5}); HI = 1,76 \cdot 10^{-2}$

Наблюдаемые различия в коэффициентах опасности очевидны и обусловлены, главным образом, содержанием элементов в почвах, которые, в свою очередь зависят от геохимических особенностей почв разных географических регионов, природных и техногенных факторов. Однако несомненным достоинством цитируемой работы является учет в оценке риска не валового содержания металла, а его доступной усвояемой формы, выделенной в результате фракционирования проб, что более приближает исследование к реальной ситуации и что планируется также в наших дальнейших исследованиях.

Входные аналитические данные с использованием инструментального нейтронно-активационного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой влияют на получаемые оценки риска. На наш взгляд, наиболее надежные результаты оценки риска получаются при включении в методики расчетов концентраций максимально широкого перечня элементов, при обязательном учете основных элементов, обуславливающих риск (As, Cd, Sb, Mn, Ba, Al, Cu, As, Cr, Co, Ni, Pb).

Также влияет и способ оценки ингаляционного поступления веществ из почвы – непосредственного проникновения почвенных загрязнений в зоне дыхания человека, и с использованием моделей переноса загрязнителей из почвы в воздух. Элементами, формирующими суммарный коэффициент опасности более 1 при ингаляционном поступлении, как доминирующем, являются Mn, Al, Cu, V, Cr, As.

Использование нами при расчетах стандартных факторов экспозиции и альтернативных методик в части оценки ингаляционного пути поступления, учет всех реально воздействующих путей поступления, позволяет сравнивать полученные ре-

зультаты с данными по другим регионам, ранжировать вклад различных металлов в суммарный риск; – в зависимости от преобладающих отраслей производства в различных регионах «индикаторные элементы риска» будут различны.

Различия в рядах элементов, специфических по геохимическим и эколого-гигиеническим показателям, показывает на необходимость сочетания геохимического и эколого-гигиенического подходов при оценке опасности почвенного загрязнения, и необходимость учета эколого-геохимических особенностей территории при интерпретации результатов оценки рисков. При ограниченном перечне тяжелых металлов, определяемых на постах наблюдений в атмосферном воздухе, в городах с высоким уровнем антропогенной нагрузки, целесообразны регулярные измерения в почвах содержаний потенциально опасных тяжелых металлов и оценка риска воздействия этих металлов на здоровье не только в рамках санитарно-гигиенических, но и в эколого-геохимических исследованиях.

Авторы выражают благодарность за критические замечания и ценные советы при подготовке статьи члену-корреспонденту РАН, доктору химических наук, профессору Тарасовой Наталии Павловне

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00675 А.

Исследования выполнены в Национальном исследовательском Томском политехническом университете в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров.

Список литературы

1. Сергеев А.К., Сучков В.В., Анисимов В.Н. Комплексная оценка риска здоровью населения при воздействии загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городского округа Самара // Смоленский медицинский альманах. 2016. № 1. С. 213-216.
2. Чуенкова Г.А., Карелин А.О., Аскаров Р.А., Аскарова З.Ф. Оценка риска здоровью населения города Уфы, обусловленного атмосферными загрязнениями // Гигиена и санитария. 2015. № 3. С. 24-29.
3. Валеуллина Н.Н., Уральшин А.Г., Брылина Н.А., Никифорова Е.В., Бекетов А.Л., Гречко Г.Ш. Опыт многосредовой оценки риска для здоровья с целью обеспечения безопасности населения г. Челябинска // Гигиена и санитария. 2015. № 2. С. 93-23.
4. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
5. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Шашина Т.А., Иванов С.И. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих

окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

6. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume 1 – Human Health Evaluation Manual. Part A. Washington, DC, USA: US EPA. (US Environmental Protection Agency), 1989. 291 p.

7. Захаренков В.В., Кислицына В.В. Определение приоритетности природоохранных мероприятий на основе оценки риска для здоровья населения промышленного города // Успехи современного естествознания. 2014. № 2. С. 12-15.

8. Hongxia Li, Hongbing Ji. Chemical speciation, vertical profile and human health risk assessment of heavy metals in soils from coal-mine brownfield, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. V. 183 (A). P. 22-32.

9. Макаров О.А., Макаров А.А. Подходы к оценке риска химического загрязнения городских почв // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1147-1156.

10. Коновалов, А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // Биосфера. 2017. № 9 (3). С. 214-229.

11. Dumitrescu C., Cocârta-J3 D.M., Badea A. An integrated modeling approach for risk assessment of heavy metals in soils. *Univ. Politehn. Bucharest. Sci. Bull. D*. 2012. V. 74. No. 3. P. 217-228.

12. Антипанова Н.А. Геохимическое загрязнение и канцерогенный риск здоровью экспонируемого населения центра черной металлургии // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 3. С. 97-101.

13. Менчинская О.В., Шатагин Н.Н., Зангиева Т.Д., Кайтуков М.З. Оценка влияния неканцерогенных веществ на здоровье населения по техногенным геохимическим аномалиям в почвах (на примере Владикавказа) // Прикладная геохимия. 2004. №5. С.188-201.

14. Li Z, Ma Z, Jan K.T., Jan T., Yuan Z, Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science Total Environment*. 2014. V. 468-469. P. 843-853. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090.

15. Cao S., Duan X., Zhao X., Ma J., Dong T., Huang N. Health risks from the exposure of children to As, Se, Pb and other heavy metals near the largest coking plant in China. *Science Total Environment*. 2014. V. 472. P. 1001-1009.

16. Saghatelian A., Teranosyan G, Sahakyan L. Human health risk assessment of heavy metals in the urban environments of Armenia. 7th International Conference on Medical Geology. 2017, Aug. 28 – Sept. 1; Moscow, Russia. Moscow: Publishing House of I.M. Sechenov First MSU. 2017. V. 1. P.71.

17. Унгуряну, Т.Н., Гудков А.Б., Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья населения при воздействии контаминантов почвы // Профилактическая и клиническая медицина. 2012. № 1. С.101–105.

18. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Олещенко А.М. Влияние выбросов предприятий угольной промышленности на здоровье населения // Медицина в Кузбассе. 2017. № 3. С. 27–32.

19. Ревич Б.А., Сагет Ю.А., Смирнова Р.С. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1990. 17 с.

20. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского Университета. Сер. 5. География. 2015. № 2. С.7-17.

21. Сагет Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

22. Dawoud E., Purucker S. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White Paper, Tech. rep., USA: USEPA, 1996. 256 p.

23. McKone T.E., Daniels J.I. Estimating human exposure through multiple pathways from air, water, and soil. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1991. V. 6. P. 36-61.

24. Kimberly M. Thompson. Software Review of Risk*Assistant (Version 1.1) and RiskEZ (Version 1), both for Windows. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 1998. V. 4. P.47-62. DOI: 10.1080/10807039891284514.

25. Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L. Probabilistic human health risk of PCDD/F exposure: a socioeconomic assessment. *Journal of Environmental Monitoring*. 2004. V. 6. P. 926–931.

26. Huang J., Wu Y., Sun J., Li X., Geng X., Zhao M., Sun T., Fan Z. Health Risk Assessment of Heavy Metal(loid)s in Park Soils of the Largest Megacity in China by Using Monte Carlo Simulation Coupled with Positive Matrix Factorization Model. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. V. 415. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125629.

27. Shen L., Zeng J., Guo E., Shen L., Cheng Y.Li L., Niu C., Yuan Y., Ma L. Source apportionment and risk assessment of heavy metals in urban soils from a central China city by using positive matrix factorization model coupled with Monte Carlo simulation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2022. DOI: 10.1007/s00477-022-02297-w.

28. Журавлева Н.В., Иванькина О.В., Исмагилов З.Р., Потокина Р.Р. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 187-197.

29. Осипова Н.А., Быков А.А., Таловская А.В., Николаенко А.Н., Язиков Е.Г., Ларин С.А. Влияние угледобывающих предприятий на загрязнение снегового покрова прилегающих урбанизированных территорий (на примере г. Междуреченск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. № 12. С. 36-46.

30. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geochemistry of coal. Occurrences and environmental impacts of trace elements. *Coal Production and Processing Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2015. P. 48–73.

31. Рыжакова Н.К., Рапута В.Ф., Рогова Н.С., Борисенко А.Л., Покровская Е.А. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ // Экология и промышленность России. 2013. № 1. С. 52–55.

32. Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Язиков Е.Г., Чумак Ю.В., Ильенок С.С. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-3. С.760-765.

33. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Филимоненко Е.А., Осипова Н.А., Шахова Т.С. Микроэлементный состав снежного покрова в окрестностях угольных и газовых котельных как показатель экологичности используемого топлива // Безопасность в техносфере. 2017. №3. С.3-12.

34. О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области -Кузбасса в 2020 г. // [Электронный ресурс]. URL: https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad_2020.pdf (дата обращения:02.12.2022).

35. Суржиков В.Д., Суржиков Д.В., Голиков Р.А. Загрязнение атмосферного воздуха промышленного города как фактор неканцерогенного риска для здоровья населения // Гигиена и санитария. 2013. № 1. С. 47–49.

36. Jia J.; Li X.; Wu P.; Liu Y.; Han C.; Zhou L.; Yang L. Human Health Risk Assessment and Safety Threshold of Harmful Trace Elements in the Soil Environment of the Wulantuga Open-Cast Coal Mine. *Minerals*. 2015. V. 5. P. 837-848.

37. Qin F., Wei C., Zhong S., Huang X., Pang W., Jiang X. Soil heavy metal(loid)s and risk assessment in vicinity of a coal mining area from southwest Guizhou, China. *Journal of Central South University*. 2016. V. 23. P. 2205-2213.

38. Pandey B., Agrawal M., Singh S. Ecological risk assessment of soil contamination by trace elements around coal mining area. *Journal of Soils and Sediments*. 2016. V. 16. No 1. P. 159-168.

39. Munawer M. E. Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes. *Journal of Sustainable Mining*. 2017. V. 17 (2). P. 87-96.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ****Худякова Л.И., Котова И.Ю.***ФГБУН Байкальский институт природопользования Сибирского отделения
Российской академии наук, Улан-Удэ, e-mail: lkhud@binm.ru*

В условиях настоящего времени проблема использования отходов горнопромышленного комплекса приобретает все большую актуальность. Количество вскрышных, вмещающих пород и некондиционного сырья постоянно возрастает. В отвалах находятся огромные объемы магнийсодержащего сырья, утилизация которых является актуальной задачей. Основные направления использования горных отходов – это рекультивация земель и строительная отрасль, в частности производство строительных материалов. Целью работы является установление возможности использования магнийсодержащего сырья при получении тяжелых бетонов. Изучен гранулометрический состав щебня из магнийсодержащих отходов и определены основные физико-механические свойства. Щебень всех видов имеет марку по дробимости М1400, по истираемости II. Он различается содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы. Установлено, что щебень можно использовать в качестве крупного заполнителя для бетонов. Изучены механические показатели полученных бетонов. Установлено, что использование щебня из базальта и нефрита не оказывает значительного влияния на прочность образцов при сжатии. Щебень из серпентинита снижает прочность бетонов более чем на 5% по сравнению с контрольным образцом. Плотность полученных бетонов также зависит от вида щебня. Наименьшее значение зафиксировано у бетонов с серпентинитовым щебнем (2301 kg/m^3), наибольшее – с базальтовым щебнем (2391 kg/m^3). Таким образом, щебень из магнийсодержащих горнопромышленных отходов является перспективным сырьевым материалом для получения тяжелых бетонов. Вовлечение в строительное производство горнопромышленных отходов позволит сократить количество земель, занятых отвалами, и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, появляется возможность расширения номенклатуры сырьевых материалов и снижения себестоимости производимых бетонов.

Ключевые слова: магнийсодержащие отходы, щебень, бетон, прочность при сжатии, крупный заполнитель

USE OF MAGNESIUM-CONTAINING MINING WASTE**Khudyakova L.I., Kotova I.Yu.***Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences,
Ulan-Ude, e-mail: lkhud@binm.ru*

In the conditions of the present time, the problem of using waste from the mining complex is becoming increasingly important. The number of overburden, host rocks and substandard raw materials is constantly increasing. In the dumps there are huge volumes of magnesium-containing raw materials, the utilization of which is an urgent task. The main use of mining waste is land reclamation and the construction industry, in particular, the production of building materials. The aim of the work is to establish the possibility of using magnesium-containing raw materials in the production of heavy concrete. The granulometric composition of crushed stone from magnesium-containing waste was studied and the main physical and mechanical properties were determined. Crushed stone of all types has a grade of crushability M1400, abrasion II. It differs in the content of lamellar and needle shaped grains. It has been established that crushed stone can be used as a coarse aggregate for concrete. The mechanical properties of the obtained concretes have been studied. It has been established that the use of crushed stone from basalt and nephrite does not significantly affect the compressive strength of the samples. Crushed stone from serpentinite reduces the strength of concrete by more than 5% compared to the control sample. The density of the resulting concrete also depends on the type of crushed stone. The lowest value was recorded for concrete with serpentinite crushed stone (2301 kg/m^3), the highest – with basalt crushed stone (2391 kg/m^3). Thus, crushed stone from magnesium-containing mining waste is a promising raw material for the production of heavy concrete. The involvement of mining waste in the construction industry will reduce the amount of land occupied by dumps and reduce the negative impact on the environment. In addition, it becomes possible to expand the range of raw materials and reduce the cost of concrete produced.

Keywords: magnesium-containing mining waste, crushed stone, concrete, compressive strength, coarse aggregate

В условиях настоящего времени проблема использования отходов горнопромышленного комплекса приобретает все большую актуальность. Об этом свидетельствует пристальное внимание к данной сфере со стороны государственных органов нашей страны: проводятся рабочие совещания, издаются официальные документы. Так, в июне текущего года Президентом РФ утвержден Перечень поручений, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы, где, в частности,

сказано о глубокой переработке твердых полезных ископаемых, а также о вовлечении в хозяйственный оборот вскрышных и вмещающих горных пород. Разработан Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», который позволит минимизировать количество образуемых отходов. Заместитель Председателя Правительства Виктория Абрамченко заявила, что одна из главных отраслей, где необходима экономика замкнутого цикла, – это недропользование, поскольку «отходы должны стать вторичным

материальным ресурсом и использоваться как в рекультивации земель, так и в строительном комплексе».

Все принятые решения обусловлены огромным объемом накопившихся горнопромышленных отходов, которые необходимо утилизировать и количество которых с каждым годом возрастает. По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, в 2021 г. в России образовалось 7 690 515,5 тыс. т отходов от добычи полезных ископаемых, что составляет 91% от всех образованных отходов. Менее половины из них (45,6%) были утилизированы и обезврежены. Прирост образуемых и используемых отходов горнопромышленного комплекса по отношению к предыдущему году в течение последних 5 лет представлен на рисунке 1.

Наименьшее количество образованных и утилизированных отходов зафиксировано в 2020 г., что обусловлено сложной эпидемиологической обстановкой во всем мире. Однако уже в 2021 г. образовалось на 33% отходов больше, чем в 2017 г., и основная масса из них перемещена в отвалы. С каждым годом объемы горнопромышленных отходов возрастают, в связи с чем вопросы их утилизации являются актуальными, требующими своего решения.

Основными направлениями использования горнопромышленных отходов являются рекультивация нарушенных земель и производство строительных материалов. Это нашло отражение в работах ученых разных стран мира [1–3]. Большое количество из них содержит исследования по получению бетонов, поскольку более 80% их объема приходится на долю заполнителей, которые можно заменить отходами.

Обычно в качестве крупного заполнителя используются гранит и гравий. В ряде статей рассматривается возможность замены их известняком и песчаником, однако марочная прочность полученных бетонов не превышает показатели бетонов на гранитном щебне [4, 5]. Положительное влияние на механические показатели бетонов оказывает замена традиционного заполнителя кварцитом, диабазом, базальтом [6–8]. Повышенная прочность наблюдается у бетонов с добавкой высокомагнезиальных вскрышных пород [9, 10]. Поскольку наличие магнийсодержащих минералов в составе горнопромышленных отходов влияет на качество бетонов на их основе, актуальной задачей является расширение номенклатуры магнийсодержащих горнопромышленных отходов, которые можно использовать в качестве крупного заполнителя.

Исходя из вышесказанного, целью настоящих исследований является установление возможности использования некондиционного магнийсодержащего сырья в производстве тяжелых бетонов.

Материалы и методы исследования

В качестве крупного заполнителя использовались магнийсодержащие горнопромышленные отходы, представленные серпентинитом, некондиционным нефритом и базальтом месторождений Республики Бурятия. Гранитный щебень применялся в контрольных образцах. В качестве мелкого заполнителя использовался кварцполевошпатовый песок с модулем крупности 2,5 и содержанием пылевидных и глинистых частиц 1,77%, в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ I 42.5Н.

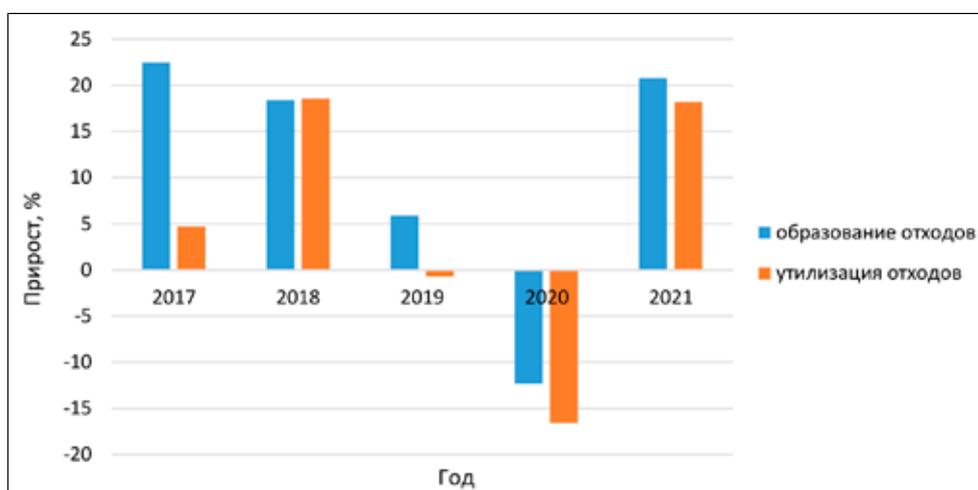


Рис. 1. Прирост образуемых и утилизируемых отходов

Таблица 1

Химический состав крупного заполнителя

Основные оксиды	Содержание основных оксидов, масс. % в породах			
	Серпентинит	Некондиционный нефрит	Базальт	Гранит
SiO ₂	41,80	56,20	49,10	66,14
Al ₂ O ₃	0,30	0,94	16,00	15,41
Fe ₂ O ₃	4,50	3,49	9,62	5,63
MgO	40,66	22,37	4,25	1,12
CaO	0,43	13,48	6,82	2,27
Na ₂ O	0,10	0,04	3,64	3,01
K ₂ O	0,01	0,03	1,77	3,84
п.п.п.*	12,54	3,41	6,80	1,20

Примечание: * потери при прокаливании.

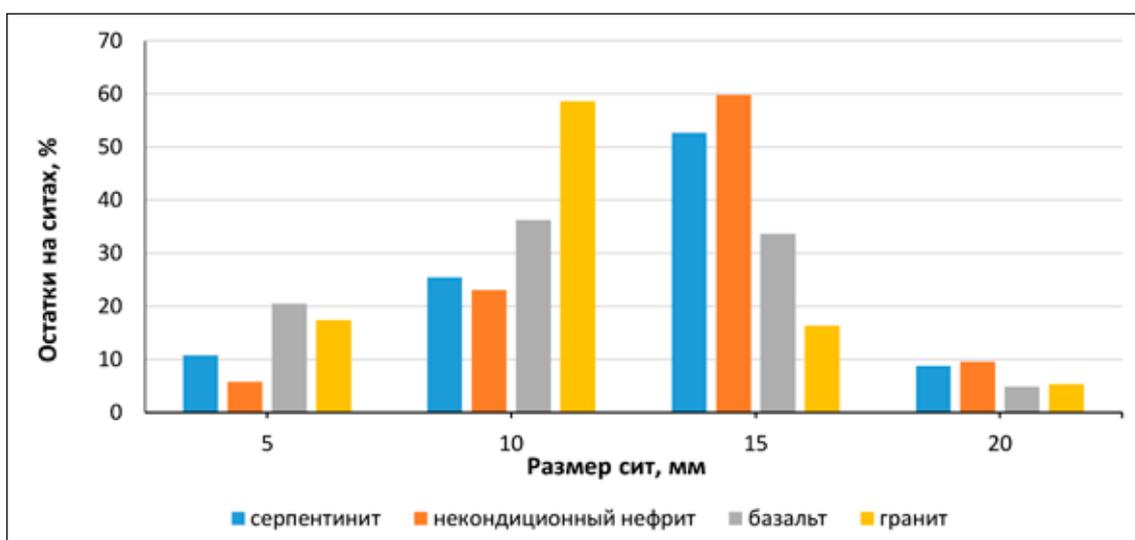


Рис. 2. Гранулометрический состав щебня

Проведение исследований включало химический, гранулометрический анализы, а также физико-механические испытания. При выполнении химических анализов применялись методы атомно-адсорбционной спектроскопии и гравиметрии. Гранулометрический анализ выполнен методом рассева пород по крупности их частиц на ситах с различным диаметром отверстий. Предел прочности при сжатии определен с помощью разрушающего метода при воздействии нагрузки на образцы. Использовалось следующее оборудование: спектрофотометр SOLAAR-6M, электронные весы ВСЛ-200/0,1A, испытательный гидравлический пресс ПГМ-100, стандартный набор сит.

Результаты исследования и их обсуждение

На начальном этапе исследований был изучен химический состав сырьевых материалов, который представлен в таблице 1.

Исследуемые породы различаются количественным содержанием основных оксидов. Содержание оксида магния изменяется от 40,66% у серпентинита до 4,25% у базальта. Максимальное количество оксида алюминия наблюдается у базальта, а оксида кальция – у некондиционного нефрита. Наибольшее количество оксидов щелочных металлов зафиксировано у базальта.

Изучены основные свойства щебня из исследуемых пород, поскольку качество

бетонов зависит от вида, плотности, прочности, формы зерен входящих в его состав заполнителей [11–13]. Гранулометрический состав щебня представлен на рисунке 2.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее крупные зерна щебня наблюдаются у некондиционного нефрита, где количество щебня с размером частиц свыше 15 мм превышает 69%. Это объясняется спутано-волокнутой структурой входящих в его состав минералов, обуславливающих вязкость и прочность породы. У серпентинита с минералами слоистого и чешуйчато-волокнутого строения данный показатель составляет 61,5%, у базальта, сложенного каркасными алюмосиликатами, – 38,5%. Наиболее мелкие зерна характерны для гранита с мелкокристаллической структурой, в котором содержится 76% зерен размером до 10 мм.

Установлено, что изучаемый щебень всех видов имеет марку по дробимости M1400, по истираемости III, по морозостойкости F400. Он различается содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы, которые негативно сказываются на качестве производимого бетона. В щебне из серпентинита их количество составляет 9,2%, из некондиционного нефрита – 23,4%, из базальта – 7,3%. Наличие зерен слабых пород, пылевидных и глинистых частиц во всех

видах щебня не зафиксировано. Определена средняя плотность щебня: у серпентинита она равна 2710 кг/м³, у некондиционного нефрита – 2900 кг/м³, у базальта – 2980 кг/м³. В целом щебень из горнопромышленных отходов удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» и может использоваться как заполнитель для бетонов.

Изучено влияние вида щебня на прочностные характеристики бетонов. Исследования проводили на образцах – кубах с размером ребра 10 см. Бетонная смесь имела следующий состав: щебень 56%, песок 24%, цемент 14%, вода 6%. Бетоны изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». Образцы испытывали на сжатие после твердения в нормально-влажностных условиях в течение 7, 14, 21 и 28 суток. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

Как видно из графических зависимостей, замена гранитного щебня щебнем из базальта и некондиционного нефрита не оказывает значительного влияния на прочность образцов при сжатии. При использовании щебня из серпентинита прочность бетонов снижается более чем на 5%.

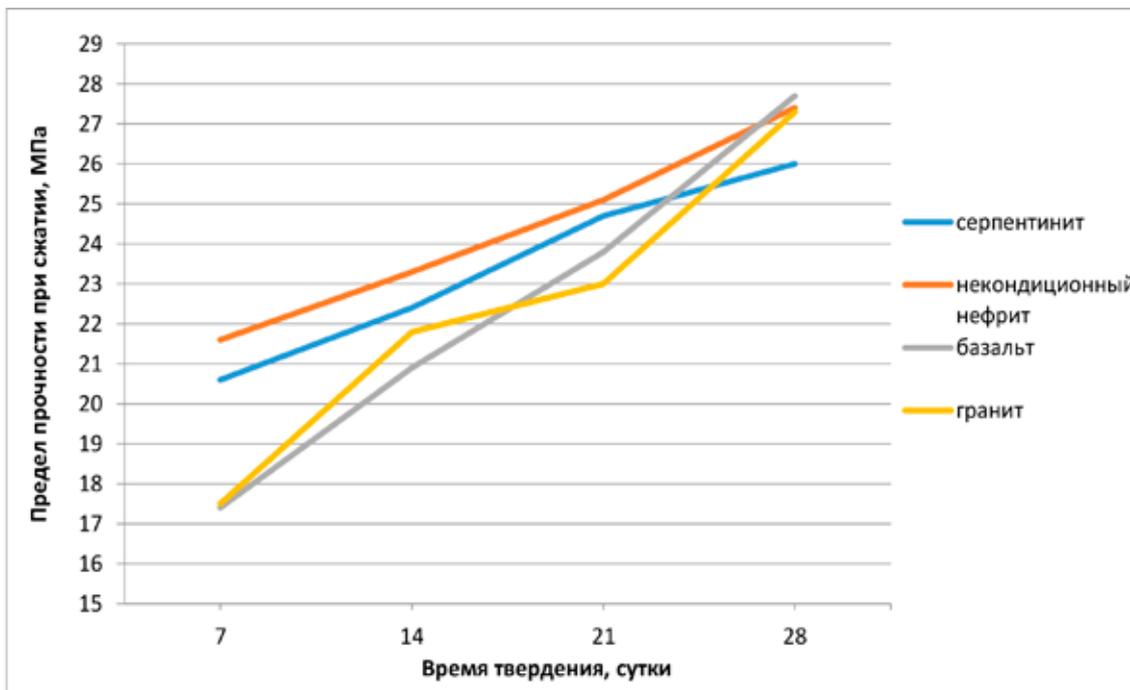


Рис. 3. Зависимость механических показателей бетона от вида щебня и времени твердения

Основные показатели бетонов

Основные показатели	Бетоны на крупном заполнителе из			
	серпентинита	нефрита	базальта	гранита
Средняя плотность, кг/м ³	2301	2387	2391	2340
Прочность при сжатии, МПа	26,0	27,4	27,7	27,3
Водостойкость, K _{разм.}	0,82	0,84	0,85	0,82
Морозостойкость, цикл	50	50	50	50

Следует отметить, что введение в состав бетонов щебня из серпентинита и некондиционного нефрита способствует набору их прочности в первые 7 суток твердения. При этом набор прочности бетонов с добавкой нефрита после 21 суток выдержки в нормально-влажностных условиях замедляется, а с добавкой серпентинита продолжает расти, практически линейно. Для образцов с базальтовым заполнителем характерен постепенный набор прочности.

Плотность полученных бетонов также зависит от вида крупного заполнителя. Наименьший показатель плотности зафиксирован у бетонов с серпентинитовым щебнем (2301 кг/м³), наибольший – с базальтовым щебнем (2391 кг/м³). Плотность бетонов с некондиционным нефритом составляет 2387 кг/м³.

Были изучены основные свойства бетонов на щебне из магнийсодержащих горнопромышленных отходов. Для установления долговечности выполнено определение морозостойкости. На основании проведенных исследований установлено, что они соответствуют марке F50. Немаловажным показателем качества бетонов является устойчивость их в водной среде. Исследована водостойкость полученных материалов и определен коэффициент размягчения, характеризующий данный показатель. Установлено, что его значения для магнийсодержащих бетонов находятся выше значений стандартного образца. Кроме того, необходимо отметить, что бетоны, содержащие в своем составе магнийсодержащий заполнитель, обладают повышенной сульфатостойкостью. Основные показатели бетонов представлены в таблице 2.

По своим физико-механическим свойствам бетоны на щебне из базальта и некондиционного нефрита превосходят контрольный образец. Применение серпентинитового щебня незначительно снижает прочность и плотность бетонов, не меняя остальные показатели.

Исходя из основных показателей полученных бетонов, следует заключить, что их можно использовать не только для изготовления фундаментов, но и для производства внутренних стеновых панелей.

Заключение

Таким образом, щебень из магнийсодержащих горнопромышленных отходов является перспективным сырьевым материалом для получения тяжелых бетонов. По гранулометрическому составу и основным характеристикам он соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» и может использоваться в строительстве. Прочность и водостойкость бетонов, полученных на магнийсодержащем щебне, за исключением серпентинитового, не уступают соответствующим показателям контрольного образца на гранитном щебне.

Вовлечение в строительное производство горнопромышленных отходов позволит сократить количество земель, занятых отвалами, и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, появляется возможность расширения номенклатуры сырьевых материалов и снижения себестоимости производимых бетонов.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН, № ААА-А21-121011890003-4 с использованием приборов и оборудования Центра коллективного пользования.

Список литературы

1. Retka J., Rzepa G., Bajda T., Drewniak L. The use of mining waste materials for the treatment of acid and alkaline mine wastewater. Minerals. 2020. Vol. 10. P. 1061. DOI: 10.3390/min10121061.
2. Ally A.N., Blanche M.M., Nana U.J.P., Grâce M.M., François N., Pettang C. Recovery of mining wastes in building materials: A Review. Open Journal of Civil Engineering. 2021. Vol. 11. P. 379-397. DOI: 10.4236/ojce.2021.114022.
3. Cobirzan N., Muntean R., Thalmaier G., Felseghi R.-A. Recycling of mining waste in the production of masonry units. Materials. 2022. Vol. 15. P. 594. DOI: 10.3390/ma15020594.

4. Стельмах С.А., Шербань Е.М., Мозговая А.С., Скуч М.С. Исследование и сравнительный анализ вариантов комбинирования крупных заполнителей различных видов для тяжелого бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf> (дата обращения 29.09.2022).
5. Sarireh M., Al-Baijat H. Local aggregate in production of concrete mix in Jordan. *Open Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 9. P. 81-94. DOI: 10.4236/ojce.2019.92006.
6. Quayson J.H., Mustapha Z. Impact of coarse aggregate on compressive strength of concrete. *Built Environment Journal*. 2019. Vol. 16. No. 1. P. 49-58.
7. Wang L., Yong H., Lu J., Shu C., Wang H. Influence of coarse aggregate type on the mechanical strengths and durability of cement concrete. *Coatings*. 2021. Vol. 11. P. 1036. DOI: 10.3390/coatings11091036.
8. Li P.P., Yu Q.L., Brouwers H.J.H. Effect of coarse basalt aggregates on the properties of ultra-high performance concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 170. P. 649-659. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.109.
9. Kislov E.V., Khudyakova L.I. Yoko–Dovyren layered massif: Composition, mineralization, overburden and dump rock utilization. *Minerals*. 2020. Vol. 10. P. 682. DOI: 10.3390/min10080682.
10. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Тимофеева С.С. Магнийсиликатные отходы горнодобывающей промышленности и технологии их утилизации. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. 177 с.
11. Haddad L.D.O., Neves R.R., Oliveira P.V., Santos W.J., Junior A.N.C. Influence of particle shape and size distribution on coating mortar properties. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9. No. 4. P. 9299-9314. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.06.068.
12. Kim S.S., Qudoos A., Jakhani S.H., Lee J.B., Kim H.G. Influence of coarse aggregates and silica fume on the mechanical properties, durability, and microstructure of concrete. *Materials*. 2019. Vol. 12. P. 3324. DOI: 10.3390/ma12203324.
13. Ndon A.-I., Икре А.Е. Experimental study on the effect of different coarse aggregate sizes on the strength of concrete. *International Journal of Engineering and Innovative Research*. 2021. Vol. 3. No. 1. P. 29-38. DOI: 10.47933/ijeir.779307.

УДК 550.72:631.46

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВЕХОВЫХ БОЛОТ ЮЖНОПРИБЕЛОМОРСКОГО ТИПА

**Шпанов Д.А., Зубов И.Н., Пономарева Т.И., Штанг А.К.,
Орлов А.С., Забелина С.А., Селянина С.Б.**

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

Верховые болотные комплексы южноприбеломорского типа широко распространены на европейском Севере. Численность и состав микробиоты торфа обуславливают особенности протекания процессов биотрансформации органического вещества. В настоящем исследовании выполнена оценка сезонной динамики численности аммонифицирующих, нитрифицирующих, олиготрофных, ацидофильных бактерий и грибов методом посевов на твердые среды. Образцы отбирали в период с марта по октябрь из 6 горизонтов торфяной залежи с контрастными окислительно-восстановительными режимами на территории олиготрофного сфагнового грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива (Архангельская область). Параллельно с определением микробной численности проводили измерение окислительно-восстановительного потенциала, кислотности (рН), степени разложения, зольности, элементного состава (С, Н, О и N) торфа. Установлено, что торфяная залежь характеризуется низкой минерализацией (не превышает 0,9%), низкой степенью разложения (до 20% в основном теле залежи), контрастным окислительно-восстановительным режимом. Максимальная численность всех групп микроорганизмов приходится на период с конца мая по конец июля. Данные о численности микробных сообществ свидетельствуют о протекании процессов микробиологической деструкции по всей глубине залежи. Наибольшие количественные сезонные изменения происходят в чувствительном к воздействию сезонных изменений климатических факторов верхнем слое залежи (0–40 см), поскольку он напрямую подвержен действию солнечной радиации и осадков, определяющих величину колебаний уровня болотных вод. Нижележащие и в той или иной мере изолированные слои залежи, формирование которых растянуто во времени, в меньшей мере подвержены сезонным климатическим пульсациям. При этом они могут служить источником информации о влиянии долговременных климатических воздействий.

Ключевые слова: верховые болота, торфяная залежь, сезонная динамика численности микроорганизмов, окислительно-восстановительные условия, аэробный слой, анаэробный слой

SEASONAL DYNAMICS OF MICROORGANISMS ABUNDANCE IN PEAT DEPOSITS OF BOGS OF THE SOUTH-BELOMORIAN TYPE

**Shpanov D.A., Zubov I.N., Ponomareva T.I., Shtang A.K.,
Orlov A.S., Zabelina S.A., Selyanina S.B.**

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

Bog complexes of the South-Belomorian type are widespread in the European North. Abundance and content of peat microbiota determine the features of organic matter biotransformation processes. In the present study, the seasonal dynamics of the abundance of ammonifying, nitrifying, oligotrophic, acidophilic bacteria and fungi was assessed by the method of inoculation on solid media. The samples were taken from March to October from 6 peat layers with contrasting redox regimes on the territory of the oligotrophic sphagnum ridge-hollow complex of the Ilas bog (Arkhangelsk region). On the sidelines of the determination of microbial abundance the redox potential, acidity (pH), degree of decomposition, ash content, and elemental composition (C, H, O, and N) of peat were investigated. It has been established that the peat deposit is characterized by low mineralization (does not exceed 0.9%), low degree of decomposition (up to 20% in the main body of the deposit), and contrast redox regime. The maximum abundance of all groups of microorganisms falls on the period from the end of May to the end of July. Data on the microbial communities' abundance indicate the occurrence of microbiological destruction processes throughout the depth of the deposit. The greatest quantitative seasonal changes occur in the upper layer of the deposit (0–40 cm), which is sensitive to the effects of seasonal changes in climatic factors, since it is directly exposed to solar radiation and precipitation, which determine the fluctuations of bog water level. The underlying and, to some extent, isolated layers of the peat deposit, the formation of which is extended in time, are less susceptible to seasonal climatic fluctuations. At the same time, they can serve as a source of information on the influence of long-term climatic changes.

Keywords: Bogs, peat deposit, seasonal dynamics of abundance of microorganisms, redox conditions, aerobic layer, anaerobic layer

Верховые болотные комплексы южно-прибеломорского типа широко распространены в арктической зоне РФ [1-3]. Болотные экосистемы играют существенную роль в круговороте углерода. Являясь единственными в наземном биоме экосистемами, обе-

спечивающими постоянный сток углерода, они веками аккумулируют его в составе торфяной залежи. Не менее важна климато-образующая роль болот, связанная с эмиссией углекислого газа и метана, с балансом тепла и влаги [4, 5].

Одни из важнейших аспектов функционирования торфяников – биохимические процессы, протекающие в них и включающие в себя ряд отдельных циклов: минерализацию и гумификацию органического вещества, растворение и преобразование продуктов гидролиза посредством микробиологической трансформации и физико-химических процессов обмена [6, 7]. Это приводит к газообмену между торфом и атмосферой. За счет высвобождения углерода в виде метана и углекислого газа меняются состав органического вещества, молекулярная структура отдельных компонентов, протекает синтез новых соединений. В совокупности это обеспечивает устойчивость болот.

Численность и состав микроорганизмов торфа, обуславливающие скорость протекания биологических процессов, зависят не только от высокого содержания органического углерода, но и от внешних факторов, таких как: влажность, температура, минерализация и др. [8]. В торфяниках, где выявлено преимущественное образование метана из-за понижения уровня грунтовых вод вследствие осушительной мелиорации, значительно увеличивается образования диоксида углерода [9]. Температура и обводненность торфяной залежи существенно варьируют в течение года.

Цель исследования: оценка сезонной динамики численности микроорганизмов верхового болотного комплекса южноприбеломорского типа.

Материал и методы исследования

Исследования проводили на ненарушенном участке в центре грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива, расположенного в Приморском районе Архангельской области (64° 19' 43" N, 40° 36' 45" E) и относящегося к южноприбеломорскому типу верховых болот.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и pH торфяной залежи определяли с использованием универсального анализатора Expert-001 («Эконикс-Эксперт», Россия) с комбинированным платиновым электродом ERP-105 для измерения значений ОВП (E, мВ) в жидких и гетерогенных средах и комбинированным электродом ESK-10603 для измерения pH.

Пересчет полученных значений Eh на стандартные условия (t=25°C и pH=4,0) проводили с использованием следующих уравнений:

$$E_t = E + 197 - 0,76 \times (t - 25) \quad (1)$$

$$E_h = E_t + 56,2 \times (\text{pH} - 4) \quad (2)$$

где E (мВ) – измеренное значение окислительно-восстановительного потенциала;

197 (мВ) – поправочный коэффициент для полуэлектрода, насыщенного хлоридом серебра, чтобы показания были эквивалентны показаниям обычного водородного электрода при 25°C;

t (°C) – температура торфа в момент измерения.

Отбор репрезентативных проб торфа проводили методом послойного бурения с разделением на 20-сантиметровые горизонты пробоотборником для торфяных отложений Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) по ГОСТ 17644 – 83.

Степень разложения торфа определяли по ГОСТ 10650-2013, тип торфа – методом световой микроскопии (ГОСТ 28245-89) в проходящем свете с использованием микроскопа Altami Био 2 (Россия) в комплекте с цифровой камерой U3CMOS14000KPA, содержание влаги – гравиметрическим методом (ГОСТ 28268-89), зольность – методом сжигания (ГОСТ 11306-2013).

Содержание C, H и N в пробах определяли на анализаторе элементного состава EuroEA 3000 CHN (Eurovector, S.p.A.), а O – по разнице между общей массой и суммой других элементов.

Отбор проб торфа для микробиологических исследований: (1) в морозный период с высоким уровнем снежного покрова (март), (2) в период активного снеготаяния и максимальной обводненности болотного массива (конец мая), (3) в период летней межени (конец июля), (4) в осенний период (начало октября). Торфяной керн извлекали с заданной глубины и, используя стерильные перчатки, отбирали пробу из центральной части каждого керна в стерильную тару. Гомогенизированные пробы торфа переносили в колбы, содержащие 100 мл стерильной воды, и экстрагировали с помощью ультразвуковой обработки (ультразвуковой диспергатор УЗДН-1) в течение 2 минут при силе тока 0,44 А и частоте колебаний 22 кГц.

Микробиологические исследования проводили по общепринятым методикам [10]. Посев производили в 3–5-кратной повторности из соответствующих разведений на следующих средах: мясо-пептонный агар (МПА) для определения аммонифицирующих бактерий, утилизирующих органические формы азота; крахмало-аммиачный агар (КАА) – бактерий, усваивающих минеральные формы азота; декстрозо-пептон-

ный агар Сабуро (ДПА) – грибов и кислотолюбивых бактерий (дрожжей); голодный агар (ГА) – олиготрофных автохтонов. Используемые методы не позволяют учесть все разнообразие жизнеспособных бактерий, но дают общую характеристику состава аэробной и факультативно-анаэробной частей микробного сообщества [11-13].

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно проведенным исследованиям, торфяной залежи Иласского болотного массива свойственны следующие характеристики (таблица). Основная часть залежи сложена малозольным верховым торфом сфагнового типа низкой степени разложения (до 15–20%). В ботаническом торфе преобладает *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. На глубине ниже 240 см появляется переходный торф с более высокой степенью разложения (до 40%), образованный преимущественно травянистой мезотрофной растительностью (*Scheuchzeria palustris* L. и *Eriophorum vaginatum* L.). Доминирование олиготрофных видов согласуется с низким содержанием минеральных компонентов (таблица). Согласно полученным

экспериментальным данным, средние значения зольности по горизонтам, как правило, не превышают 0,9%. Незначительное повышение (до 1,2–1,3%) наблюдается в поверхностном и придонном слоях.

Вся торфяная залежь по степени аэрации и трансформации органического вещества может быть условно поделена на несколько зон (рис. 1): акротелм (торфогенный, аэрируемый слой) зона I (от поверхности до 40 см) и катотелм (не аэрируемый слой) – зона II (ниже 40 см). В катотелме, в свою очередь, можно выделить еще 3 подзоны: зону промерзания (40–100 см), зону консервации (100–300 см) и придонную зону (300–360 см), протяженность которых в вертикальной проекции залежи определяется климатическими, гидрологическими и геологическими особенностями расположения болотного массива. По вертикальному профилю залежи происходят изменения окислительно-восстановительного потенциала (рис. 1) и элементного состава (таблица, рис. 2). Слабоокислительные условия при движении от поверхности вглубь залежи постепенно меняются на слабовосстановительные, а затем – на умеренно восстановительные.

Изменение типа, степени разложения,
зольности и элементного состава торфа по глубине

Горизонт, см	Тип торфа	R,%	Z,%	Атомное содержание			
				N ср	C ср	H ср	O ср
0–20	пушицево-сфагновый	0–5	1,18± 0,02	0,07	4,01	6,95	2,59
20–40	сфагновый	5–10	0,72± 0,01	0,09	4,32	7,11	2,35
40–60	сфагновый	5–10	0,61± 0,01	0,08	4,20	7,02	2,45
60–80	пушицево-сфагновый	5–10	0,85± 0,03	0,11	4,63	7,36	2,07
80–100	сфагновый	10–15	0,91± 0,02	0,13	4,82	7,65	1,90
100–120	пушицево-сфагновый	10–15	0,92± 0,05	0,10	4,61	7,30	2,10
120–140	пушицево-сфагновый	12–17	0,97± 0,01	0,10	4,49	7,31	2,20
140–160	сфагновый	12–17	0,78± 0,01	0,11	4,62	7,26	2,10
160–180	сфагновый	15–20	0,81± 0,02	0,10	4,38	7,03	2,30
180–200	сфагновый	15–20	0,76± 0,03	0,12	4,52	7,33	2,16
200–220	сфагновый	15–20	1,26± 0,02	0,11	4,56	7,22	2,13
220–240	сфагновый	15–20	0,83± 0,02	0,10	4,39	7,28	2,28
240–260	пушицево-сфагновый	20–30	0,73± 0,01	0,13	4,70	7,42	2,01
260–280	пушицево-шейхцериево-сфагновый	20–30	0,9± 0,03	0,13	4,75	7,49	1,96
280–300	шейхцериево-сфагновый	30–35	0,95± 0,02	0,12	4,76	7,18	1,98
320–340	шейхцериево-сфагновый	35–40	1,24± 0,05	0,13	4,73	7,40	1,98
340–360	шейхцериевый	35–40	1,2± 0,01	0,15	4,64	7,20	2,03

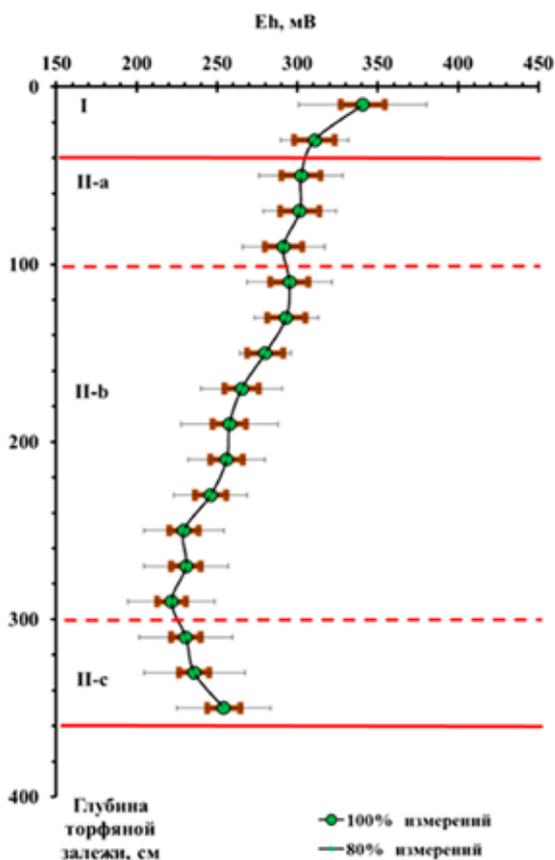


Рис. 1. Изменение окислительно-восстановительного потенциала Eh (мВ) по глубине торфяной залежи

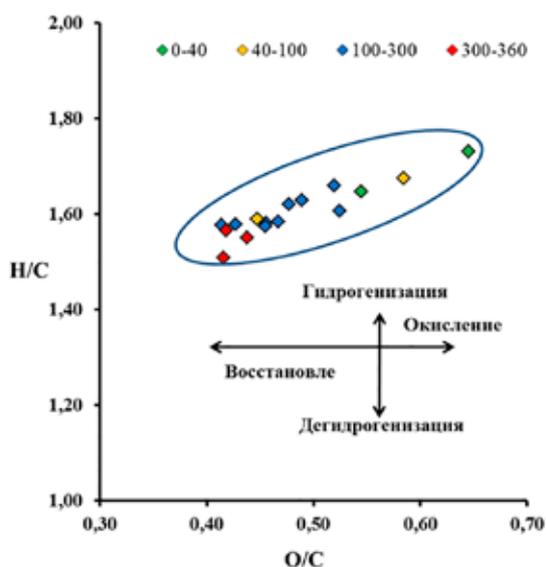


Рис. 2. Диаграмма Ван Кревелена исследованных образцов торфа

Для исследования сезонной динамики численности микроорганизмов были

выбраны слои, различающиеся по окислительно-восстановительному режиму: 0–10, 40–50, 100–110, 150–160, 200–210 и 300–310 см. Согласно полученным данным (рис. 3), численность аммонификаторов на исследуемом участке залежи варьировалась от $0,7 \cdot 10^2$ до $2,9 \cdot 10^5$ КОЕ/г абсолютно сухого торфа (а.с.т.). Максимальное значение во все периоды отбора приходилось на верхний слой акротелма (0–10 см). При продвижении вглубь залежи уже на нижней границе акротелма (40–50 см) наблюдаются резкое снижение их количества в 30 и более раз и дальнейшее сохранение значений на уровне $0,5–3,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г.

Сезонные изменения численности аммонификаторов в акротелме свидетельствуют о ключевом влиянии уровня аэрации и прогрева залежи, что согласуется с исследованиями олиготрофных и эвтрофных болот Западной Сибири [14, 15]. В частности, в зимне-весенний период численность этой группы микроорганизмов практически не менялась и составила $0,98–0,99 \cdot 10^5$ КОЕ/г. Однако повышение температуры воздуха и залежи, а также снижение уровня болотных вод (УБВ) привели к увеличению числа выращенных колоний втрое – до $2,9 \cdot 10^5$ КОЕ/г. Таким образом, максимум численности бактерий, усваивающих органический азот, приходится на июль – период максимального прогрева верхних слоев торфяной залежи, также сопровождающийся минимальными значениями уровня болотных вод (УБВ).

Численность бактерий, усваивающих минеральные формы азота, существенно ниже и варьируется в пределах от $0,9 \cdot 10^2$ до $6,3 \cdot 10^5$ КОЕ/г, в глубинной динамике прослеживаются аналогичные тенденции. Наибольшие значения, так же как и для аммонификаторов, характерны для верхнего слоя акротелма, однако снижение численности происходит не так резко. Сезонный максимум приходится на зимний период, минимальная численность в акротелме составляет $3,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г и приходится на июль. Такая динамика, вероятно, обусловлена переходом азота из органической формы в минеральную и обратно.

Численность грибов и ацидофильных бактерий в торфяной залежи по глубине залегания изменяется аналогичным образом в пределах от $0,2 \cdot 10^2$ до $7,4 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Скачок численности происходит в период прогрева залежи, после весеннего паводка, и достигает максимума в июле, что примерно в 7 раз выше по сравнению с майскими значениями.

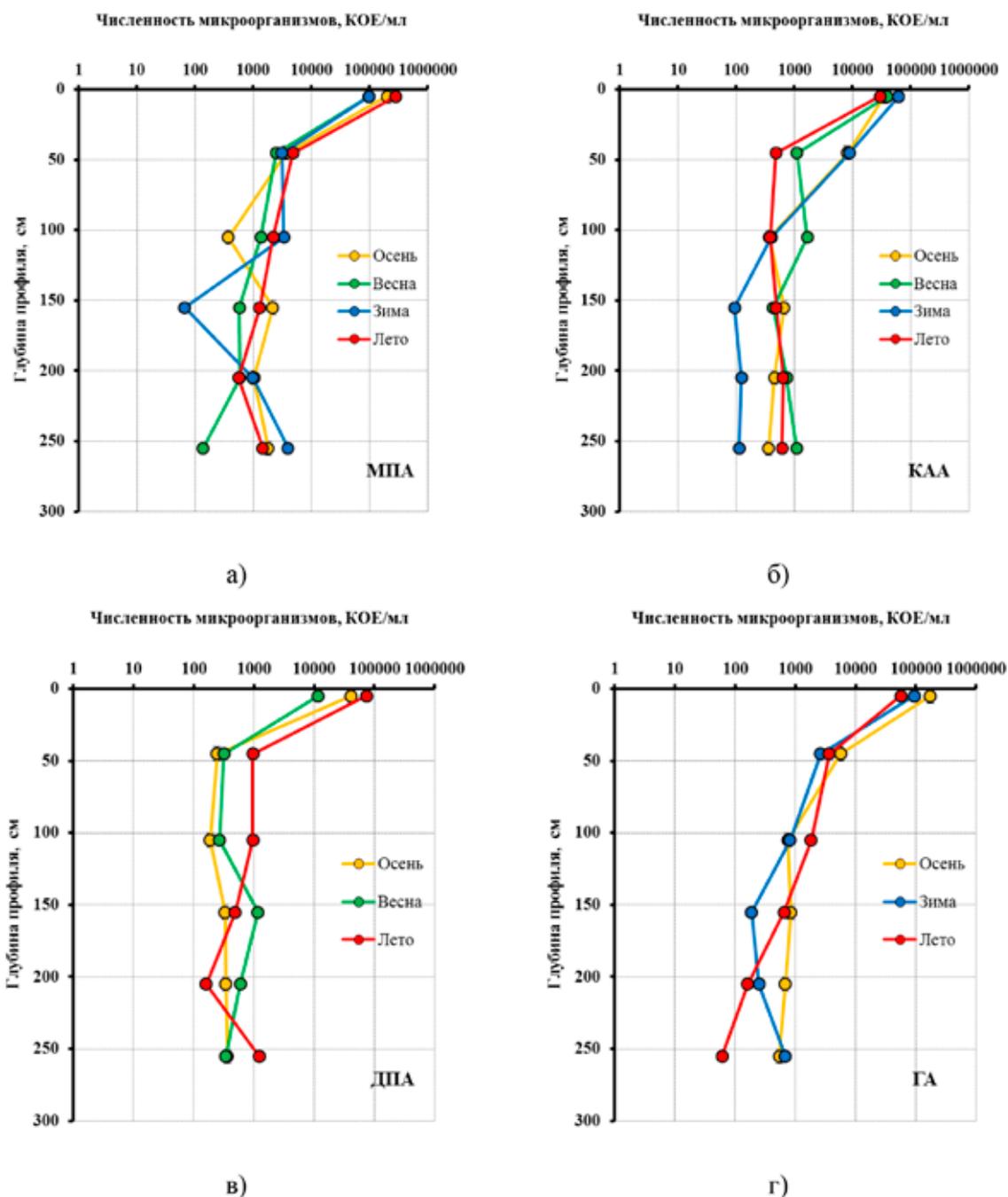


Рис. 3. Сезонная динамика изменения численности микроорганизмов по глубине залежи, выращенных на различных видах агара: а – МПА (мясо-пептонный агар); б – КАА (крахмально-аммиачный агар); в – ДПА (декстрозо-пептонный агар); г – ГА (голодный агар)

Олиготрофные автохтоны, выращиваемые на голодном агаре, – единственная группа микроорганизмов, которая проявляет максимальную активность осенью в период снижения численности аммонификаторов, грибов и дрожжей, что вполне логично. Общий рост численности эвтрофных микроор-

ганизмов в летний период приводит к постепенному дефициту биогенных элементов и, как следствие, к снижению их численности, при этом олиготрофные автохтоны, напротив, при недостатке питательной среды начинают набирать численность, которая достигает предельных значений в октябре ($1,7 \cdot 10^5$ КОЕ/г).

Данные о численности микробных сообществ в верховых болотах свидетельствуют о протекании процессов микробиологической деструкции по всей глубине залежи. Однако их интенсивность значительно снижается с глубиной. Отчасти это может быть связано с высоким содержанием в верховых торфах мохового типа сфагнанов, особенно устойчивых к биодеградации в условиях кислой среды (рН = 3,7–4,9), и сфагнолов – компонентов фенольной природы, проявляющих в анаэробных условиях высокую токсичность по отношению к микроорганизмам [14]. При этом наиболее достоверно данные тенденции позволяют объяснить участие анаэробной биоты и действие экзосферментов, что требует в дальнейшем более детального изучения.

Выводы

1. Для всех морфологических групп микроорганизмов характерно увеличение относительных колебаний сезонной численности при углублении рассматриваемой залежи. При этом наиболее сильно меняется количество амминифицирующих бактерий (от 1,9 до 28,9 раза) и нитрифицирующих бактерий (от 2,1 до 18,4 раза). Олиготрофные бактерии изменяются по глубине более однородно (от 11,1 до 2,4 раза), как и грибы с ацидофильными бактериями (от 6,4 до 3,5 раза).

2. Наибольшие количественные сезонные изменения происходят в чувствительном к воздействию сезонных изменений климатических факторов молодом верхнем слое залежи (0–40 см), поскольку он напрямую подвержен действию солнечной радиации и осадков, определяющих величину колебаний уровня болотных вод. Нижележащие и в той или иной мере изолированные слои залежи, формирование которых растянуто во времени, в меньшей мере подвержены сезонным климатическим пульсациям. При этом они могут служить источником информации о влиянии долговременных климатических воздействий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках Минобрнауки России в рамках темы № FUUW–2022–0067 «Особенности образования и диагенеза органического вещества в условиях водно-болотных экосистем Арктической зоны РФ».

Список литературы

1. Юрковская Т.К. География и картография растительности болот европейской России и сопредельных территорий. СПб.: Ботанический институт им. В.Л. Комарова, 1992. 256 с.
2. Кац Н.Я. Болота земного шара. М.: Наука, 1971. 295 с.
3. Грабовик С.И. Рост и продуктивность ценопопуляций сфагновых мхов на естественных и трансформированных болотах Карелии // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2016. № 4. С. 59–69.
4. Заварзин Г.А. Цикл углерода в природных экосистемах России // Природа. 1994. 7. С. 1–15.
5. Morgalev Y.N., Lushchaeva V., Morgaleval T.G., Kolesnichenko L.G., Loiko S.V., Krickov I.V., Lim A., Raudina T.V., Volkova I.I., Shirokova L.S., Morgalev S.Y., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. Bacteria primarily metabolize at the active layer/permafrost border in the peat core from a permafrost region in western Siberia. *Polar Biol.* 2017. Vol. 40. No. 8. P. 1645–1659. DOI: 10.1007/s00300–017–2088–1.
6. Аветова Н.А., Кузнецов О.Л., Шишконокова Е.А. Почвы олиго-мезотрофных и мезотрофных болот бореального пояса Западной Сибири: возможности геоботанической диагностики в рамках типа торфяных мезотрофных почв // Почвоведение. 2021. № 5. С. 568–581. DOI: 10.31857/S0032180X21030023.
7. Хахинов В.В., Намсараев Б.Б., Доржиева Г.С.–С., Бурюхаев С.П. Гидрохимическая и микробиологическая характеристика экосистем перешейка полуострова святой нос (озеро Байкал) // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 65–71.
8. Martí M., Nilsson M.B., Danielsson A., Lindgren P.–E., Svensson B.H. Strong long-term interactive effects of warming and enhanced nitrogen and sulphur deposition on the abundance of active methanogens in a boreal oligotrophic mire. *Mires and Peat.* 2019. Vol. 24. No. 29. P. 1–14. DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.398.
9. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096. DOI: 10.7868/S0032180X15090038.
10. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
11. Zubov I.N., Orlov A.S., Selyanina S.B., Zabelina S.A., Ponomareva T.I. Redox potential and acidity of peat are key diagnostic physicochemical properties for the stratigraphic zones of a boreal raised bog. *Mires and Peat.* 2022. Vol. 18. No. 5. P. 1–16. DOI: 10.19189/MaP.2020.GDC.StA.1987.
12. Elliott D.R., Caporn S.J.M., Nwaishi F., Nilsson R.H., Sen R. Bacterial and fungal communities in a degraded raised peatland undergoing natural and managed re-vegetation. *PLoS ONE.* 2015. Vol. 10. No. 5. Art. e0124726. DOI: 10.1371/journal.pone.0124726.
13. Mosharova I.V., Ilinskii V.V., Akulova A.Y., Mosharov S.A. Ecological-microbiological studies of Lake Beloe in winter and spring with the use of innovation test-systems. *Water Resources.* 2019. Vol. 46. No. 6. P. 959–965. DOI: 10.1134/S0097807819060149.
14. Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г. Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках – анализ причин медленной деструкции торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 128 с.
15. Инишева Л.И. Динамика биохимических процессов и окислительно-восстановительное состояние в геохимически сопряженных ландшафтах олиготрофного болота // Почвоведение. 2016. № 4. С. 505–513. DOI: 10.7868/S0032180X16040055.

СТАТЬИ

УДК 66.021.4

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ АКТИВИЗАЦИИ ХИМИКО-ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В КОКСОВОЙ ЗОНЕ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Бобков В.И., Никифоров В.А., Панченко С.В.

*Смоленский филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

В настоящей работе исследуются особенности протекания гетерогенных реакций при барботировании газа, выделяющегося в процессе реагирования при контакте с твердым реагентом-восстановителем, с учётом особенностей гидродинамики и тепломассопереноса при протекании реакции восстановления в коксовой зоне руднотермической печи, когда процесс осложняется образованием газовой фазы, барботирующей через расплав. Пузырьки формируют условия, интенсифицирующие перемешивание, вследствие чего активизируются химико-энерготехнологические процессы восстановления. Основной особенностью реагирования является активная диффузия реагента из-за интенсивного перемешивания, что смещает процесс восстановления в кинетическую область. Главными факторами на данном этапе выступают температура в реакционной зоне и концентрация реагента в её объеме. Реакция восстановления и образование пузырьков газа влияют на образование конвективных потоков, из-за воздействия температуры и концентрации реагента. Гидродинамические аспекты взаимного действия пузырьков газа и жидкой фазы обладают специфическими особенностями, обусловленными локальным действием на жидкую фазу. Интенсивность такого воздействия напрямую зависит от градиента газосодержания. Научно обосновано, что скорость реакции восстановления является определяющим фактором для газосодержания, а, следовательно, для перемешивания. Для описания меры воздействия газосодержания на гидродинамику уравнения фильтрации дополнены эффективными критериями, которые характеризуют зависимость реакции восстановления через тепловое и концентрационное влияние. Коэффициентов, определяющих влияние химической реакции на гидродинамику, существенно больше параметров, определяющих естественную и концентрационную конвекцию, что в действительности влияет на характер расплава в зоне реакции руднотермической печи. Содержательная постановка задачи определяется оценкой влияния малых возмущений температур и концентраций на гидродинамические аспекты фильтрующегося расплава сквозь коксовый слой. Установлено, что отличительной особенностью химико-энерготехнологических процессов восстановления является возникновение и формирование диссипативных гидродинамических структур, которые определяют теплофизические характеристики реакционной зоны восстановительного реактора, в частности температуры и концентрации реагентов. Синергетические аспекты характера реакционного объема руднотермической печи существенно влияют на возможность управления, а значит, их следует использовать и учитывать при формировании режимов функционирования электротермических восстановительных реакторов.

Ключевые слова: рудное сырьё, руднотермическая печь, реакция восстановления, температура, математическое моделирование, гидродинамика, структура, нагрев

PECULIARITIES OF HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER DURING ACTIVATION OF CHEMICAL AND ENERGY TECHNOLOGICAL RECOVERY PROCESSES IN COKE ZONE OF ORE-THERMAL FURNACE

Bobkov V.I., Nikiforov V.A., Panchenko S.V.

*Smolensk Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute,
Smolensk, e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

This work examines the peculiarities of heterogeneous reactions during bubbling of gas released in the process of reaction upon contact with a solid reducing reagent, taking into account the peculiarities of hydrodynamics and heat and mass transfer during the reduction reaction in the coke zone of the ore-thermal furnace, when the process is complicated by the formation of a gas phase bubbling through the melt. Bubbles form conditions intensifying mixing, as a result of which chemical and energy technological processes of reduction are activated. The main feature of the response is the active diffusion of the reagent due to intense mixing, which shifts the reduction process to the kinetic region. The main factors at this stage are the temperature in the reaction zone and the concentration of the reagent in its volume. The reduction reaction and the formation of gas bubbles affect the formation of convective flows due to the effects of temperature and reagent concentration. Hydrodynamic aspects of the mutual effect of gas and liquid phase bubbles have specific features due to the local effect on the liquid phase. The intensity of such exposure directly depends on the GOR gradient. It has been scientifically substantiated that the reduction reaction rate is the determining factor for the gas content and therefore mixing. To describe the measure of the effect of gas content on hydrodynamics, the filtration equations are supplemented with effective criteria that characterize the dependence of the reduction reaction through thermal and concentration effects. The coefficients determining the influence of the chemical reaction on hydrodynamics are significantly greater than the parameters determining natural and concentration convection, which actually affects the nature of the melt in the reaction zone of the ore-thermal furnace. A meaningful statement of the problem is determined by assessing the effect of small temperature perturbations and concentrations on the hydrodynamic aspects of the filtered melt through the coke layer. It has been established that a distinctive feature of chemical-energy-technological reduction processes is the emergence and formation of dissipative hydrodynamic structures that determine the thermophysical characteristics of the reaction zone of the reduction reactor, in particular the temperature and concentration of reagents. Synergistic aspects of the nature of the reaction volume of the ore-thermal furnace significantly affect the possibility of control, which means that they should be used and taken into account when forming the operating modes of electrothermal reduction reactors.

Keywords: ore raw materials, ore thermal furnace, reduction reaction, temperature, mathematical modeling, hydrodynamics, structure, heating

Для энергоёмких рудотермических печей переработки рудного сырья характерны повышенные температуры расплава, в котором происходят различные химико-технологические процессы, и в частности реакции восстановления с образованием газообразной окиси углерода, барботирующей сквозь расплав [1; 2]. Всплывающие пузырьки этого газа интенсивно перемешивают жидкостный расплав. Энергетическая эффективность химико-технологических процессов гетерогенного реагирования главным образом определяется тепловыми процессами массотеплопереноса, формирующими тепловой и гидродинамический профиль реактора, а также обеспечивает поставку реагента в зону реакции [3; 4]. Прямое экспериментальное исследование электро-термических процессов затруднено трудностью доступности реакционной зоны, высокой температурой и т.д. Поэтому довольствуются фиксацией доступных извне параметров при обследовании режимов работы реакторов или изучением лишь низкотемпературных зон [5; 6]. Для численного моделирования весьма важна предварительная аналитическая оценка явлений, сопровождающих целевые процессы [7; 8].

В процессах восстановления с выделением газофазных продуктов в жидкости химические реакции зачастую определяют гидродинамическое состояние реакционного пространства [9; 10]. Ниже рассматриваются режимы реагирующей многофазной среды, где интенсивность процессов энергообмена во многом определяется барботирующими продуктами реакции в газофазной форме.

Качественный и количественный анализ особенностей теплоэнергетического и гидродинамического профиля высокотемпературной зоны протекания гетерогенных реакций рудотермической печи и расплава реагирующего рудного сырья, барботируемого газообразными продуктами реакций восстановления в виде пузырьков, позволяет описывать гидродинамику и теплоперенос системой дифференциальных уравнений с частными производными [11; 12].

Считается, что движение жидкой фазы провоцируется разностью плотностей жидкости за счет температуры, концентрации реагента и наличия газовой фазы в виде пузырьков [13; 14]. Рассматриваемая система представляется двумерной структурой: высотой H и шириной L , в виде дисперсного рудного шихтового материала с порозностью ε и жидкофазного расплава [15].

Цель работы заключается в математическом описании и расчёте характеристик конвективных потоков, формирующихся из-за изменения плотности, и влияния этих характеристик на теплоэнергетический и гидродинамический профиль высокотемпературной зоны рудотермической печи, где протекают эндотермические гетерогенные реакции восстановления.

Материал и методы исследования

Уравнения, описывающие движение фильтрующейся жидкости, перенос массы, тепла и газовой фазы в виде пузырьков, записываются в безразмерной форме:

$$\begin{aligned} \nabla v &= 0, \\ \frac{1}{\sigma \text{Pr}^*} \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} &= \\ &= -\nabla p + (\mathbf{Ra}_\theta \theta + \mathbf{Ra}_c c + \mathbf{Ra}_\varphi \varphi_g) \bar{y} - \bar{v} + \frac{F_s}{\text{Pr}_p} \bar{v} |\bar{v}|, \\ \frac{1}{\sigma} \frac{\partial c}{\partial t} &= -\bar{v} \nabla c + \text{Le} \nabla^2 c + \mathbf{Da} \omega_R(c, \theta), \quad (1) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} &= -\bar{v} \nabla \theta + \nabla^2 \theta + \mathbf{Da} B \omega_R(c, \theta) + Q, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\bar{v} \nabla N + D_N \Delta N + \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_b),$$

здесь c – степень превращения, $c = 1 - C^*/C_0^*$, здесь C^* и C_0^* – концентрации, конечная и начальная соответственно; t – безразмерное время $t = (t^* a^*) / (H^2 \sigma)$, здесь t^* – время, s ; a^* – температуропроводность, m^2/s ; σ – соотношение теплоемкостей $\sigma = 1 + (\rho_s C_{ps} (1 - \varepsilon)) / (\rho_l C_{pl} \varepsilon)$; ρ_s, ρ_l – плотности носителя, твердого и жидкого соответственно; C_{ps}, C_{pl} – теплоемкости твердого и жидкого носителя; ε – порозность; Le – безразмерный критерий Льюиса, $\text{Le} = D_e / a^*$, где D_e – коэффициент эффективной диффузии; \mathbf{Da} – безразмерный критерий Дамкеллера, $\mathbf{Da} = (k_0 \exp(-\gamma) L^2 C_0^{n-1}) / (\varepsilon a^*)$, k_0 – предэкспоненциальный множитель, $\gamma = E / RT_0$ – безразмерная энергия активации, T – температура, R – универсальная газовая постоянная, индекс $\langle 0 \rangle$ обозначает начальные значения, $\langle n \rangle$ – порядок реакции; θ – безразмерная температура, $\theta = \gamma (T - T_0) / T_0$; B – безразмерный тепловой эффект реакции, $B = (Q_R C_{ps} \gamma) / (\rho_l C_{pl} T_0)$; N – количество пузырьков; D_N – коэффициент диффузии пузырьков; V_b – объём пузырьков, $p = (p^* k) / (\mu_l a^*)$, где p^* – давление, Па;

k – коэффициент проницаемости; μ_l – динамическая вязкость жидкости, Па·с; $\mathbf{Pr}^* = \nu_l H^2 / (ka^*)$, \mathbf{Pr}^* – критерий Дарси;

$$\mathbf{Ra}_\theta = \beta_\theta g k H (T_0 / \gamma) / (\nu a^*),$$

$$\mathbf{Ra}_c = \beta_c g k H (T_0 / \gamma) / (\nu a^*),$$

$$\mathbf{Ra}_\varphi = \beta_\varphi g k H (T_0 / \gamma) / (\nu a^*).$$

$\beta_c, \beta_\varphi, \beta_\theta$ – коэффициенты объемного расширения массового, термического и газофазного, с учётом изменения плотности из-за наличия газовой фазы.

Граничные условия имеют вид: $c = \theta = 0$, при $y = 0$. $n \nabla c = n \nabla \theta = 0$ для всех границ, а у боковой стенки рудотермической печи $nv = 0$.

Учитывая малость коэффициента диффузии пузырьков D_N и градиента ∇N , уравнение переноса газовой фазы представим следующими соотношениями:

$$\frac{\partial N}{\partial t^*} \approx \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_g),$$

$$N \approx \int \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_g) dt. \quad (2)$$

Отсюда получим $\varphi_g \approx \omega_R \gamma_g \tau_R / \rho_g$, где τ_R – время пребывания пузырьков в слое.

$$\omega_R(c, \theta) = \frac{\partial c}{\partial t} = k_0 S (1 - c)^n \exp \left[\frac{\theta}{1 + \theta / \gamma} \right] \quad (3)$$

$$0 = -\nabla p + (\mathbf{Ra}_\theta \theta + \mathbf{Ra}_c c + \mathbf{Ra}_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g) (a - ac + b\theta - bc\theta)) \vec{y} - \vec{v}.$$

Или при использовании возмущенной и линеаризованной формы:

$$0 = -\nabla p_1 + ((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g) \omega_\theta) \theta_1 + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g) \omega_c) c_1) \vec{y} - \vec{v}_1. \quad (5)$$

Используя оператор rot в уравнении движения для условий равновесия, то есть при скорости равной нулю, можно доказать одномерность по оси Oy распределения температур и концентраций. Зависимости температур и концентраций в равновесных условиях получаются экспоненциальными, в диапазоне температур от T_0 до T_1 . Температурное и концентрационное поле в состоянии равновесия аппроксимируем линейной зависимостью, например для температуры: $T = T_1 - \beta y$, $\beta = (T_1 - T_0) / H$.

После использования возмущенных компонент линеаризованные уравнения примут вид:

$$\nabla \vec{v} = 0$$

$$((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \theta_1 + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_c) c_1) \vec{y} - \vec{v}_1 - \nabla p_1 = 0$$

$$\mathbf{Le} \nabla^2 c_1 + (Fk / B) (\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) - \vec{v}_0 \vec{\nabla} c_1 - \vec{v}_1 \vec{\nabla} c_0 = 0 \quad (6)$$

$$\nabla^2 \theta_1 + Fk (\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) - \vec{v}_0 \nabla \theta_1 - \vec{v}_1 \nabla \theta_0 = 0$$

$$R_\varphi = k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g, \quad \omega_\theta, \omega_c - \text{коэффициенты, при разложении в ряд.}$$

Учитывая гетерогенную реакцию восстановления, как реакцию первого порядка, и раскладывая экспоненту в ряд до первого порядка, получим соотношение:

$$\begin{aligned} \omega_R(c, \theta) &= \frac{\partial c}{\partial t} \approx k_0 S (1 - c) (a + b\theta) = k S a - ac - b c \\ &= k_0 S (a - ac + b\theta - bc\theta), \quad (4) \end{aligned}$$

а тогда:

$$\varphi_g \approx (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g) (a - ac + b\theta - bc\theta).$$

Решение такой задачи даже численно представляет собой определенную трудность.

Для аналитического исследования поведения этой системы сделаем ряд упрощений. Рассмотрим слой, находящийся между горизонтальными плоскостями с температурами T_0 и T_1 . Предполагая поставленную задачу стационарной и двумерной, учитывая, что скорость фильтрации жидкости невысокая, в уравнении движения можно пренебречь нелинейностью. Учитывая небольшие отклонения величин, входящих в уравнения, получим соотношения для:

$$v = v_0 + v_1, \quad \theta = \theta_0 + \theta_1, \quad c = c_0 + c_1.$$

А в состоянии равновесия принимаем равенство: $v = 0$.

Уравнение для фильтрации записываем в виде:

Описывая функцию тока ψ уравнениями: $v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v_y = -\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x}$, получим упрощенную запись для уравнений движения:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} + v_x = 0, \quad (\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \theta_1 + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_c) c_1 - v_y - \frac{\partial p}{\partial y} = 0.$$

И после исключения давления систему уравнений представим в форме:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_c) \frac{\partial c_1}{\partial x} \right) &= 0, \\ \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x} + Fk (\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) &= 0, \\ \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_1}{\partial y^2} - \frac{1}{\mathbf{Le} \alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x} + (Fk / \mathbf{Le} B) (\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

С учётом затухающих возмущений на границах, не покидающих рассматриваемую область, удаётся записать граничные условия в виде:

$$\begin{aligned} x=0, \quad 0 < y < 1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0; \quad x=1, \quad 0 < y < 1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0; \\ y=0, \quad 0 < x < 1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0; \quad y=1, \quad 0 < x < 1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Анализируя зависимость решений системы (7) от малых возмущений, будем строить решение, удовлетворяющее граничным условиям, следующим образом:

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \sin n\pi y, \quad \theta_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n \sin n\pi y, \quad c_1 = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin n\pi y, \quad (9)$$

где ψ_n, θ_n, c_n – функции от x .

Подставляя выражения (5.9) в уравнения (5.7), получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \psi_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 \psi_n + \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \frac{d\theta_n}{dx} + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_c) \frac{dc_n}{dx} \right) &= 0, \\ \frac{d^2 \theta_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 \theta_n - \frac{d\psi_n}{dx} + Fk (\omega_\theta \theta_n + \omega_c c_n) &= 0, \\ \frac{d^2 c_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 c_n - \frac{1}{\mathbf{Le} \alpha} \frac{d\psi_n}{dx} + \frac{Fk}{\mathbf{Le} B} (\omega_\theta \theta_n + \omega_c c_n) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

С граничными условиями:

$$\psi_n(0) = \psi_n(1) = 0, \quad \theta_n(0) = \theta_n(1) = 0, \quad c_n(0) = c_n(1) = 0. \quad (11)$$

Из исходной системы уравнений (10) сформируем дифференциальное уравнение четвертого порядка относительно ψ_n , для этого первое уравнение системы (10) продифференцируем дважды по x и получим:

$$\frac{d^4 \psi_n}{dx^4} - n^2 \pi^2 \frac{d^2 \psi_n}{dx^2} + \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \frac{d^3 \theta_n}{dx^3} + (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\varphi R_\varphi \omega_c) \frac{d^3 c_n}{dx^3} \right) = 0 \quad (12)$$

Уравнения второго порядка для θ_n и c_n системы (10) дифференцируем по x :

$$\begin{aligned} \frac{d^3 \theta_n}{dx^3} - n^2 \pi^2 \frac{d\theta_n}{dx} - \frac{d^2 \psi_n}{dx^2} + Fk \left(\omega_\theta \frac{d\theta_n}{dx} + \omega_c \frac{dc_n}{dx} \right) &= 0 \\ \frac{d^3 c_n}{dx^3} - n^2 \pi^2 \frac{dc_n}{dx} - \frac{1}{\mathbf{Le} \alpha} \frac{d^2 \psi_n}{dx^2} + \frac{Fk}{\mathbf{Le} B} \left(\omega_\theta \frac{d\theta_n}{dx} + \omega_c \frac{dc_n}{dx} \right) &= 0 \end{aligned}$$

Подставляя выражения производных третьего порядка в уравнение (12) для функции тока:

$$\frac{d^4 \Psi_n}{dx^4} - n^2 \pi^2 \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2} + \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_\theta) \left(n^2 \pi^2 \frac{d\theta_n}{dx} + \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2} \right) - Fk \left(\omega_\theta \frac{d\theta_n}{dx} + \omega_c \frac{dc_n}{dx} \right) \right) +$$

$$+ (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_c) \left(n^2 \pi^2 \frac{dc_n}{dx} + \frac{1}{\mathbf{Le} \alpha} \frac{\partial^2 \Psi_n}{\partial x^2} - \frac{Fk}{\mathbf{Le} B} \left(\omega_\theta \frac{d\theta_n}{dx} + \omega_c \frac{dc_n}{dx} \right) \right) = 0,$$

и объединяя множители, можно выделить следующие коэффициенты системы:

$$a_{11} = \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_\theta) (n^2 \pi^2 - Fk \omega_\theta) - (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_c) \frac{Fk}{\mathbf{Le} B} \omega_\theta \right),$$

$$a_{12} = \frac{1}{\alpha} \left((\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_c) \left(n^2 \pi^2 - \frac{Fk}{\mathbf{Le} B} \omega_c \right) - (\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_\theta) Fk \omega_c \right),$$

$$b_1 = - \left(\frac{d^4 \Psi_n}{dx^4} - n^2 \pi^2 \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2} + \frac{1}{\alpha} (\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_\theta) \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2} + \frac{1}{\alpha} (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_c) \frac{1}{\mathbf{Le}} \frac{\partial^2 \Psi_n}{\partial x^2} \right),$$

$$a_{21} = \frac{1}{\alpha} (\mathbf{Ra}_\theta + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_\theta),$$

$$a_{22} = \frac{1}{\alpha} (\mathbf{Ra}_c + \mathbf{Ra}_\phi R_\phi \omega_c),$$

$$b_2 = n^2 \pi^2 \Psi_n - \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2}.$$

Таким образом, получается система линейных уравнений относительно $d\theta_n/dx$, dc_n/dx . Далее, для полученных двух линейных уравнений, определяем соотношения для первых производных от температуры и концентрации, затем, подставляя в первое уравнение для функции тока, получим обыкновенное дифференциальное уравнение четвертого порядка, описывающее функции тока от x и y :

$$\frac{d^4 \Psi_n}{dx^4} + f_1 \frac{d^2 \Psi_n}{dx^2} + f_2 \Psi_n = 0. \quad (13)$$

Учитывая, что решение (13) ищется в виде: $\Psi_n = e^{px}$, записываем характеристическое уравнение как: $p^4 + f_1 p^2 + f_2 = 0$. Обоснованно заключаем, что функции тока описываются гармоническими функциями вида: $\Psi_n = C \sin(px) \sin(\pi ny)$, где C – произвольная const.

С использованием найденных функций тока определим компоненты вектора скорости \vec{v} :

$$\partial \Psi_n / \partial y = \pi n C \sin(px) \cos(\pi ny),$$

$$v_y = \partial \Psi_n / \partial x = p C \cos(px) \sin(\pi ny).$$

Траектория движения газовой фазы математически описывается уравнениями: $dx/d\tau = v_x$, $dy/d\tau = v_y$, а траектория движения представляется равенством:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\pi n C}{p C} \operatorname{tg}(px) \cdot \operatorname{ctg}(\pi ny).$$

Решением этого уравнения будет соотношение: $\sin(px) \sin(\pi ny) = Tr$, здесь: $Tr = \text{const}$, которую можно найти из начальных условий.

Результаты исследования и их обсуждение

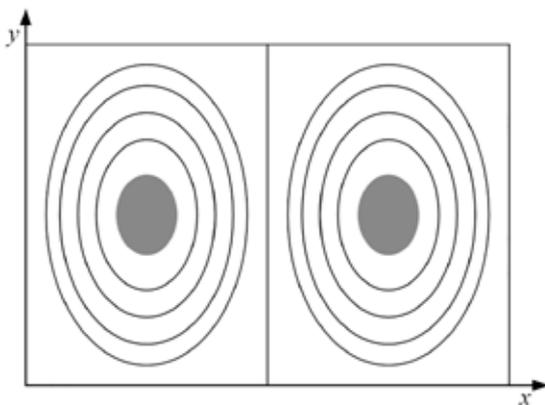
Важное значение имеют изолинии, в которых $Tr = 0$. Эти изолинии определяются уравнениями:

$$\pi ny / H = \pi m_1, \quad y = m_1 H / n,$$

$$px / L = \pi m_2, \quad x = m_2 \pi L / p,$$

где $m_1, m_2 \in \mathbf{Z}$.

Такие прямые делят зону реакций на множество отдельных ячеек. Жидкая фаза в виде расплава движется в этих ячейках, не покидая их пределов, так как компоненты скорости на границах ячеек равны нулю, то есть траектории движения жидкой фазы границ ячеек не пересекает (рисунок).



Структура траекторий движения жидкой фазы расплава в ячейке

Для каждой отдельной ячейки жидкая фаза движется внутри по замкнутой траектории вокруг ядра, внутри которого расплав неподвижен. Обнаруженная картина движения расплава в зоне гетерогенной реакции рудотермической печи качественно доказывает существование диссипативных структур в гидродинамических структурах. Она позволяет оценивать режим функционирования рудотермической печи, который образует вихревые потоки, формирующиеся под воздействием пузырьков газа. Пузырьки газообразной фазы барботируют сквозь жидкофазную среду расплава реакционной зоны рудотермической печи и интенсифицируют перемешивание и, как следствие, тепломассообменные и химико-энерготехнологические термически активируемые процессы.

Заключение

Установлено, что в реакционной зоне восстановительного реактора за счет образования газовой фазы возникают дополнительные факторы, влияющие на изменение плотности жидкой фазы и изменения архимедовой составляющей, значительно превосходящей по величине концентрационную и температурную. Поскольку скорость образования пузырьков и их количество зависят от температуры и концентрации, процессы перемешивания и энергообмена являются взаимосвязанными.

Перемешивание является способом подачи массы реагента и повышения эффективности целевых процессов. Научно обосновано, что формирование микровихрей в ячеистой структуре реакционной зоны – интенсифицирует тепломассообменные и химико-энерготехнологические термически активируемые процессы.

При увеличении эквивалентного критерия Релея возникают новые траектории конвективного движения, что изменяет упорядоченное движение конвективных потоков и обеспечивает неустойчивость конвективного движения жидкой фазы расплава. Такой режим образует беспорядочный или турбулентный профиль движения жидкой фазы даже для систем, функционирующих в ограниченном объеме. Учет синергетических возможностей в такого рода системах позволяет программировать управляющие воздействия и более корректно обеспечивать достижение эффективного воздействия на целевые процессы.

Выводы

1. Показан механизм воздействия пузырьков газовой фазы, образующейся при протекании восстановительной реакции, на гидродинамику реакционной зоны.
2. Скорость реакции для линеаризованной экспоненты, представленная для возмущенных компонентов, сводит результирующее действие к сумме действия температуры и концентрации.
3. Получено, что воздействие газовой фазы сводится к воздействию температуры и концентрации, но это воздействие существенно эффективней.
4. Аналитически показано существование гидродинамических диссипативных структур, обеспечивающих перемешивание реагирующего расплава в реакционной зоне.
5. Таким образом, интенсифицирующее воздействие на процессы массопереноса заключается в основном за счет самой реакции восстановления, и, зная механизм воздействия, есть возможность рационально управлять такими процессами.

Разработанная гидродинамическая модель формирования микрослоя и его реагирования при контакте с твердым реагентом-восстановителем и анализ закономерностей протекания гетерогенных реакций при барботировании газа, выделяющегося в процессе реакций, учитывает полученные соотношения для критических условий массопереноса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00335, <https://rscf.ru/project/22-11-00335/>.

Список литературы

1. Бобков В.И., Орехов В.А. Особенности проведения экспериментального обследования температурного режима функционирования обжиговой конвейерной машины // Успехи современного естествознания. 2022. № 10. С. 100-105.
2. Пучков А.Ю., Лобанева Е.И., Култыгин О.П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1.
3. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 1. С. 11-22.
4. Курилин С.П., Соколов А.М., Прокимов Н.Н. Компьютерная программа для моделирования показателей технического состояния электромеханических систем // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 105-119.
5. Новичихин А.В., Шорохова А.В. Процедуры управления поэтапной переработкой железорудных отходов горнопромышленных районов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 60. № 7. С. 565-572.
6. Бобков В.И. Энергосбережение в технологии сушки материала в плотном слое на основе интенсификации тепло-массообмена // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12-4. С. 585-589.
7. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 8. С. 53-57.
8. Ильин И.В., Лёвина А.И., Калязина С.Е. Function-oriented approach to mining enterprise automation // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 5-19.
9. Tian Y., Qin G., Zhang Y., Zhao L., Yang T. Experimental research on pellet production with boron-containing concentrate // Characterization of Minerals, Metals, and Materials. 2020. P. 91-102.
10. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщенная структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48-52.
11. Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Yusupkhodjayev A.A. Technological parameters of the process of producing metallized iron concentrates from poor raw material. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. № 8(11). P. 600-603.
12. Kossoy A. Effect of thermal inertia-induced distortions of DSC data on the correctness of the kinetics evaluated. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2021. Т. 143. № 1. С. 599-608.
13. Kavchenkov V. P., Kavchenkova E. V., Chernenkov I. D. Modeling of the relationship between the earth population growth and the electric energy production processes. Journal of Applied Informatics. 2021. Vol. 16. No. 4 (94). P. 110-121.
14. Dli M.I., Vlasova E.A., Sokolov A.M., Morgunova E.V. Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language // Journal of Applied Informatics. 2021. Vol. 16. No. 1 (91). P. 22-31.
15. Бобков В.И., Орехов В.А. Исследование аэродинамики полифракционного слоя рудного сырья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 67-72.

УДК 622:532:004.9

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ МЕТОДОВ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНИТОРИНГЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АРКТИКИ

Калашник А.И.

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, e-mail: a.kalashnik@ksc.ru

Показана актуальность диагностики и мониторинга накопителей жидких промышленных отходов западной части российского сектора Арктики (на примере Мурманской области) как особо ответственных объектов (I–II класс опасности). Разработаны методические основы применения мультидисциплинарных методов для многоуровневых наблюдений в системе мониторинга: гидротехника, гидрогеология, геомеханика, геодезия, геофизика, GPS геодезия, аэрофотосъемка, ДЗЗ, геоинформатика, компьютерное моделирование, цифровые технологии. Многоуровневый мониторинг выполняется на четырех уровнях, соотнесенных с земной поверхностью: спутниковом, воздушном, наземном и подповерхностном (подземном). Спутниковый уровень включает в себя GPS геодезию, обработку и анализ оптических, спектральных и радарных снимков (ДЗЗ). Воздушный уровень базируется на различных видах цифровой аэрофотосъемки. Основу наземного уровня составляют роботизированные геодезические измерения, лазерное и радарное сканирование поверхности накопителей отходов и рельефа. Подземный уровень включает в себя гидрогеологические измерения, сейсмоотографию и георадарное зондирование как ограждающих сооружений, так и намывных отложений отходов. На основе полученных натурных результатов создаются гидрогеомеханические 3D модели накопителей и выполняется моделирование формирования и трансформации фильтрационно-деформационных процессов. Такой подход в различном комплексировании мультидисциплинарных методов, как на одном, так и на разных уровнях, позволяет решать задачи мониторинга в иерархии: от накопителя жидких промышленных отходов как объекта в целом (десятки квадратных километров) до отдельных компонентов (километры и сотни метров) и локальных участков (метры и доли метров). Приведены примеры применения мультидисциплинарных методов и цифровых технологий в мониторинге накопителей жидких промышленных отходов горнодобывающих предприятий западной части Арктики (Мурманская область).

Ключевые слова: накопитель жидких промышленных отходов, многоуровневый мониторинг, цифровые технологии, западная часть Арктики, Мурманская область

APPLICATION OF MULTIDISCIPLINARY METHODS AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN MONITORING OF LIQUID INDUSTRIAL WASTE STORAGE IN THE WESTERN PART OF THE ARCTIC

Kalashnik A.I.

Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, e-mail: a.kalashnik@ksc.ru

The relevance of diagnostics and monitoring of liquid industrial waste accumulators in the western part of the Russian sector of the Arctic (using the example of the Murmansk region) as particularly critical objects (hazard class I-II) is shown. The methodological basis for the use of multidisciplinary methods for multi-level observations in the monitoring system has been developed: hydraulic engineering, hydrogeology, geomechanics, geodesy, geophysics, GPS geodesy, aerial photography, remote imaging, geoinformatics, computer modeling, digital technologies. Multilevel monitoring is carried out at 4 levels related to the earth's surface: satellite, air, ground and subsurface (underground). The satellite level includes GPS surveying, processing and analysis of optical, spectral and radar images (DZZ). The air level is based on various types of digital aerial photography. The ground level is based on robotic geodetic measurements, laser and radar scanning of the surface of waste storage and relief. The underground level includes hydrogeological measurements, seismotomography and geo-radar sounding of both enclosing structures and waste alluvial deposits. Based on the obtained full-scale results, hydrogeomechanical 3D models of accumulators are created and modeling of the formation and transformation of filtration and deformation processes is carried out. This approach, in various integration of multidisciplinary methods, both at one and at different levels, allows solving monitoring problems in the hierarchy: from the accumulation of liquid industrial waste, as an object as a whole (tens of square kilometers), to individual components (kilometers and hundreds of meters) and local areas (meters and fractions of meters). Examples of the use of multidisciplinary methods and digital technologies in monitoring the storage of liquid industrial waste of mining enterprises in the western part of the Arctic (Murmansk region) are given.

Keywords: liquid industrial waste storage, multi-level monitoring, digital technologies, Western part of Arctic, Murmansk region

Произошедшие разрушения, а также негативные инциденты и крупные аварии накопителей жидких промышленных отходов (Айка, Венгрия; Брумадинью, Бразилия; Инд, Пакистан, и др.), приведшие

к гибели людей и огромным социально-экономическим потерям, ставят во главу угла необходимость диагностики состояния и постоянного контроля таких сооружений [1–3].

Авария на хранилище жидких промышленных отходов крупного завода Ajkai Timfoldgyar Zrt по производству алюминия в районе города Айка (Венгрия), произошедшая 4 октября 2010 г. [2, 4], является показательным примером масштабной катастрофы. Как выяснилось уже после произошедшего, ограждающая дамба хранилища отходов была в аварийном состоянии, а само хранилище было максимально заполнено. Как следствие, ограждающая дамба разрушилась и из хранилища произошла утечка красного шлама с ядовитыми отходами. Проведенными после аварии исследованиями было установлено, что в окружающую среду попало примерно 1,1 млн м³ ядовитых отходов, а площадь их разлива составила порядка 440000 м². Погибло 7 человек, еще около 150 пострадавших получили отравления и химические ожоги. Разлив загрязненной воды разрушил 300 домов, было эвакуировано около 800 жителей г. Айка [2].

Аварии накопителей промышленных отходов действующих предприятий влекут за собой финансовые потери (неполученная прибыль вследствие остановки предприятия), дополнительные затраты (ремонтно-восстановительные работы на накопителях, дорогах, линиях электропередач, устройствах и механизмах и др.; ликвидация последствий аварии; восстановление окружающих природных систем), а также штрафы за загрязнение окружающей среды и нанесенный экологический ущерб [1–3].

В западной части российского сектора Арктики (Мурманская область) расположены крупные горнопромышленные предприятия: АО «Кольская ГМК» (Печенганикель), АО «Ковдорский ГОК», КФ АО «Апатит», АО «ОЛКОН», АО «СЗФК». На сегодняшний день этими предприятиями добывается суммарно 60–80 млн т руды в год, которая на обоганительных фабриках перерабатывается в конечный продукт – концентрат рудного минерального сырья, а отходы переработки суммарными годовыми объемами 40–50 млн т складываются в специально созданные для этих целей накопители жидких промышленных отходов – хвостохранилища [4]. Вследствие интенсивного недропользования на протяжении практически 90 лет в Мурманской области созданы крупные хвостохранилища, в которых на сегодняшний день накоплено более 1 млрд м³ жидких отходов общим весом около 2,43 млрд т.

Таким образом, хвостохранилища горнодобывающих предприятий западной части российского сектора Арктики пред-

ставляют собой огромные накопители жидких промышленных отходов, являющиеся открытыми динамическими природно-техническими системами, тесно взаимосвязанными с окружающей природной средой. В районах расположения хвостохранилищ происходит существенная деградация окружающей природной среды и изменение гидрогеологического режима, включая поверхностные водоемы и подземные воды. С учетом ежегодного прироста объемов отходов свыше 40 млн т эти преобразования продолжают и во все большей степени обуславливают необходимость диагностики состояния и постоянного всестороннего контроля таких накопителей жидких промышленных отходов [4, 5].

Целью данного исследования является разработка методических основ комплексного применения мультидисциплинарных методов наблюдений и цифровых технологий для мониторинга накопителей жидких промышленных отходов западной части Арктики (применительно к горнопромышленным предприятиям Мурманской области).

Материалы и методы исследования

Методы исследования заключались в использовании и комплексировании мультидисциплинарных методов и цифровых технологий, как при проведении натурных наблюдений, так и при обработке, интерпретации и анализе полученных разноформатных данных [4, 6]. Методический подход к мониторингу накопителя жидких промышленных отходов заключался в применении мультидисциплинарных методов наблюдений на различных уровнях, соотношенных с земной поверхностью: спутниковом, воздушном, наземном и подземном. Спутниковый уровень включает в себя GPS геодезию, обработку и анализ оптических, спектральных и радарных снимков космических аппаратов (ДЗЗ) [7–9]. Воздушный уровень базируется на различных видах цифровой аэрофотосъемки с применением БПЛА [4, 10, 11]. Основу наземного уровня составляют визуальные наблюдения, фотофиксация, роботизированные геодезические съемки и измерения, лазерное и радарное сканирование поверхности накопителей отходов и рельефа [4, 10]. Подземный уровень включает в себя гидрологические измерения, пьезометрические и скважинные регистрации уровня подземных вод, сейсмотомографию и георадарное зондирование, как ограждающих сооружений, так и намывных отложений отходов [4, 12, 13].

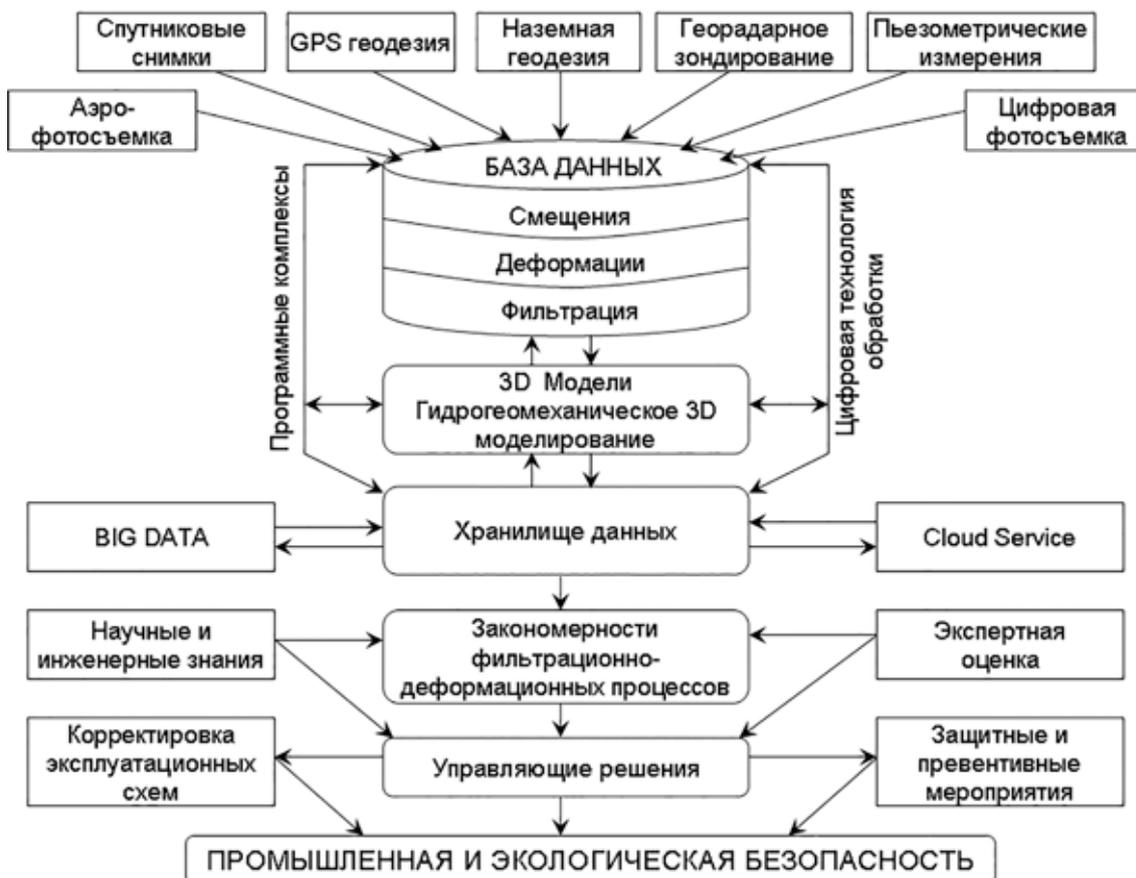


Рис. 1. Блок-схема методического подхода к комплексному применению мультидисциплинарных методов и цифровых технологий для мониторинга накопителей жидких промышленных отходов

Данные натурных наблюдений смещений, деформаций и фильтрационных процессов поступают в единую базу данных, на основании которой создаются 3D модели и выполняется сценарное и прогнозное гидрогеомеханическое моделирование (рис. 1).

Разноформатные по мультидисциплинарным методам наблюдений и компьютерному моделированию цифровые данные концентрируются в хранилище данных (с использованием сервисов BIG DATA и Cloud Service) для дальнейшего анализа и обработки. Важную роль здесь играют цифровые технологии: трансформирование данных наблюдений в цифровой формат, первичная обработка, построение 3D моделей, гидрогеомеханическое 3D моделирование с выводом численных и графических результатов в цифровом виде [14, 15]. Выявленные закономерности фильтрационно-деформационных процессов подвергаются сравнительному анализу

и сопоставлению с критериальными показателями имеющихся научно-технических и экспертных решений (нормативно-методические документы).

Такой методический подход представляет научно-техническую основу для принятия управляющих решений как для корректировки эксплуатационных схем складирования жидких промышленных отходов в накопитель, так и для разработки защитных и превентивных мероприятий.

Таким образом, комплексное применение мультидисциплинарных методов и цифровых технологий в мониторинге накопителей жидких промышленных отходов позволяет эффективно выполнять необходимую оценку текущего и прогноза перспективного состояния накопителя отходов в целях обеспечения его промышленной и экологической безопасности.

Кроме того, предложенный методический подход позволяет решать задачи мониторинга в иерархии: от накопителя

жидких промышленных отходов как объекта в целом (десятки квадратных километров) до отдельных компонентов (километры и сотни метров) и локальных участков (метры и доли метров). Комплексирование разночувствительных методов позволяет решать задачи оперативной диагностики и оценки состояния накопителя жидких промышленных отходов, своевременно выявлять и отслеживать развитие потенциально опасных фильтрационно-деформационных процессов.

Результаты исследования и их обсуждение

Предложенный методический подход к комплексному применению мультидисциплинарных методов наблюдений и цифровых технологий в мониторинге накопителя жидких промышленных отходов апробирован на крупных горнопромышленных предприятиях Мурманской области (западная часть российского сектора Арктики) [4, 7, 9]. В результате была разработана системная структура комплексных исследований и мониторинга, в которой методы наблю-

дений комплексуются в три основные группы: геодезические измерения смещений и деформаций, геофизические исследования внутренней структуры и состояния грунтов, инженерно-геологические и гидрологические исследования (рис. 2) [4, 9].

В первой группе применяются наблюдения с трех уровней: наземном, воздушном и спутниковом. Во второй – наблюдения с наземного и подземного уровней. В третьей группе основной акцент смещен на подповерхностные измерения, инженерно-геологические изыскания, отбор проб как непосредственно из накопителя промышленных отходов, так и из ограждающих сооружений, лабораторные исследования физико-механических свойств и деформационно-прочностных характеристик.

В структуре комплексных исследований и мониторинга накопителей жидких промышленных отходов предусмотрено построение 3D моделей и компьютерное гидрогеомеханическое моделирование, что в совокупности с данными натурных наблюдений позволяет оценить текущее и прогнозное состояние накопителя.



Рис. 2. Структура комплексных исследований и мониторинга накопителей жидких отходов горнопромышленных предприятий [4]

Все полученные данные аккумулируются в автоматизированной базе данных с возможностью оперативного анализа и генерации необходимой выборки и отчета (элементы информационной системы поддержки принятия решений). Это предоставляет необходимую основу для оценки текущего и прогнозного состояния контролируемого объекта. По результатам мониторинга, в целях обеспечения надежного функционирования накопителя промышленных отходов, разрабатываются рекомендации по защитным инженерно-техническим мероприятиям.

Разработанные методические основы применения мультимедийных методов и цифровых технологий реализованы в мониторинге накопителей жидких промышленных отходов крупных горнодобывающих предприятий Мурманской области (западная часть российского сектора Арктики).

Мониторинг накопителей жидких промышленных отходов горнодобывающих предприятий АО «Ковдорский ГОК» (Еврохим) и ГОК «Олений ручей» (СЗФК), на основе комплексных мультимедийных методов наземных, подземных, воздушных и спутниковых наблюдений и гидрогеомеханического 3D моделирования, выполняется с 2012 г. На основе полученных мониторинговых данных установлены основные закономерности гидрогеомеханического состояния накопителей, выявлены тенденции изменения состояния вследствие эксплуатационного заполнения, созданы адаптивные 3D модели [9].

Для АО «Ковдорский ГОК» выполнена оценка фильтрационной устойчивости ограждающих накопители сооружений, выявлены и локализованы потенциально опасные фильтрационно-деформационные процессы, определены механизмы повышенной фильтрации, формирования фильтрационных каналов [4, 7]. Был раскрыт механизм инфильтрации воды из накопителя в действующий карьер, реализующийся в формировании в теле ограждающей насыпной дамбы трех зон механической суффозии с повышенными фильтрационными характеристиками [12]. Выявлены зависимости устойчивости ограждающих накопитель промышленных отходов сооружений от скорости и объемов фильтрующихся вод [9].

Для ГОК «Олений ручей» (СЗФК) комплексированием междисциплинарных методов наблюдений на различных уровнях и компьютерным 3D моделированием определены условия перехода гидрогеомеханического состояния накопителя отходов, как

природно-технической системы, из стационарного состояния в нестационарные [9]. Определены индикаторы формирования потенциально опасных фильтрационно-деформационных процессов.

Мониторинг накопителей жидких промышленных отходов горнодобывающих предприятий АО «Кольская ГМК» (2014–2023 гг.) и КФ АО «Апатит» (2016–2024 гг.) активно развивается за счет наращивания числа и различного комплексирования натурных наблюдений спутникового, воздушного, наземного и подземного уровней. Создан ряд гидрогеомеханических 3D-моделей, которые исследуются на влияние различных природно-технических факторов на формирование фильтрационно-деформационных процессов. Выявлены особенности консолидации намывных отходов в накопителе, определяемые климатическими условиями западного сектора Арктики [9].

Для накопителя промышленных отходов АО «ОЛКОН» (2019–2022 гг.) мониторинг выполняется в основном наземными и подземными наблюдениями. По результатам выполненных исследований был решен ряд оперативных задач (оценка динамики техногенных и природных водопритоков, трассирование фильтрационных водотоков, локализация зон повышенной водонасыщенности грунтов) для обеспечения промышленной и экологической безопасности накопителя [9].

На основе результатов мониторинга накопителей горнопромышленных отходов были разработаны укрепляющие ограждающие их сооружения мероприятия и превентивные меры по обеспечению процессов складирования отходов. В частности, за время мониторинговых наблюдений накопителя АО «Ковдорский ГОК» были выявлены несколько потенциально опасных участков, которые службами предприятия были оперативно укреплены (подсыпка крупнообломочного грунта на низовой откос, подсыпка мелкодисперсным грунтом и уплотнение полка ограждающей дамбы) [9].

Опыт комплексного мониторинга накопителей жидких промышленных отходов основных горнодобывающих предприятий Мурманской области посредством интегрирования междисциплинарных методов и цифровых технологий показал его высокую эффективность. Применение цифровых технологий, как при проведении наблюдений, так и при обработке и интерпретации натурных данных, позволило повысить детальность, информативность

и достоверность получаемых разноформатных данных. Существенный вклад в формирование представлений о текущем и прогнозном состоянии накопителя жидких промышленных отходов внесло гидрогеомеханическое 3D-моделирование, позволившее оценить как механическую, так и фильтрационную устойчивость сооружения. На основе моделирования определены условия перехода накопителя промышленных отходов, как природно-технической системы, из стационарного состояния в нестационарное.

Заключение

Разработаны методические основы комплексного применения мультидисциплинарных методов (гидротехники, гидрогеологии, геомеханики, геодезии, геофизики, GPS геодезии, аэрофотосъемки, ДЗЗ, геоинформатики) и цифровых технологий (многовариантные сценарные расчеты, цифровые модели, компьютерное гидрогеомеханическое 3D-моделирование) для мониторинга состояния накопителя жидких промышленных отходов. Предложена системная структура комплексных исследований и мониторинга, в которой методы наблюдений комплексуются в три основные группы: геодезические измерения смещений и деформаций, геофизические исследования внутренней структуры и состояния грунтов, инженерно-геологические и гидрологические исследования. В структуре мониторинга предусмотрено применение цифровых технологий (обработка разноформатных данных, многовариантные расчеты, построение цифровых моделей, компьютерное моделирование), что в совокупности с данными натурных наблюдений позволяет оценить текущее и прогнозное состояние накопителя. В итоге это позволяет, в различном комплексировании методов, решать задачи мониторинга в иерархии: от накопителя отходов как объекта в целом (десятки квадратных километров) до отдельных его компонентов (километры и сотни метров) и локальных участков (метры и доли метров).

Разработанные методические основы применения мультидисциплинарных методов и цифровых технологий реализованы в мониторинге накопителей жидких промышленных отходов крупных горнодобывающих предприятий Мурманской области (западная часть российского сектора Арктики).

Список литературы

1. Carmo F.F.D., Kamino L.H.Y., Junior R.T. et al. Fundao tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2017. Vol. 15. No. 3. P. 145–151. DOI: 10.1016/J.PECON.2017.06.002.
2. Rico M., Benito G., Salgueiro A.R., D'iez-Herrero A., Pereira H.G. Reported tailings dam failures. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Vol. 152. No. 2. P. 846–852.
3. Zongjie Lyu, Junrui Chai, Zengguang Xu, Yuan Qin, Jing Cao A Comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2019. P. 1–18. Article ID 4159306. DOI: 10.1155/2019/4159306.
4. Калашник А.И. Комплексные исследования и мониторинг хвостохранилищ горнопромышленных предприятий Кольского региона // *Горный журнал*. 2020. № 9. С. 101–106. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.15.
5. Ковлеков И.И. Безопасность гидротехнических сооружений при эксплуатации месторождений на Севере // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 7. С. 154–164. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_154.
6. Clarkson L., Williams D. Critical review of tailings dam monitoring best practice. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020. Vol. 34. Iss. 2. P. 119–148. DOI: 10.1080/17480930.2019.1625172.
7. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine water works. *Eurasian Mining*. 2018. No. 2. P. 7–10. DOI: 10.17580/em.2018.02.02.
8. Рыбников П.А., Бузина Д.А. Использование мультиспектральных и гиперспектральных данных авиационных и космических аппаратов для изучения горнопромышленных территорий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 11–1. С. 55–70. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_55.
9. Калашник А.И., Максимов Д.А., Калашник Н.А., Дьяков А.Ю., Запорожец Д.В., Мелихов М.В. Многоуровневые комплексные исследования и мониторинг хвостохранилищ горнодобывающих предприятий северо-западной части Российского сектора Арктики. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2022. 250 с. DOI: 10.37614/978.5.91137.465.5.
10. Напольских С.А., Крючков А.В., Андриевский А.О., Ческидов В.В. Дистанционный контроль устойчивости намывных сооружений на Стойленском ГОКЕ // *Горный журнал*. 2017. № 10. С. 52–55. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.11.
11. Hartwig M.E. Detection of mine slope motions in Brazil as revealed by satellite radar interferograms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2016. Vol. 75 (2). Iss. 2. P. 605–621. DOI: 10.1007/s10064-015-0832-8.
12. Максимов Д.А., Дьяков А.Ю. Мониторинг локальных нарушений фильтрационных процессов в дамбах хвостохранилищ горнорудных предприятий комплексом геофизических и визуальных методов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 8. С. 154–163. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_154.
13. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2016. № 1 (107). С. 39–49.
14. Калашник Н.А. 4D компьютерное моделирование фильтрационно-деформационных процессов в ограждающей дамбе хвостохранилища // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № S37. С. 393–400. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-393-400.
15. Зиновьева О.М., Кузнецов Д.С., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 2–1. С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

УДК 624.131.1

**ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
НА ПОКАЗАТЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОСТАШКОВСКОЙ МОРЕНЫ НА ТЕРРИТОРИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (ВНЕ ЕГО ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА)**

Котюков П.В., Ланге И.Ю., Лебедева Я.А.

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail:kotyukov_pv@pers.spmi.ru*

В статье приводятся результаты анализа состава и показателей физико-механических свойств глинистых отложений осташковской морены, которые широко распространены в пределах Санкт-Петербурга и рассматриваются в качестве потенциального основания для фундаментов строящихся зданий и сооружений. Исследования проводились на объектах, расположенных в Приморском, Выборгском и Московском районах города на не освоенных ранее участках территории с низкой степенью загрязнения подземного пространства, что позволило свести к минимуму влияние фактора контаминации на возможность негативного преобразования состава и свойств грунтов. Изученные образцы морены отобраны в широком интервале глубин (от 3 до 43 м) и представлены песчанистыми и пылеватыми разностями супесей и суглинков от твердой до текучепластичной консистенции. По результатам обработки материалов изысканий отмечены некоторые особенности их минерального и гранулометрического состава, связанные с условиями их образования. Установлено, что показатели физико-механических свойств данных грунтов слабо зависят от глубины их залегания и определяются, главным образом, суммарным содержанием в них наиболее активных глинистых частиц (размером менее 0,002 мм) и фракции тонкой пыли (0,002–0,01 мм). Особое внимание обращено на параметры механических свойств, которые характеризуют прочность и деформационную способность осташковской морены. На основе выполненного корреляционного анализа сделан вывод о том, что величина сопротивления сдвигу и модуль общей деформации практически не связаны с консистенцией грунтов, а зависят, прежде всего, от специфики их гранулометрического состава, плотности сложения и числа пластичности. С учетом этого предложена типизация глинистых разностей морены по общему содержанию частиц размером менее 0,01 мм. Для каждого выделенного типа грунта приведены средние значения основных показателей физико-механических свойств. Даны рекомендации по использованию полученных корреляционных зависимостей при обработке результатов инженерно-геологических изысканий, выполняемых на рассматриваемой территории.

Ключевые слова: ледниковые отложения, осташковская морена, гранулометрический состав, физические свойства, механические свойства, корреляция, закономерности

**EFFECT OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION ON PHYSICAL
AND MECHANICAL PROPERTIES OF OSTASHKOVO MORaine
AT THE TERRITORY OF SAINT PETERSBURG
(OUTSIDE ITS HISTORICAL CENTER)**

Kotiukov P.V., Lange Yu.I., Lebedeva Ya.A.

Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, e-mail:kotyukov_pv@pers.spmi.ru

The article presents the results of the analysis of composition and physical and mechanical properties of the Ostashkovo clay moraine, which are widespread within the territory of St. Petersburg and are considered as a potential basis for the foundations of buildings and structures under construction. Studies were carried out at the Primorsky, Vyborgsky and Moscovsky districts in previously unexplored areas with a low degree of underground space contamination that made it possible to minimize its influence on soils. Studied specimens are collected in a wide interval of depths (from 3 to 43 m) and are represented by silt, silty clay and lean clay with consistency from very soft to very stiff. Some features of their mineral and particle-size distribution associated with conditions of their formation are noted. It was established that physical and mechanical properties of soils are slightly dependent on their depth and are determined mainly by the total content of the most active particles of clay (< 0.002 mm) and silt (0.002–0.01 mm). Special attention is paid to their strength and deformability. It was concluded that shear strength and total strain modulus are practically not related to the consistency of soils, but depend on their grain-size distribution, density and plasticity. Based on a total content of particles < 0.01 mm, the classification of clayey moraine is proposed and, for each soil type, the average values of their properties are given. Recommendations on the use of correlation diagrams in processing of engineering-geological surveys performed at the territory are provided.

Keywords: glacial deposits, Ostashkovo moraine, particle-size distribution, physical properties, mechanical properties, correlation, relationships

Отложения осташковской морены, распространенные на территории Санкт-Петербурга, широко используются в качестве основания для фундаментов различных зданий и сооружений. Почти повсеместно они залегают на небольших глубинах под

маломощным покровом послеледниковых образований, обладают относительно высокой плотностью естественного сложения и достаточной несущей способностью, что делает их пригодными для устройства наиболее экономичных фундаментов из пред-

варительно изготавливаемых свай стандартной длины. Вместе с тем строение толщи морены весьма неоднородно, она может быть сложена глинистыми грунтами различной консистенции (от твердой до текучепластичной), в ней часто встречаются линзы и прослои более слабых грунтов, водонасыщенные пески, к которым приурочены напорные воды, труднопроходимые скопления валунов и гальки, а также останцы и отторженцы коренных пород. Все это определяет значительную изменчивость их показателей физико-механических свойств и обуславливает возможность развития длительных неравномерных осадок зданий и сооружений. В качестве альтернативы морене обычно рассматриваются плотные глинистые породы верхнего венда и нижнего кембрия, обладающие более высокой прочностью и низкой деформационной способностью, параметры которых зависят, главным образом, от степени их трещиноватости [1]. Однако они залегают на гораздо больших глубинах и требуют устройства дорогостоящих фундаментов из буронабивных свай, что не всегда оправдано с экономической точки зрения, поэтому при строительстве на участках с относительно благоприятными инженерно-геологическими условиями основанием для зданий и сооружений чаще всего служат отложения осташковской морены.

Значительное влияние на показатели физико-механических свойств отложений осташковской морены оказывают их минеральный и гранулометрический состав, строение микроагрегатов частиц, природа и сила структурных связей, состав обменных катионов, а также наличие в грунтах газовой фазы, микробиотический фактор и др. [2, 3, 4] К сожалению, только малая часть из этих особенностей может быть установлена при обработке материалов инженерно-геологических изысканий, выполняемых согласно стандартным (обычно минимальным) требованиям нормативных документов, которые прямо не регламентируют необходимость проведения ряда специальных исследований, позволяющих получить более полное представление о компонентном составе, внутренней структуре и степени микробной пораженности отложений. Это обстоятельство затрудняет выявление взаимосвязей между составом и показателями физико-механических свойств грунтов и может являться причиной их кажущегося незакономерного изменения по площади и глубине изучаемого разреза. Вместе с тем

для однотипных в генетическом отношении отложений, распространенных на небольших участках территории с низким уровнем техногенного загрязнения, количество факторов, оказывающих влияние на их показатели свойств, сводится к минимуму. Варьирование их параметров обусловлено, главным образом, изменениями в гранулометрическом составе, физическом состоянии, степени уплотнения и увлажнения, которые можно проследить по данным стандартных изысканий.

Наибольшую ценность при анализе представляет поиск корреляционных зависимостей для показателей механических свойств, поскольку именно они используются в расчетах несущей способности и деформаций грунтовых оснований. В силу того что определение данных параметров относится к самым дорогостоящим видам испытаний, их количество обычно значительно уступает количеству определений гранулометрического состава и показателей физических свойств грунтов. Нередко приходится назначать расчетные параметры механических свойств для несущего слоя всего по 6 испытанным образцам, тогда как для того же слоя, как правило, имеется около 10–15 физических характеристик. Поэтому выявленные взаимосвязи между составом, показателями физических и механических свойств могут быть использованы в тех случаях, когда последних недостаточно либо достоверность их определения вызывает сомнения.

Целью данного исследования является комплексный анализ состава и показателей физико-механических свойств глинистых отложений осташковской морены, распространенных в районе Санкт-Петербурга (вне его исторического центра) и используемых в качестве основания зданий и сооружений, для установления закономерностей их изменения по глубине и площади рассматриваемой территории, а также выявления значимых взаимосвязей между содержанием основных фракций и отдельными параметрами свойств грунтов.

Материалы и методы исследования

Основным фактическим материалом послужили результаты изысканий, выполненные в пределах Приморского, Выборгского и Московского районов города на практически не освоенных ранее участках территории с низкой степенью контаминации компонентов подземного пространства. В ходе исследований материалы изысканий были обобщены, систематизированы и подвер-

лись существенной переработке, в том числе в ряде случаев был произведен пересчет параметров по первичным протоколам испытаний. На этой основе была составлена база данных из более чем 400 образцов осташковской морены, отобранных в широком диапазоне глубин (от 3 до 43 м от поверхности) и представленных различными разновидностями глинистых грунтов. Для каждого выделенного типа грунта выявлялись определенные закономерности изменения их показателей по глубине и площади рассматриваемой территории, а также при помощи корреляционного анализа выполнялся поиск взаимосвязей между их составом и параметрами физических и механических свойств.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности состава, строения и показатели физико-механических свойств отложений осташковской морены связаны с условиями их образования, а также характером и длительностью постгенетических процессов в послеледниковое время, которые проявлялись преимущественно в виде гипергенеза и затронули только самую верхнюю часть разреза (не более 5–10 м от поверхности) [3, 5, 6]. Влияние гипергенеза рассматривается как положительный фактор, приводящий к формированию в грунтах цементационных связей за счет соединений трехвалентного железа, росту их прочности и снижению деформационной способности. Кроме того, определенное воздействие на отложения осташковской морены оказало длительное хозяйственное освоение территории, начавшееся еще в допетербургский период и сопровождавшееся интенсивной контаминацией его подземного пространства на большую глубину. Данный фактор имеет решающее значение для исторического центра города, и его влияние на свойства грунтов подробно разбирается в ряде статей проф. Р.Э. Дашко [2]. Как отмечалось ранее, образцы морены были отобраны на участках с относительно низким уровнем техногенного загрязнения, что позволило свести к минимуму фактор контаминации и не учитывать его при анализе.

По своему генезису осташковская морена относится к типу основных, или донных, морен, формирование которых происходит в результате медленного вытаивания обломочного материала из ледника с образованием насыщенного водой осадка из смеси частиц различного размера без его значи-

тельного уплотнения гравитационными силами [6]. Возраст осташковской морены (12–23 тыс. лет) недостаточен для завершения процессов литогенеза, приводящих к уплотнению глинистых пород. Несмотря на это, морена имеет высокую плотность естественного сложения, сопоставимую с плотностью залегающих ниже по разрезу высоколитифицированных глин верхнего венда и нижнего кембрия (с возрастом 650–530 млн лет). Этот факт объясняется особенностями гранулометрического состава морены, который близок к составу оптимальных смесей, используемых в строительстве, и подтверждается наблюдениями за процессами быстрого самоуплотнения данных отложений до практически первоначальных значений после их отсыпки в воду при строительстве дамб.

Переходя к анализу гранулометрического состава осташковской морены, необходимо отметить, что изученные образцы представлены различными типами глинистых грунтов, среди которых преобладают супеси пылеватые и песчаные, а также суглинки легкие и тяжелые пылеватые (по числу пластичности), с весьма значительным варьированием содержания пылеватой фракции (от 20 до 80 % и более) и с включениями более крупных частиц вплоть до валунов (рис. 1). Повышенное содержание пылеватой фракции (0,002–0,05 мм) в отдельных разностях морены обуславливает их низкую водоустойчивость, размокаемость и склонность к морозному пучению.

Особое внимание обращает на себя некоторое несоответствие количества глинистых частиц (размером менее 0,002 мм), по которым дается наименование грунтов согласно классификации В.В. Охотина, и числа пластичности, служащего основным классификационным признаком по ГОСТ 25100, в сторону занижения величины последнего (рис. 2). Это связано с тем, что фракция размером менее 0,002 мм представлена в морене преимущественно перетолженными низкоактивными глинистыми минералами, относящимися к группе гидрослюдов, которые из-за малоподвижной кристаллической решетки обладают низкой гидрофильностью, пластичностью и слабовыраженной способностью к набуханию [7]. На это указывают и значения показателя коллоидной активности (по А. Скемптону), которые изменяются в интервале от 0,15 до 0,74 и лишь по отдельным пробам превышают величину в 0,75, по которой проводится граница между низко- и среднеактивными глинистыми грунтами.

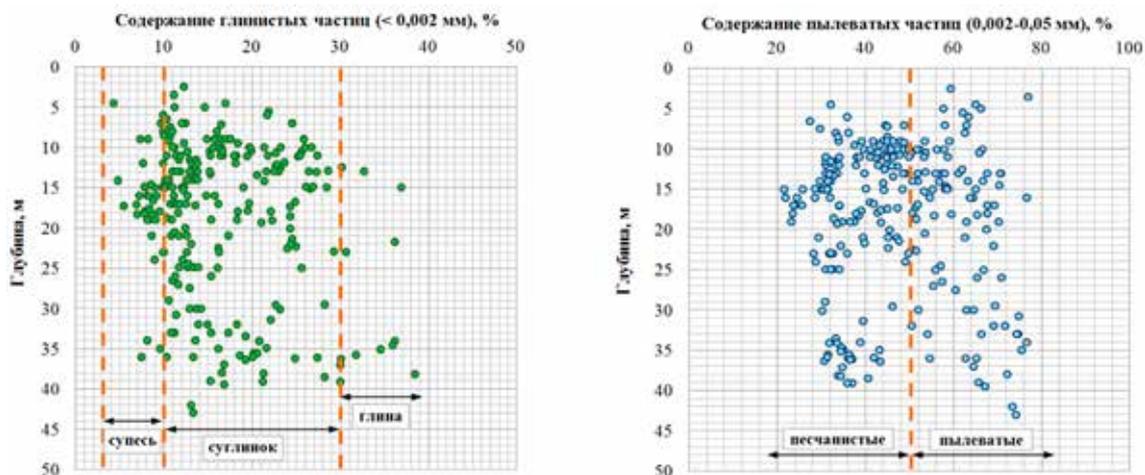


Рис. 1. Содержание глинистых и пылеватых частиц в составе остайковской морены в зависимости от глубины

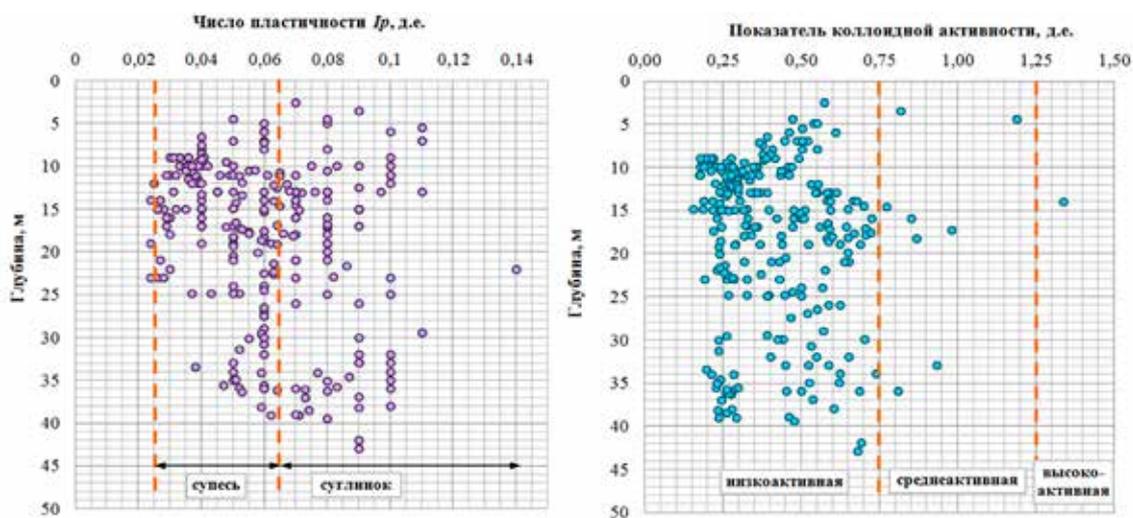


Рис. 2. Характер изменения числа пластичности и показателя коллоидной активности образцов остайковской морены по глубине

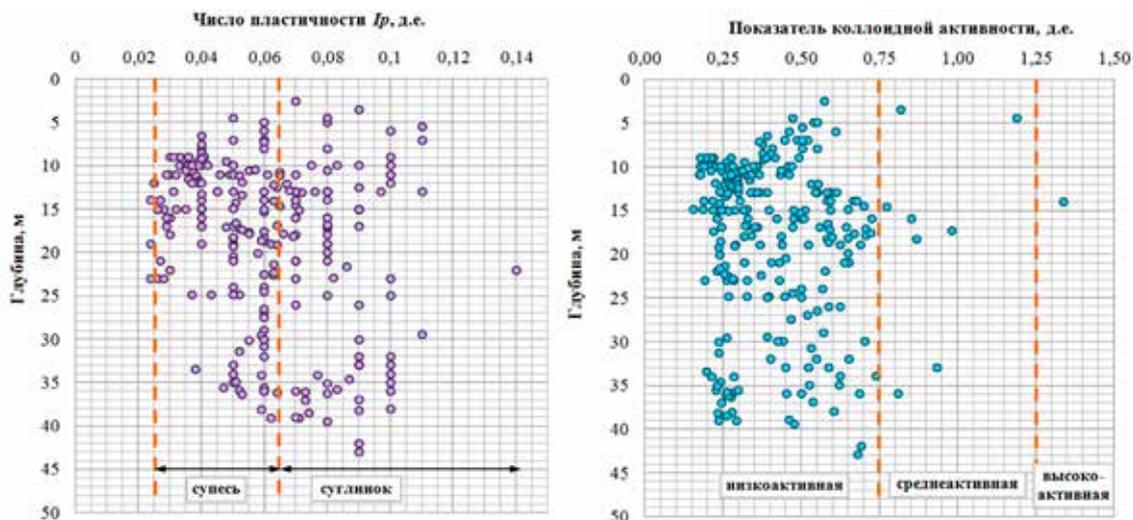


Рис. 3. Изменение влажности и плотности остайковской морены с глубиной

Состав и параметры свойств морены закономерно варьируют по площади и глубине, вследствие чего даже на отметках 40 м от поверхности, где согласно традиционным представлениям должны находиться наиболее плотные разности морены, нередко обнаруживаются грунты, имеющие плотность чуть выше 2 г/см^3 и влажность около 22–25%, в то время как на глубинах 5–10 м и менее величина плотности морены может достигать $2,28 \text{ г/см}^3$ при влажности всего 11–13% (рис. 3). Полученные данные опровергают мнение о том, что плотность морены с глубиной возрастает. Этого не наблюдается ни по отдельным разрезам, ни по всей территории в целом и может быть объяснено тем, что в течение послеледникового времени осташковская морена не испытывала значительного давления от веса вышележащих образований в силу их малой мощности.

Корреляционный анализ показал, что главное влияние на параметры физических свойств осташковской морены оказывает суммарное содержание в ней двух наиболее активных фракций – глинистой (менее $0,002 \text{ мм}$) и тонкой пыли ($0,002–0,01 \text{ мм}$). Еще опытами В.В. Охотина было доказано, что у этих групп частиц есть общее свойство – способность коагулировать и образовывать восстанавливаемые структурные связи, сравнимые по величине с силами гравитации. Кроме того, в составе фракции тонкой пыли, вероятно, могут присутствовать устойчивые микроагрегаты глинистых минералов, которые не разрушаются при подготовке пробы и при этом частично сохраняют

свою активность, а также проявляют умеренные гидрофильные и пластические свойства при взаимодействии с водой [8–10]. Косвенным подтверждением этому может служить тот факт, что связь между суммарным количеством частиц менее $0,01 \text{ мм}$, величиной влажности и числом пластичности гораздо сильнее, чем связь между указанными параметрами физических свойств и содержанием только глинистых частиц в исследованных образцах (рис. 4).

Общее количество частиц менее $0,01 \text{ мм}$ хорошо коррелирует со значениями влажности и плотности осташковской морены (рис. 5). По всей видимости, увеличение степени дисперсности грунтов приводит к росту количества связей за счет сил межмолекулярного взаимодействия между частицами глинистых минералов, их микроагрегатами и активной частью фракции тонкой пыли, которые стремятся сохранить структуру грунта в состоянии равновесия и оказывают противодействие силам тяжести. Гравитационному уплотнению также препятствует медленный отток воды, удерживаемой поверхностными силами внутри порового пространства грунта [11].

При учете выявленной взаимосвязи между содержанием частиц менее $0,01 \text{ мм}$ и физическими характеристиками морены становится понятным широкий диапазон изменения их значений по глубине (рис. 6). Наиболее высокую плотность и низкую влажность имеют супеси и суглинки с малым содержанием пыли и, соответственно, большим количеством песчаных и крупноблочных частиц.

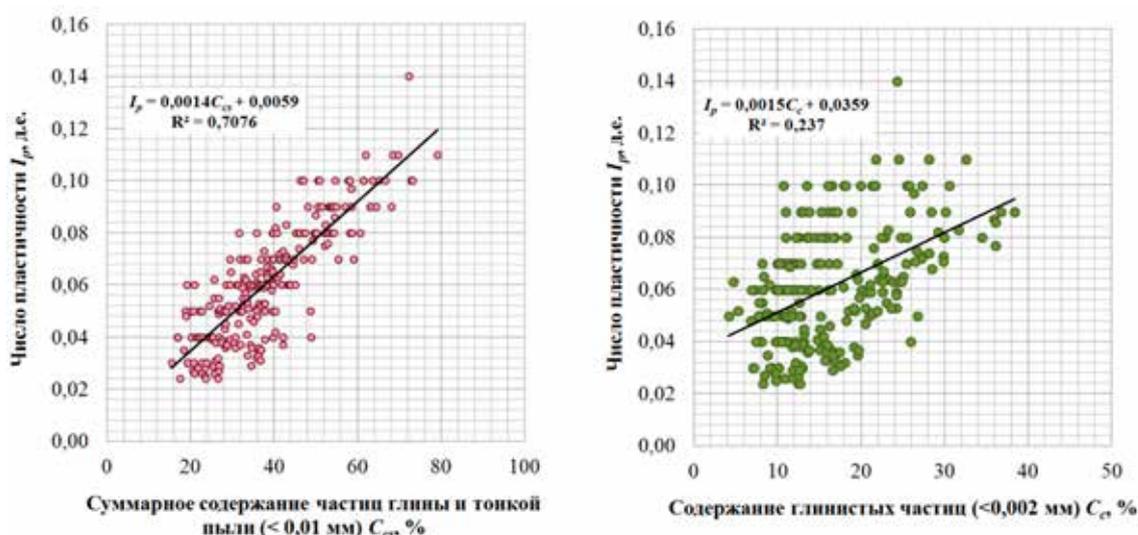


Рис. 4. Связь между числом пластичности и содержанием различных групп частиц в составе осташковской морены

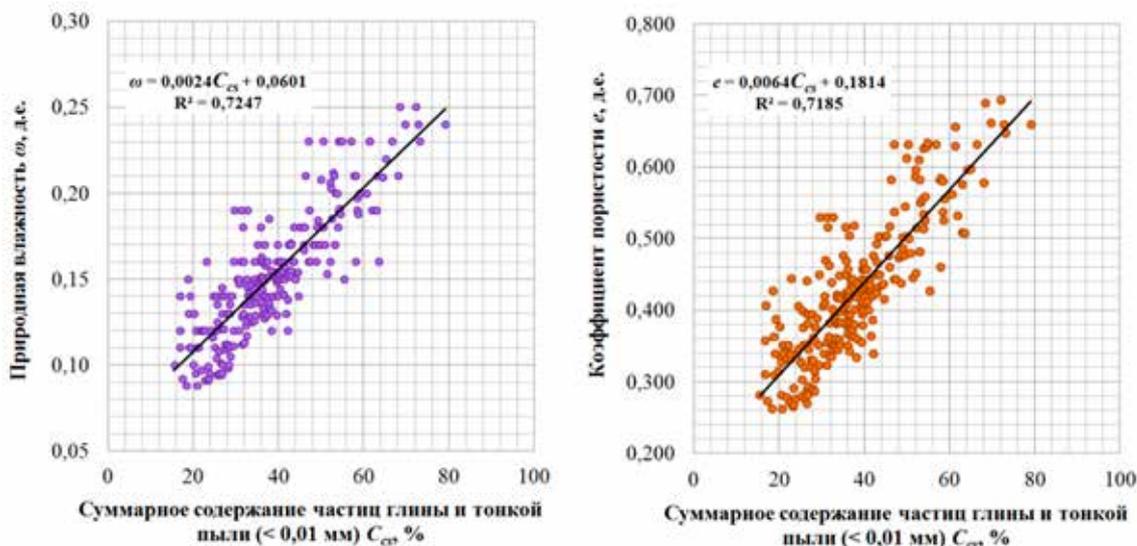


Рис. 5. Связь между влажностью, коэффициентом пористости и содержанием частиц размером менее 0,01 мм в составе осташковской морены

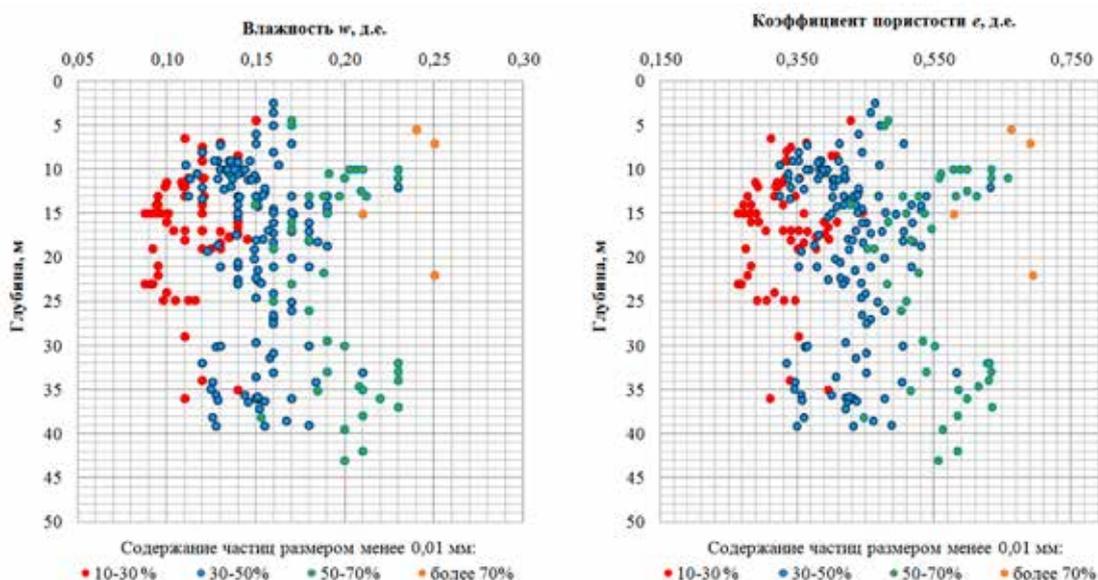


Рис. 6. Диаграмма изменения величины влажности и коэффициента пористости осташковской морены по глубине с разделением на группы по содержанию частиц <math>< 0,01</math> мм

Следует отметить, что одним из наиболее важных параметров физических свойств глинистых грунтов принято считать показатель текучести. Он широко применяется не только для оценки их консистенции, но и для назначения ряда коэффициентов при расчетах оснований и фундаментов, поскольку предполагается, что он косвенно характеризует прочность и деформационную способность грунтов. Выполненные исследования показали, что для осташковской морены связь между показателем теку-

чести, параметрами сопротивления сдвигу и величиной модуля деформации практически отсутствует. Например, глинистые отложения с твердой консистенцией имеют сцепление от 0,01 до 0,03 МПа, что характерно для слабых грунтов с молекулярным типом связей. Вместе с тем у ряда полутвердых и тугопластичных разностей величина сцепления достигает 0,08–0,09 МПа, что, по всей видимости, обусловлено наличием в них цементационных связей за счет соединений трехвалентного железа, образо-

вавшихся на этапе гипергенеза этих отложений. Значения модуля деформации также не зависят от консистенции и варьируют в широких пределах – от 4 до 16 МПа. Несответствие между показателем консистенции и параметрами механических свойств можно объяснить некоторой условностью данного показателя, не отражающего реальное физическое состояние морены, а также недостатками методики его определения – границы текучести и раскатки получают на образцах нарушенного сложения.

По результатам исследований установлено, что наиболее тесно с параметрами механических свойств морены связаны следующие характеристики ее физического состояния: содержание частиц размером менее 0,01 мм, коэффициент пористости (плотность) и число пластичности (рис. 7, таблица). Существенное влияние на получаемые значения параметров механических свойств грунтов оказывают методика их определения, применяемое оборудование и конкретные условия отдельно взятого испытания [12]. Эти факторы трудно ис-

ключить при обработке большого объема данных, что может являться одной из причин широкого разброса показателей, использованных для построения диаграмм. Необходимо отметить, что наиболее прочными являются супеси легкие песчанистые, в которых содержание частиц менее 0,01 мм не превышает 30%. Такие грунты могут обладать достаточно высокой несущей способностью. Вместе с тем обращают на себя внимание низкие значения модуля общей деформации даже для самых плотных разновидностей морены, что можно объяснить пластическим характером их деформирования и отсутствием жестких структурных связей. Кроме того, в таблице приведены значения модуля деформации, полученные по результатам компрессионных испытаний, условия которых, как известно, не соответствуют реальным условиям деформирования грунта в основании зданий и сооружений. Более достоверные показатели механических свойств осташковской морены могут быть получены с помощью трехосных или штамповых испытаний [13].

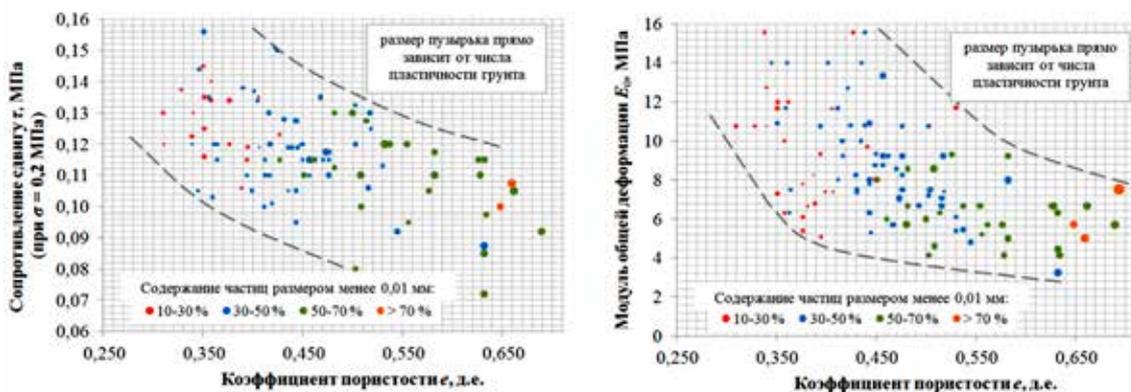


Рис. 7. Показатели механических свойств осташковской морены в зависимости от особенностей гранулометрического состава и параметров физических свойств

Средние значения показателей физико-механических свойств отложений осташковской морены различных гранулометрических типов

Преобладающая разновидность грунта	Кол-во частиц <0,01 мм, %	W, %	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	e, д.е.	I_p , д.е.	I_L , д.е.	τ^* , МПа	E_0^{**} , МПа
Супесь легкая песчанистая	10–30	11,7	2,24	2,68	0,338	0,04	0,09	0,170	9,6
Супесь тяжелая пылеватая	30–50	15,1	2,18	2,69	0,426	0,06	0,33	0,163	9,0
Суглинок легкий пылеватый	50–70	19,9	2,09	2,71	0,559	0,09	0,23	0,151	6,3
Суглинок легкий пылеватый	>70	24	2,03	2,72	0,665	0,11	0,32	0,148	н/д

Примечание: * – определено при $\sigma=0,3$ МПа; ** – рассчитано для интервала нагрузок от 0,1 до 0,3 МПа по данным компрессионных испытаний без поправочного коэффициента m_k .

Выводы

По результатам выполненного анализа можно сделать следующие выводы:

1) гранулометрический состав и показатели физико-механических свойств глинистых отложений осташковской морены закономерно изменяются по площади рассматриваемой территории и слабо зависят от глубины их залегания в разрезе четвертичной толщи;

2) наибольшее влияние на показатели физических свойств оказывает гранулометрический состав грунтов, прежде всего суммарное содержание в них двух наиболее активных фракций – глинистой и тонкой пыли (частицы размером менее 0,01 мм);

3) показатель текучести морены не связан ни с ее гранулометрическим составом, ни с другими физическими характеристиками и не может использоваться для корреляции с параметрами ее механических свойств;

4) параметры сопротивления сдвигу и величина модуля деформации осташковской морены в наибольшей степени зависят от особенностей их состава, степени уплотнения (коэффициента пористости) и числа пластичности.

Следует добавить, что установленные корреляционные зависимости для осташковской морены должны проверяться и уточняться с помощью экспериментальных исследований и с применением стабилометрических испытаний, которые позволяют получать наиболее достоверные показатели механических свойств глинистых грунтов.

Список литературы

1. Dashko R.E., Lokhmatikov G.A. The Upper Kotlin clays of the Saint Petersburg region as a foundation and medium for unique facilities: an engineering-geological and geotechnical analysis. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol 254. P. 180-190. DOI: 10.31897/PMI.2022.13.

2. Дашко Р.Э., Горская В.А. Инженерно-геологические и экологические аспекты преобразования моренных грунтов

в подземной среде Санкт-Петербурга для оценки их несущей способности // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 12-1 (54). С. 56-60. DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.224.

3. Benn D., Evans D. *Glaciers and Glaciation*. London: Arnold, a member of the Hodder Headline Group, 2002. 734 p.

4. Clarke B. The engineering properties of glacial tills. *Geotechnical Research*. 2018. Vol. 5. №4. P. 262-277. DOI: 10.1680/jgere.18.00020.

5. Evans D.J.A., Phillips E.R., Hiemstra J.F., Auton C.A. Subglacial till: Formation, sedimentary characteristics and classification. *Earth-Science Reviews*. 2006. Vol. 78. № 1. P. 115-176. DOI: 10.1016/j.earscirev.2006.04.001.

6. Lekstutytė I., Gadeikisa S., Žaržojusa G., Skuodisb Š. Engineering geological and geotechnical properties of till soil of the Middle Pleistocene glacial period. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2019. Vol. 68. № 2. P. 101-111. DOI:10.3176/earth.2019.09.

7. Болгарова Д.А. Инженерно-геологическая оценка осташковской морены как несущего горизонта в пределах исторического центра Санкт-Петербурга // *Философия науки. Научные обзоры, подготовленные в рамках международной научно-образовательной программы. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского горного университета*, 2022. С. 104-114.

8. Sokolov V.N., Razgulina O.V., Yurkovets D.I., Chernov M.S. Quantitative analysis of pore space of moraine clay soils by SEM images. *Journal of Surface Investigation*. 2007. Vol. 1. № 4. P. 417-422. DOI: 10.1134/S1027451007040106.

9. Булыгина Л.Г., Соколов В.Н., Чернов М.С., Разгулина О.В., Юрковец Д.И. Анализ структуры грунтов комплексом растровый электронный микроскоп – рентгеновский компьютерный микротомограф (РЭМ – РКТ) // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2014. № 5. С. 450-456.

10. Булыгина Л.Г., Соколов В.Н., Кошелев А.Г. Геоэкология. Влияние особенностей микростроения глинистых грунтов различного генезиса на их деформирование при компрессионных и штамповых испытаниях // *Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2013. № 6. С. 552-559.

11. Lebourg T., Riss J., Pirard E. Influence of morphological characteristics of heterogeneous moraine formations on their mechanical behaviour using image and statistical analysis. *Engineering Geology*. 2004. Vol. 73. № 1-2. P. 37-50. DOI: 10.1016/j.enggeo.2003.11.004.

12. Tamošiūnas, T., Skuodis, Š., Žaržojus, G. Overview of the Quaternary sediments deformation modulus dependence on testing methodology. *Baltica*. 2020. Vol. 33. № 2. P. 191-199. DOI: 10.5200/baltica.2020.2.6.

13. Gribulis D., Dundulis K., Gadeikis S., Gadeikiene S. Undrained shear strength of glacial till soils and its determining factors. *Baltica*. 2021. Vol. 34. № 2. P. 246-252. DOI: 10.5200/baltica.2021.2.8.

УДК 551.34:536.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

Малышев А.В., Васильев С.С., Пермяков П.П., Большев К.Н.

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук,
Якутск, e-mail: a.vmalyshev@yandex.ru*

В работе приводится математическая модель теплового взаимодействия двух трубопроводов центрального хладоснабжения с массивом грунта. Модель включает в себя посуточное изменение параметров теплообмена окружающей среды. Учет фазового перехода поровой воды при промерзании и оттаивании песчаного грунта, проводится через функцию количества незамерзшей воды. Теплофизические свойства влажного песчаного грунта являются непостоянными в модели и функционально связаны с функцией количества незамерзшей воды. Граничное условие теплообмена на дневной поверхности песчаного грунта построено с учетом суммарного солнечного излучения, альбедо поверхности, скорости ветра. Данные характеристики построены на основе натуральных наблюдений в районе г. Якутска. Для численного интегрирования предложенной нами модели, применялась универсальная среда численного моделирования Comsol Multiphysics v.6.0. Основой среды является конечно-элементный метод для численного решения уравнений в частных производных. Довольно легко оказалось с помощью данной среды поставить граничные условия при вынужденной конвекции на внутренней стенке трубопровода с движущейся водой. Моделирование задачи о распространении тепла в массиве грунта рассмотрели в двумерной постановке. В качестве примера для расчета температурного поля была взята площадка в районе г. Якутска с однородным минералогическим составом близким к песчаному грунту. Результаты расчетов показывают, что температурный режим проложенных подземным путем трубопроводов центрального хладоснабжения, оказывает существенное влияние на температуру многолетнемерзлого массива грунта, т.е. приводит его к растеплению. Отсюда следует, что при такой схеме прокладки систем трубопроводов требуется провести ряд мероприятий по сохранению устойчивости и прочности многолетнемерзлого грунта.

Ключевые слова: моделирование, центральное хладоснабжение, функция незамерзшей воды, уравнение теплопроводности, солнечное тепlopоступление, массив грунта

MODELING OF THERMAL INTERACTION OF THE CENTRAL COOLING SUPPLY PIPELINE SYSTEM WITH FROZEN GROUND

Malyshev A.V., Vasilev S.S., Permyakov P.P., Bolshev K.N.

*V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: a.vmalyshev@yandex.ru*

The paper presents a mathematical model of the thermal interaction of two central cooling pipelines with an array of soil. The model includes a daily change in the parameters of the heat exchange of the environment. Accounting for the phase transition of pore water during freezing and thawing of sandy soil is carried out through the function of the amount of unfrozen water. The thermophysical properties of wet sandy soil are unstable in the model and are functionally related to the function of the amount of unfrozen water. The boundary condition of heat exchange on the daytime surface of sandy soil is constructed taking into account the total solar radiation, surface albedo, wind speed. These characteristics are based on field observations in the area of Yakutsk. For numerical integration of the model proposed by us, the universal numerical modeling environment Comsol Multiphysics v.6.0 was used. The basis of the medium is a finite element method for the numerical solution of partial differential equations. It turned out to be quite easy to use this medium to set boundary conditions for forced convection on the inner wall of a pipeline with moving water. Modeling of the problem of heat propagation in an array of soil was considered in a two-dimensional formulation. As an example, for calculating the temperature field, a site near Yakutsk with a homogeneous mineralogical composition close to sandy soil was taken. The calculation results show that the temperature regime of the central cooling supply pipelines laid underground has a significant effect on the temperature of the permafrost soil mass, i.e., leads it to thawing. It follows that with such a scheme of laying pipeline systems, a number of measures are required to preserve the stability and strength of permafrost soil.

Keywords: modeling, central cooling supply, function of the unfrozen water, thermal conductivity equation, solar heat supply, soil mass

Проектирование систем централизованного хладоснабжения в холодных регионах связано с прокладкой трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах. Верхний деятельный сезонно-талый слой грунта в районе Якутска имеет мощность до 4 м. При подземной прокладке трубопроводов хладоснабжения, диаметры которых варьируются

от 0,1 до 0,6 м, велика вероятность их расположения в многолетнемерзлой толще. Мощность многолетнемерзлых толщ в средней полосе Республики Саха (Якутия) в отдельных местах достигает нескольких сотен метров. Температура многолетнемерзлых грунтов изменяется от 0 до -8 °С [1]. Работа системы централизованного хладоснабже-

ния с подземной прокладкой трубопроводных сетей от абсорбционной чиллерной станции до станции потребителей холода может нарушить сложившиеся до застройки мерзлотно-грунтовые, гидрогеологические и гидрологические условия. Такие нарушения приводят к проявлению опасных криогенных процессов в грунтах, таких как пучение, термопросадка, термоэрозия, подтопления и заболачивания территорий из-за нарушений поверхностного и подземного стока, что негативно воздействует на устойчивость и техническое состояние сооружений трубопроводной сети [2].

Проектирование трубопроводных сетей централизованного хладоснабжения в подземном исполнении в криолитозоне требует учета двух основных факторов.

Первый фактор – учет влияния опасных криогенных процессов на устойчивость и надежность трубопроводных систем. На этапе планирования необходимо провести мероприятия по инженерной защите мерзлых грунтов.

Второй фактор – учет теплообменных процессов, проходящих между теплоносителем центрального хладоснабжения и мерзлыми грунтами.

Целью работы является обоснование технической осуществимости подземной прокладки систем трубопроводов центрального хладоснабжения в условиях многолетне-

мерзлых грунтов на основе предложенного авторами математического моделирования теплообмена между окружающей средой, массивом грунта и трубопроводами.

Материалы и методы исследования

Математическая модель теплопереноса в промерзающем и протаивающем грунте с учетом фазовых переходов поровой влаги описывается нелинейным уравнением теплопроводности [3]:

$$C(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(T) \nabla T). \quad (1)$$

В уравнении (1) коэффициенты объемной теплоемкости и теплопроводности зависят от температуры через функцию количества незамерзшей воды. Объемная теплоемкость влажного грунта в мерзлом и талом состояниях определяется согласно формулам [4]:

$$C(T) = \begin{cases} (c_s + (c_i + 8,7T)W_0)\gamma, & T < T_1 \\ (c_s + c_w W_0)\gamma, & T > T_2 \end{cases} \quad (2)$$

где c_s , c_i , c_w – удельные теплоемкости скелета грунта, льда и воды Дж/(кг×°С); W_0 – влажность грунта, %; γ – плотность сухого грунта, кг/м³; T – температура грунта, °С.

При фазовых превращениях поровой воды в лед объемная теплоемкость становится эффективной величиной и рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$C(T) = \left[c_s + c_w W_u(T) + c_i (W_0 - W_u(T)) + L \frac{dW_u(T)}{dT} \right], \quad (3)$$

где L – скрытая теплота фазового перехода, Дж/кг; $W_u(T)$ – функция количества незамерзшей воды, ед. дол.

Теплопроводность влажного грунта в талом и мерзлом состояниях рассчитывается по предложенной А.В. Павловым формуле [3]:

$$\lambda_{th,f} = 1,163 \left[m_{th,f} (0,001\gamma + 0,1W_0 - 1,1) - 0,1W_0 \right], \quad (4)$$

где $m_{th,f}$ – параметр, определяющий тип грунта, для песчаных грунтов в талом состоянии равен 1,5, в мерзлом – 1,7.

$$\lambda(T) = \begin{cases} \lambda_{th}, & T < T_1 \\ \lambda_f, & T > T_2 \end{cases}. \quad (5)$$

В области фазовых переходов поровой влаги в лед теплопроводность рассчитывается по формуле [3]:

$$\lambda(T) = \lambda_f + \frac{(\lambda_{th} - \lambda_f)(W_u(T) - W_c)}{W_0 - W_c}, \quad (6)$$

где W_c – прочносвязанная вода, ед. дол.

Функция количества незамерзшей воды описывается кусочно-линейной зависимостью вида [3]:

$$W_u(T) = \begin{cases} W_c, & T < T_1 \\ d + \frac{W_c}{a |T - 273,15|^b}, & T_1 \leq T \leq T_2 \\ A_w + \frac{(T - T_2)(W_0 - A_w)}{T_3 - T_2}, & T_2 \leq T \leq T_3 \\ W_0, & T \geq T_3 \end{cases} \quad (7)$$

где d, a, b, A_w – эмпирические коэффициенты, определяемые путем аппроксимации экспериментальных данных количества незамерзшей воды для определенного типа грунта.

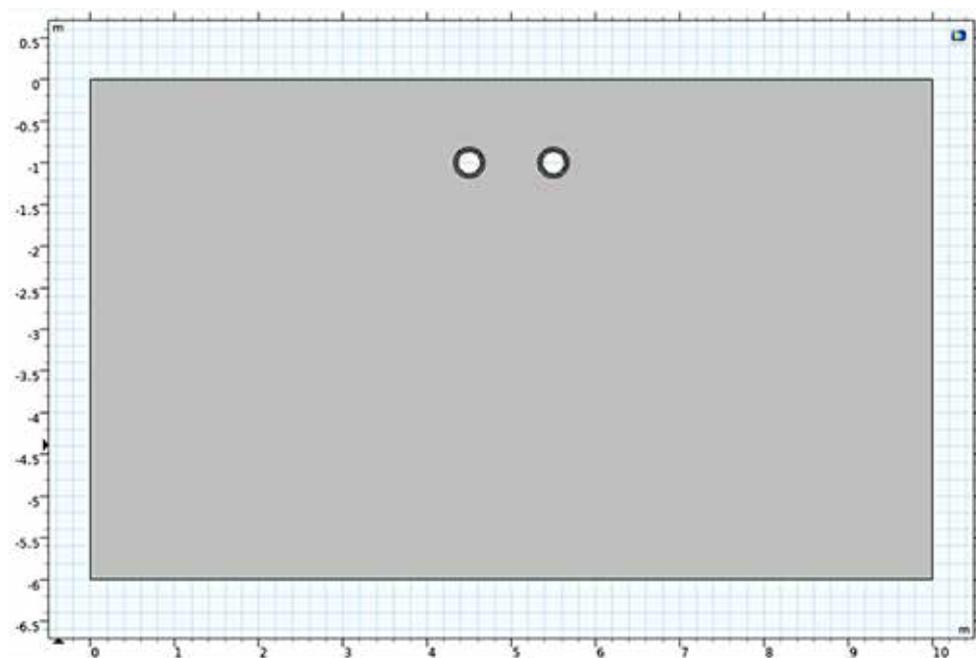


Рис. 1. Расчетная область модели

Распространение тепла в стенках обоих трубопроводов и их теплоизоляция от нагретой воды описывается системой линейных дифференциальных уравнений теплопроводности в цилиндрической системе координат [5]:

$$\begin{cases} (c\gamma)_1 \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \\ (c\gamma)_2 \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \end{cases}, \quad (8)$$

где индексами 1 и 2 обозначены зоны распространения тепла соответственно в пенополипропилене и полистироле, так как трубопровод покрыт теплоизоляционной оболочкой. Температурной зависимостью теплофизиче-

ских свойств данных материалов пренебрегаем и считаем их постоянными.

Задачу о распространении тепла в массиве грунта при наличии труб центрального хладоснабжения будем рассматривать в двумерной постановке.

Расчетная область (рис. 1) представляет собой поперечный срез массива грунта шириной 10 и глубиной 6 м с проложенными на глубине 1 м параллельно друг другу трубопроводами. Межтрубное расстояние составляет 1 м.

Для полного описания распространения тепла в массиве грунта требуется задать начальное распределение температур по глубине массива, а также определить граничные условия на дневной поверхности грунта и на двух границах внутренней стенка – движущаяся среда (вода).

На поверхности грунта задается условие конвективного теплообмена с учетом поступления тепла от солнечного излучения [6]:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{y=0} = \alpha(t) \left[T_a(t) + \frac{Q_s(t)(1-A(t))}{\alpha_a(t)} - T(0, y, t) \right], \quad (9)$$

где $\alpha(t)$ – приведенный коэффициент теплообмена, определяемый выражением

$$\alpha(t) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a(t)} + \frac{h_s}{\lambda_s}}, \quad (10)$$

где h_s, λ_s – толщина слоя снежного покрова и его коэффициент теплопроводности.

Таблица 1

Распределение начальной температуры по глубине грунта

$T_0, ^\circ\text{C}$	12,8	6,37	-1,26	-2,61	-3,27	-3,62	-3,66	-3,42	-3,16
$h, \text{м}$	0	-0,15	0,95	1,75	2,55	3,35	4,15	4,95	5,75

Таблица 2

Эмпирические параметры функции незамерзшей воды песчаного грунта

d	a	b	A_w	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$
0,0	4,1	7,3	0,068	-7,06	-0,65	0,0

Для проведения расчетов была использована зависимость истинной теплопроводности (без учета массообмена) снежного покрова λ_s , Вт/(м·°C) от плотности ρ_s , (г/см³) [6]:

$$\lambda_s = 1,163(0,03 + 0,303\rho_s - 0,177\rho_s^2 + 2,25\rho_s^3), \quad (11)$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны атмосферного воздуха изменяется в зависимости от климатических условий и определяется формулой [6]:

$$\alpha_a(t) = 15,12\sqrt{v_a(t)}, \quad (12)$$

где v_a – среднемесячная скорость ветра, м/с.

На остальных границах расчетной области задаются условия отсутствия теплового потока или теплоизоляции.

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{y=H} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{x=0} = \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{x=L} = 0. \quad (13)$$

Внутри трубопровода температурное поле движущейся воды не рассчитывается, а вместо этого на внутренней стенке трубопровода задается условие вынужденной конвекции, когда движущаяся жидкость (вода) омывает внутреннюю стенку трубы с учетом скорости ее потока.

В качестве массива грунта рассматривается однородный песчаный грунт, имеющий влажность 0,15 ед. дол и соответственно плотность 1560 кг/м³. Начальное распределение

температур по глубине взято по данным замеров в районе г. Якутска на 1 июня (табл. 1).

Данные об эмпирических параметрах функции количества незамерзшей воды песчаного грунта и температурных интервалов приведены в табл. 2.

Значения температуры окружающего воздуха, скорости ветра, альbedo поверхности и суммарной солнечной радиации усреднялись по месяцам для условий г. Якутска, приведены в табл. 3.

Геометрические параметры трубопроводов: внутренний диаметр трубопроводов и толщина стенок соответственно равны 268,6 и 23,2 мм. Трубопроводы покрыты теплоизоляционной оболочкой толщиной 25,4 мм. Источником теплоты является нагретая вода, текущая в трубопроводе в прямом и обратном направлениях. Температура воды в прямом направлении составляет 5 °C, а в обратном – 15 °C. Скорость потока воды в трубопроводах задавалась равной 1,06 м/с. Теплофизические свойства для полипропиленовой трубы и теплоизоляционной оболочки взяты из [7, 8].

Таблица 3

Среднемесячные значения температуры воздуха, скорости ветра, суммарной солнечной радиации и альbedo поверхности A

Параметр	Месяцы					
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
$T_a, ^\circ C$	-42,6	-35,9	-22,2	-7,2	5,8	15,4
$v_a, м/с$	1,4	1,5	2,0	2,8	3,4	3,3
$Q_s, Вт / м^2$	14,188	48,363	120,594	192,515	211,320	244,213
A	0,763	0,821	0,805	0,563	0,163	0,179
	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
$T_a, ^\circ C$	18,7	14,9	6,2	-8,0	-28,3	-39,5
$v_a, м/с$	3,0	2,8	2,6	2,5	2,0	1,3
$Q_s, Вт / м^2$	225,134	165,771	106,867	51,523	21,219	7,841
A	0,181	0,189	0,199	0,514	0,836	0,809

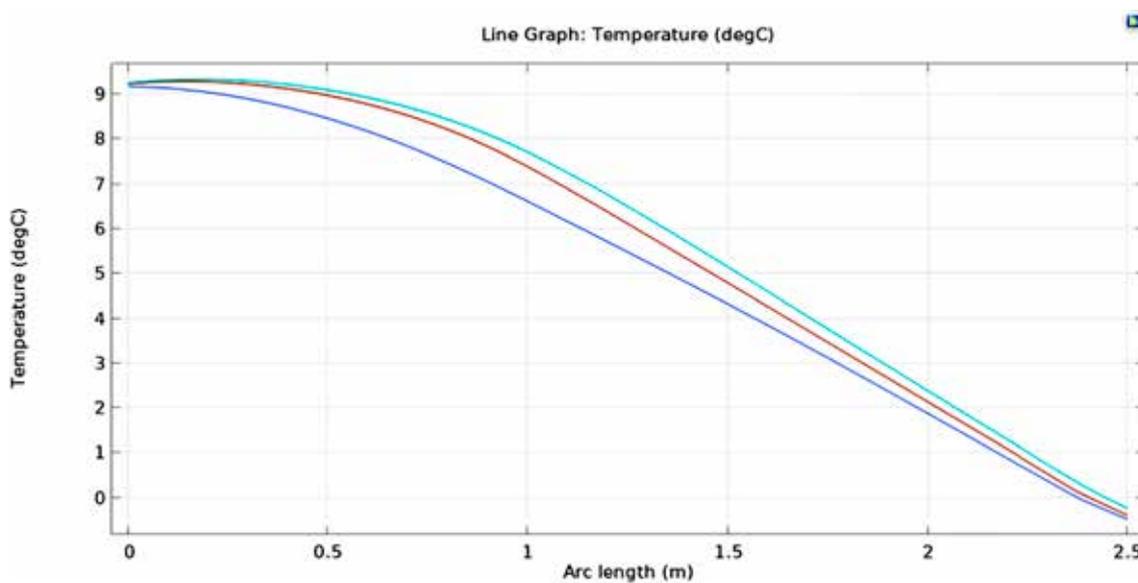


Рис. 2. Распределение температур в трех контрольных колонках в грунтовом массиве на момент времени 92 суток

Результаты исследования и их обсуждение

Расчет по поставленной модели процесса переноса тепла в массиве грунта, включающего в себя два трубопровода, проводили в программном пакете COMSOL Multiphysics 6.0 [9]. Расчеты проводились в период летнего сезона, когда активно работает система хладоснабжения, т.е. с начала июня по конец августа. Данные расчета температурного распределения по глубине массива грунта на конец августа приведены для трех контрольных колонок (рис. 2). Первая колонка (синяя кривая) расположена

слева на расстоянии 0,5 м от центра трубопровода с поступающей водой ($T_{in} = 5 ^\circ C$), вторая (красная кривая) между двумя трубопроводами на дистанции 0,5 м от центра, наконец, третья (бирюзовая кривая) находится справа от трубопровода с обратной водой ($T_{out} = 15 ^\circ C$).

Как видно из полученных расчетов, при данных температурных режимах течение воды в трубопроводах, а также геометрических параметрах и применяемой теплоизоляции для трубопроводов оказывает существенное влияние на растепление массива грунта. Так, сравнение начального распределения температур по глубине и получен-

ного в момент времени, равного 92 суткам, показывает, что температура на глубине 2,5 м поднялась с -3,2 до -0,47 °С. Причем увеличение слоя теплоизоляции до 5 см снижает растепление массива всего на 6%.

Заключение

Разработана математическая модель теплового взаимодействия окружающей среды, грунтового массива, включающего трубопроводы хладоснабжения. В модели учтены фазовые переходы «вода – лед» в грунтовом массиве при знакопеременной внешней температуре окружающей среды. В граничном условии на дневной поверхности грунта учтены среднемесячные изменения значений температуры окружающего воздуха, солнечного теплопоступления, а также альбедо дневной поверхности и скорости ветра.

Построенная математическая модель реализована в программном комплексе COMSOL Multiphysics 6.0. Расчет температурного поля массива грунта проведен в период времени, когда работает система охлаждения от чиллеров. Результаты расчетов показали, существенное влияние температуры трубопроводов хладоснабжения на растепление массива грунта: так, на границе сезонно-талого слоя и многолетней мерзлоты (глубина 2,5 м) на момент времени (92 суток) температура увеличилась на 2,7 °С.

Отсюда можно сделать следующий вывод: если планируется прокладывать сети трубопроводных систем центрального хладоснабжения подземным путем, то необходимо провести перед этим ряд мер по обеспечению сохранности температурного режима мерзлого песчаного массива грунта за счет обустройства траншей для

укладки трубопроводов лотками с эффективной теплоизоляцией или ввода в работу сезонно-действующих охлаждающих устройств.

В дальнейшем можно провести расчеты с годовыми циклами влияния окружающей среды с учетом снежного покрова и сезонной работы системы охлаждения. В модели можно учесть поступление осадков в летнее время, неравномерность влагосодержания и плотности по глубине, а также послойный состав грунта.

Список литературы

1. Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск: Якутское книжное издательство, 1975. 304 с.
2. Степанов А.В., Попенко Ф.Е., Рожин И.И. Основы инженерной защиты объектов строительства в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2014. 443 с.
3. Permyakov P.P., Zhirkov A.F., Zheleznyak M.N. Account for the Process of Underground Condensation in Modeling Heat and Moisture Exchange in Frozen Soils. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. September 2021. Vol. 94 (5). P. 1232–1241. DOI: 10.1007/s10891-021-02404-8.
4. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1998. 280 с.
5. Крайнов А.Ю. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества: учебное пособие. Томск: STT, 2016. 48 с.
6. Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1979. 280 с.
7. Полипропилен (ГОСТ 26996–86). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.interlens.ru/gost3.html> (дата обращения: 20.03.2022).
8. Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость. [Электронный ресурс]. URL: <http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/strojmaterialy/teplopriovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost> (дата обращения: 20.03.2022).
9. Буркова Е.Н., Кондрашов А.Н., Рыбкин К.А. Система автоматизированных расчетов Comsol: учебное пособие. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2019. 133 с.

УДК 622:338

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Матвеев А.И., Попова К.С.

*ФГБУ «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» СО РАН, Якутск,
e-mail: igds@ysn.ru*

Статья направлена на решение вопроса сохранения потребительских свойств бурого угольной топливной продукции за счёт поиска, усовершенствования существующих методов брикетирования и разработки новых способов обеспечения устойчивости и сохранения свойств бурого угольных брикетов в цепочке «добыча – потребитель». Эффективное использование малых бурого угольных месторождений может решить проблему энергообеспечения районов Арктической зоны, вместе с тем проблема сохранения качества бурого угольной продукции при доставке до потребителей остаётся актуальным. Это усиливается естественно низким показателем как по теплотворности, так и сохранности бурых углей, по сравнению с каменным углём. Сущность предложения и исследования заключается в поиске рациональных условий подготовки угольной шихты, в непрерывном прессовании и капсулировании полученного брикета в полиэтиленовую плёнку. Предлагаемое техническое решение включает следующие операции: загрузка исходной угольной шихты с добавкой связующего в бункер питания экструдерной установки, прессование в камере уплотнения с использованием шнека и получения уплотнённой массы продольной формы. Полученный материал после экструдерного прессования подвергают капсулированию слоем упаковочного горючего и экологически не вредного материала, в частности полиэтилена, с использованием распределительной упаковочной системы, а также термообработки, позволяющей создать прочный поверхностный слой упаковки и брикета.

Ключевые слова: Арктическая зона Республики Саха (Якутия), капсулирование, брикетный комплекс, освоение, энергообеспечение, угольные месторождения, эффективность

THE PROBLEM OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF COAL FOR CONSUMERS IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH

Matveev A.I., Popov K.S.

*The Federal State Budgetary Institute of Science The Institute of Mining of the North N.V. Chersky
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: igds@ysn.ru*

The article is aimed at solving the issue of preserving the consumer properties of lignite fuel products by searching for, improving existing briquetting methods and developing new ways to ensure sustainability and preserve the properties of lignite briquettes in the chain: mining-consumer. Efficient use of small lignite deposits can solve the problem of energy supply to the regions of the Arctic zone, however, the problem of maintaining the quality of lignite products when delivered to consumers remains relevant. This is exacerbated by the naturally low calorific value and safety of brown coal compared to hard coal. The essence of the proposal and research lies in the search for rational conditions for the preparation of coal charge, in continuous pressing and encapsulation of the resulting briquette in a polyethylene film. The proposed technical solution includes the following operations: loading the initial coal charge with the addition of a binder into the feed hopper of the extruder plant, pressing in the compaction chamber using a screw and obtaining a compacted mass of a longitudinal shape, characterized in that the resulting material after extruder pressing is subjected to encapsulation with a layer of packaging fuel and environmentally friendly harmless material, in particular polyethylene, using a distributive packaging system, as well as heat treatment to create a durable surface layer of packaging and briquettes.

Keywords: Arctic of the Republic of Sakha (Yakutia), briquette complex, development, energy supply, coal deposits, efficiency

В настоящее время труднодоступные, транспортно- и энергоизолированные районы Якутии практически повсеместно для выработки электроэнергии и тепловой энергии используют дизельные станции и привозные угли для угольных котельных [1].

Основной проблемой эффективного использования продукции малых и сверхмалых угольных разрезов является транспортировка углей до маломощных потребителей, разбросанных по огромной территории Арктики с ее суровыми резко континентальными климатическими условиями.

Имеющиеся ресурсы бурых углей используются только для частичного решения местных потребителей, находящихся в непосредственной близости от разрабатываемых месторождений. Это относится к практике использования месторождений бурых углей Ленского угольного бассейна Республики Саха (Якутия) (в частности, Кангаласского, Джебарики-Хаинского, Кепмендяйского и Кировского), которые обеспечивают топливным сырьём некоторые территории Центральной и Западной Якутии. Для Арктического пояса определён

ную перспективу представляют сверхмалые угольные разрезы, такие как Белогорское, Куларское и Краснореченское [2].

Существующая схема поставки углей очень сложная и продолжительная. Проблема обеспечения топливом для большинства улусов решается завозом каменных углей Джебарики-Хая, что имеет высокую логистическую цену [3]. Иногда поставка углей в отдалённые наслеги длится целых два года, вследствие чего уголь подвергается воздействию годовых циклов негативного природно-климатического влияния в пределах перепада температур от -50 до $+40$ °С, что сопровождается существенным снижением потребительских свойств: склонностью к саморазрушению, потерей теплотворных свойств. Такая схема завоза угля, обычно с 4–5 перевалками, сопровождается значительными потерями физического объёма. Длительное хранение под открытым небом, а равно перегрузка и транспортировка сопровождаются образованием большого количества угольной мелочи и пыли. Пылеобразование происходит постоянно, даже несмотря на влажность W до 22%: в холодный период года – за счёт вымерзания, в тёплый период – за счёт воздействия солнца и ветра. В конечно счёте это приводит к потере массы угля до 30 и более процентов [4; 5].

Таким образом, эффективное использование малых бурогольных месторождений может решить проблему энергообеспечения труднодоступных районов Арктической зоны, где затруднен завоз нефтепродуктов, вместе с тем проблема сохранения качества бурогольной продукции при доставке до потребителей остаётся актуальной. Это усиливается естественно низким показателем как по теплотворности, так и сохранности бурых углей, по сравнению с каменным углём.

Работа посвящена решению задачи повышения качества бурогольного сырья, устойчивого для транспортировки, и дополнительного вовлечения в производство угольной мелочи, теряемой при добыче и сортировке углей до 30% с получением новой товарной продукции.

Основная цель исследования – разработка нового подхода к эффективному использованию углей за счёт снижения потерь с угольной мелочью путём применения нового автономного способа брикетирования углей.

Известно, что одним из способов обеспечения сохранности углей является брикетирование, однако опыт показывает, что

полный вариант брикетирования углей не эффективен с точки зрения затрат, даже когда требуются особые условия их сохранности, например для потребления в процессах металлургии. Наиболее рациональным представляется брикетирование части угольной мелочи и пыли класса 0,3–3 мм, выделяемых при переработке, транспортировании и перегрузке, что позволит в целом эффективно использовать угольную продукцию [6; 7].

Речь идет о брикетировании углей, допуская создание автономной и компактной технологии, которая может использоваться по всей цепочке добычи, переработки, обогащения, транспортировки, хранения, перегрузки углей и т.д.

Материалы и методы исследования

Для брикетирования используется исходная дисперсная смесь угля, с крупностью порядка 0,3–3 мм влажностью до 18–20%, которая сопровождается при переработке углей.

Угольная мелочь шихтуется со связующим, которое может представлять местный доступный материал, например торф, при этом связующее не должно ухудшать потребительские свойства угля. В этой области существует множество разных вариантов шихтовки, но при этом качество получаемых брикетов не всегда бывает удовлетворительным с точки зрения прочности, а главное, транспортабельности, поэтому потребуются дополнительная операция упрочнения брикетов [8].

Принципиальная схема производства топливных брикетов показана на рисунке 1.

Исходный рядовой уголь измельчается на щековой дробилке на два класса крупности (рис. 1). Предлагаемая схема брикетирования углей включает традиционную последовательность: процесс перемешивания, нагрева, сушки, охлаждения. Для достижения высокой степени компактности и автономности, а также непрерывности в схеме предлагается использовать для прессования шнековый экструдер при значении удельного давления до $19,6 \cdot 10^7$ Н/м², с получением уплотнённой спрессованной смеси (брикет). При этом дополнительный модуль обработки предусматривает операцию капсулирования, в результате которого достигается упрочнение поверхностного слоя угольного брикета. Испытание брикетов сжатием проводилось через 24 часа после брикетирования.

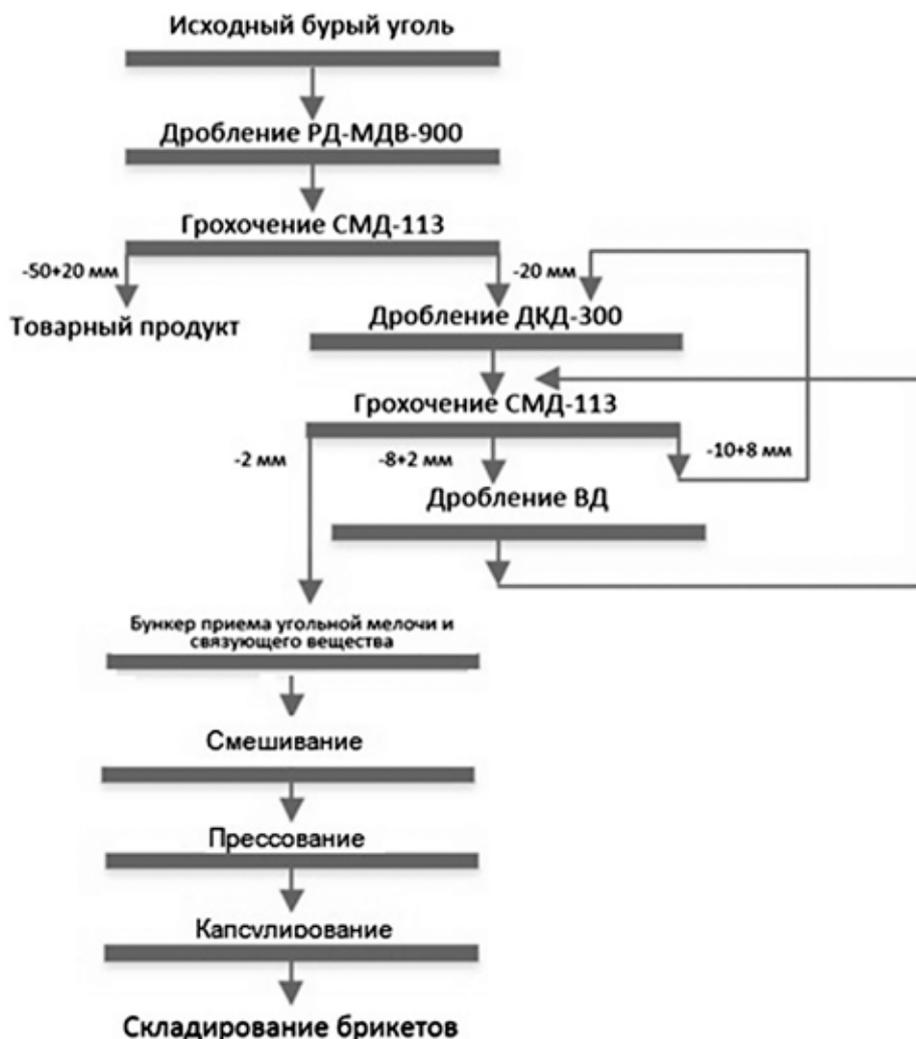


Рис. 1. Технологическая схема брикетно-сортировочного комплекса

Процесс производства стретч-пленки происходит с преимущественным применением синтетического мусора продукта вторичной переработки твердых бытовых отходов. Переработка вторичного сырья в виде отходов стретча позволяет получить гранулы с температурой плавления 103–110 °С. Благодаря сниженной цене на сырье (50 руб./кг) производство вторичной продукции является более дешевым, что позволяет снизить цену и на сам материал из вторичной гранулы, которые в данном случае используются в качестве капсулирующего материала при производстве брикетов из угля с массовой долей в конечном продукте 7%.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по Республике

Саха (Якутия) показывает, что в структуре ТЭР, используемых для нужд жилищно-хозяйственной деятельности и энергетики, уголь занимает 50% наряду с природным газом – 45%, нефтяным топливом – 4% и прочим – 1%. При этом основную долю использования занимают каменные угли Джебарики-Хаинского месторождения, которые участвуют в северном завозе [6] (рис. 2).

Местные ресурсы топлива представлены углем (в основном бурым) и древесиной. Объемы использования древесины для арктической зоны являются весьма ограниченными.

Для арктических территорий основным фактором, удорожающим стоимость теплоснабжения, является высокая стоимость топлива со сложной логистической схемой доставки.

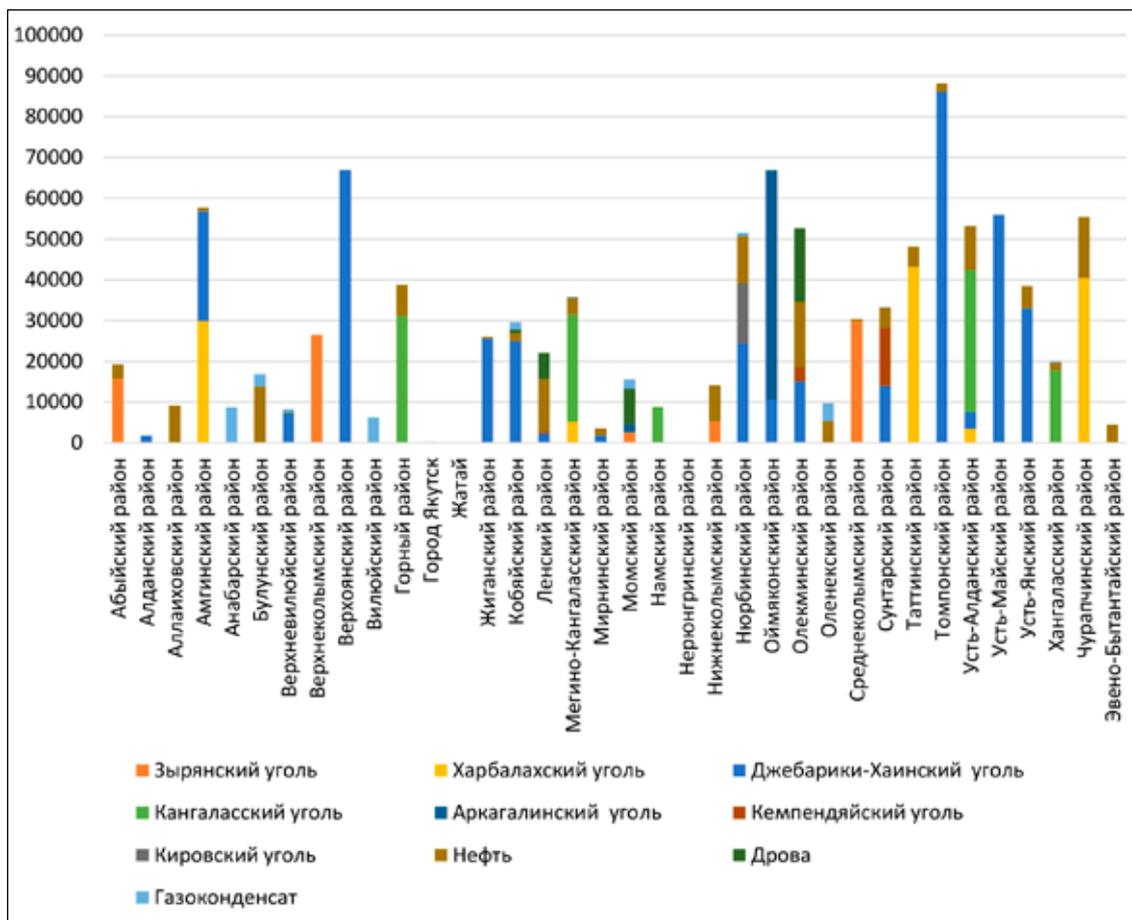


Рис. 2. Анализ потребления основных энергоресурсов РС(Я) для нужд ЖКХ

Источник: данные ГКЦ РС(Я) от 01.01.2022 г.

*для г. Якутск и п. Жатай используется природный газ

При этом разведанные запасы бурых углей в арктической зоне (к примеру, Куларское месторождение) в рядовом виде по качественным характеристикам не соответствуют требованиям бытовых автоматизированных котлов и могут сжигаться только в централизованных котельных [3].

В данной статье впервые введено понятие «сверхмалый угольный разрез» для заполярных районов. Это, как правило, небольшое по запасам месторождение угля, но пригодное для потребления в качестве топлива для местных потребителей, а еще в это понятие вложена специфика труднодоступности, энергоизолированности и транспортной удаленности вместе с суровыми климатическими условиями.

Кроме этого, при использовании данных углей проблема утилизации угольной мелочи остается, актуальность иногда, в зависимости от добычи и транспортировки, даже возрастает.

В наиболее известных способах брикетирования углей и антрацитов, включающих обезвоживание и сушку исходного угля до влажности 2-3%, смешивание его с жидкими или твердыми связующими (нефтебитумы, каменноугольный пек, твердые глины и цемент), прессование давлением 20-50 Мпа и последующее охлаждение с использованием штемпельного, вальцового и кольцевого прессов [7-9], недостатком является периодичность прессования, что является менее производительным и энергоемким. Не менее важной проблемой является необходимость предварительной сушки и прокалывания после брикетирования. При этом получаемые брикеты вследствие недостаточной прочности склонны к выкрашиванию и частичному разрушению, что требует возврата части материала обратно на брикетирование.

Предлагаемая для решения данной проблемы принципиальная схема брикетирования с дополнительным упрочнением бри-

кетов методом капсулирования основана на следующем.

На пути создания компактной и автономной установки брикетирования предлагается использовать, например, винтовые смесители непрерывного действия с последующим прессованием на шнековом экструдере при удельном давлении до $19,6 \cdot 10^7$ Н/м². При этом на выходе имеем брикет удлиненно-продольной формы, далее брикеты подвергаются упрочнению поверхности методом капсулирования при сохранении температуры шихты порядка 95-98 °С.

При этом температура исходной шихты после прохождения через экструдерный пресс является достаточной для термоусадки капсулирующего материала при температуре 103-110 °С. Готовые взаимосвязанные капсулированные продукты подвергаются складированию, наиболее технологическим из них является обмотка в специальные катушки. Естественное охлаждение и твердение идет при температуре окружающего воздуха в воздушной среде, завершается через несколько часов. В результате получается уплотнённый и поверхностно упрочненный брикет.

В качестве добавок для более прочного сцепления дисперсных частиц могут использоваться водный раствор клея ПВА, полиэтилен и другие виды связующих. Наибольшее лучшее взаимодействие достигается применением водного раствора клея ПВА. Продолжительность кондиционирования составляет до 10 минут и зависит от количества воды и применяемых добавок.

Предлагаемое техническое решение включает следующие операции: шихтовка угольной продукции со связующим, прессование и покрытие защитным слоем, отличающееся тем, что исходный материал (шихта) подвергается прессованию и термообработке в непрерывном режиме на экструдерных прессах, а полученный продукт (брикеты) продолговатой формы подвергают капсулированию слоем упаковочного горючего и экологически невредного материала, в частности полиэтилена (вторичной стрейч-пленки), с использованием распределительной упаковочной системы, позволяющей создать прочный поверхностный слой упаковки и брикета.

Полученные брикеты имеют следующие характеристики:

- механическая прочность брикетов при сжатии 14,92 Мпа, или 152,1 кгс/см²;
- механическая прочность брикетов при истирании 95%;

- механическая прочность брикетов при сбрасывании 92%.

Процесс капсулирования после прессования в экструдерном прессе исключает выведение частично разрушенного и выкрашиваемого материалов с поверхностного слоя брикета, что исключает их возврат в основной процесс брикетирования, чем достигается полнота использования исходного брикетируемого материала. При этом процесс брикетирования в целом становится более технологичным, непрерывным.

Одна катушка с полезным радиусом 48 см и высотой 72 см, при параметрах продукта 20 x 6 см за единицу, может вмещать в себя до 168 ед. продукта с максимальным весом 1,8 т. Оценка себестоимости готового продукта, представляющего собой катушку, составляет 4,13 руб./кг, с предварительными капитальными вложениями на 50 млн руб. Это является конкурентоспособной стоимостью при средней цене каменного угля по республике в рядовом виде 3,5 руб./кг (без учета транспортировки).

Заключение

Имеющиеся ресурсы бурых углей используются только для частичного решения местных потребителей, находящихся вблизи имеющихся месторождений. Это касается Кангаласского, Кировского и Кемпендяйского буроугольных месторождений, которые обеспечивают топливным сырьем Западную и Центральную часть Якутии. Также перспективными буроугольными месторождениями являются Белогорское, Куларское и Краснореченское, которые могут обеспечить Арктическую часть Республики.

Проблема заключается в низком качестве сырья, неустойчивости сырья для транспортировки и больших потерях при добыче углей вместе с угольной мелочью. Существующая сложная схема завоза угля с 4-5 перевалками и с 2-годовалым циклом приводит не только к значительным потерям физического объема, но и к существенному снижению потребительских свойств угля. Продолжительный многосезонный период завоза угля существенно воздействует на его качественные характеристики, приводит к смерзанию штабелей, образованию негабаритов, самовозгоранию и т.д.

В предлагаемом способе брикетирования с капсулированием достигается дополнительное упрочнение получаемых брикетов за счет создания прочного и надежного поверхностного слоя и изоляции,

тем и достигается существенное снижение негативного воздействия природных факторов (окисление, воздействию солнечной радиации и т.д.). Кроме этого, капсулирование горючими материалами даёт дополнительные теплотворные способности и отличается от применяемой техники и технологии брикетирования (уплотнения) сыпучих материалов по прототипу, а именно введением нового способа их капсулирования. Вследствие предложенного способа устраняются известные недостатки получаемых угольных брикетов, достигаются высокие потребительские качества брикетов по негативному воздействию окружающей среды, транспортабельности, сохранности теплотворных свойств.

Список литературы

1. Захаров В.Е., Козлов А.Н., Донской И.Г. Моделирование изменения теплоты сгорания угля при транспортировке до районов Крайнего Севера, на примере Республики Саха (Якутия) // Изв. Акад. наук. Энергетика. 2018. № 6. С. 132-141. DOI: 10.31857/S000233100003526-2.
2. Биев А.А. Формирование территориальной инфраструктуры обеспечения топливно-энергетическими ресурсами в Арктической зоне России // Север и рынок: формирование экон. порядка. 2019. № 3 (65). С. 43-51. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.2019.65.3.43-51.
3. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Баракаева И.Д., Тарский Н.Д. Повышение энергобезопасности арктических районов Республики Саха (Якутия) на основе освоения местных топливно-энергетических ресурсов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 6. С. 79-85.
4. Ткач С.М., Гаврилов В.Л., Батугина Н.С. и др. Геотехнологические требования к созданию угольных разрезов в заполярной зоне Якутии // Горный информ.-аналит. бюл. 2015. № 7 (спец. выпуск № 30). С. 152-162.
5. Логвинов М.И. Стратегические приоритеты освоения угольного ресурсного потенциала Арктической зоны России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 3. С. 29-33.
6. Матвеев А.И., Осипов Д.А., Попова К.С. О необходимости «облагораживания» углей Ленского угольного бассейна Республики Саха (Якутия) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 11. С. 161-170. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-161-170.
7. Злобина Е.С., Папин А.В., Игнатова А.Ю. Экологические и технологические аспекты утилизации твердых углеводородных отходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 3. С. 91-101.
8. Method of manufacturing briquette from low quality raw material. [Электронный ресурс]: pat. 1019820001103 Korea, МПК C10L 5. № 1019810000354. Режим доступа: <http://patentscope.wipo.int>.
9. Method of manufacturing modified briquette. [Электронный ресурс]: pat. 1019930011929 Russian Federation, МПК C01L 5 / Lee, Kong-Seok; Lee, Kong-Seok, Seon Ju-Hong. – № 101019910011928. Режим доступа: <http://patentscope.wipo.int>.

УДК 628.161.2

ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ МЕДИ ДИАТОМИТОМ

Пимнева Л.А.

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

В данной статье рассматриваются перспективы и возможности использования диатомита для очистки природных и промышленных вод. В природных водах, как правило, содержатся загрязняющие вещества как естественного, так и искусственного происхождения. Поэтому ежегодный мониторинг состояния водных объектов показывает, что в природных водах Тюменской области повышается содержание ионов меди. Медь, являясь одним из подвижных металлов, попадает путем миграции с промышленных предприятий соседних областей. Постепенный рост содержания ионов меди в природных водах наносит вред живым организмам, так как медь является вторым по токсичности металлом. Ввиду того что стоимость очищенной воды повышается, становится очевидной необходимость поиска дешевых и доступных материалов для водоочистки. Такими материалами служат природные глинистые материалы, одним из которых является диатомит. Диатомит относится к природным глинистым минералам. Для определения химического и фазового состава диатомита использовали сканирующий растровый микроскоп и дифрактометр. Сорбционную способность диатомита по отношению к ионам меди исследовали влиянием концентрации исходного раствора и температуры на величину сорбции. Исследование проводилось в статических условиях с применением метода переменных концентраций. Величину сорбционного сродства диатомита к ионам меди устанавливали по изотермам сорбции. Для анализа изотерм сорбции и расчета сорбционных параметров использовали теорию мономолекулярной сорбции с применением линейных уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина. Установили, что модель Ленгмюра описывает экспериментальные данные лучше, чем модели Фрейндлиха и Темкина, по значениям коэффициента корреляции.

Ключевые слова: сорбент, диатомит, ионы меди, сорбция, природные воды

PURIFICATION OF NATURAL AND INDUSTRIAL WATERS FROM COPPER CATIONS WITH DIATOMITE

Pimneva L.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

This article discusses the prospects and possibilities of using diatomite for the purification of natural and industrial waters. Natural waters, as a rule, contain pollutants of both natural and artificial origin. Therefore, the annual monitoring of the state of water bodies shows that the content of copper ions in the natural waters of the Tyumen region is increasing. Copper, being one of the mobile metals, gets through migration from industrial enterprises of neighboring regions. The gradual increase in the content of copper ions in natural waters harms living organisms, since copper ranks second among the most toxic metals. Since the cost of purified water is increasing, it becomes obvious to search for cheap and affordable materials for water treatment. Such materials are natural clay materials, one of which is diatomite. A scanning scanning microscope and a diffractometer were used to determine the chemical and phase composition of the diatomite. The sorption capacity of diatomite with respect to copper ions was studied by the influence of the concentration of the initial solution and temperature on the sorption value. The study was conducted under static conditions using the method of variable concentrations. The value of the sorption affinity of diatomite to copper ions was determined by sorption isotherms. To analyze the sorption isotherms and calculate sorption parameters, the theory of monomolecular sorption was used using the linear equations of Langmuir, Freundlich and Temkin. It was found that the Langmuir model describes experimental data better than the Freundlich and Temkin models by the values of the correlation coefficient.

Keywords: sorbent, diatomite, copper ions, sorption, natural waters

Ежегодный мониторинг состояния водных объектов показывает, что в природных водах Тюменской области повышено содержание ионов меди (1,8 мг/л при ПДК_{cu} = 1,0 мг/л) [1]. Медь является одним из самых подвижных металлов. Медь, взаимодействуя с неорганическими и органическими соединениями, способна образовывать комплексные соединения в водных растворах [2, 3]. Избыточное содержание ионов меди в воде представляет опасность для живых организмов. Медь занимает второе место в ряду самых токсичных тяжелых металлов после кадмия [2].

Высокая стоимость очищенной природной воды обуславливает необходимость поиска дешевых и эффективных материалов для водоочистки. В последние годы в связи с ограниченным количеством промышленных органических сорбентов для очистки природных и промышленных вод находят применение природные минеральные сорбенты [4, 5]. Природные сорбенты доступны, обладают высокой сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам, имеют низкую стоимость и устойчивы к воздействию агрессивной среды. Изучение состава диатомита позво-

лит использовать его для очистки водных объектов от ионов тяжелых металлов, что является актуальным в настоящее время.

Целью работы является определение сорбционных характеристик природного диатомита по отношению к ионам меди.

Материалы и методы исследования

В работе использовали природный диатомит Ирбитского месторождения Свердловской области. Это месторождение признано самым крупным в России и Зауралье. Диатомит относится к опал-кристаллитовой породе. Основным минералом в нативной форме диатомита является монтмориллонит. Растровая электронная микроскопия проведена на электронном микроскопе JEOLJSM 6510 LV. В результате был определен химический состав диатомита (табл. 1).

На рисунке 1 представлен фазовый состав диатомита. Минералогический состав диатомита определяли рентгенофазовым анализом с помощью дифрактометра «ДРОН-7» с медным анодом ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$).

Химический анализ показывает, что диатомит на 80,11% состоит из диоксида кремния и на 9,18% – из оксида алюминия, что определяет кислый характер диатомита. Водорастворимые оксиды натрия и калия в его составе в сумме составляют 2,12%.

Химический (табл. 1) и фазовый состав (рис. 1) природного диатомита подтвержда-

ют наличие в нем 55% монтмориллонита, а общая доля глинистых минералов с учетом каолинита и хлоритов и гидрослюда составляет 82%. Монтмориллонит и хлориты имеют кристаллическую решетку моноклинной сингонии, которая подвижна за счет изменяющихся размеров микропор и расширяющейся элементарной ячейки [6, 7]. Расстояние между пакетами может изменяться от 0,4 до 2,0 нм, что обеспечивает легкость проникновения ионов в межпакетное пространство и увеличивает обменную емкость монтмориллонита.

Для изучения сорбции ионов меди брали 1 г диатомита и заливали 50 мл модельного раствора сульфата меди. В статических условиях использовали метод переменных концентраций (от 0,02 М до 012 М) и при температурах 298, 318, 333 К. Концентрацию ионов меди в растворах определяли по методике [8].

По полученным результатам была рассчитана обменная емкость по следующей формуле:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V_{p-pa}}{m} \quad (1)$$

где A – обменная емкость, мг/г; C_0 и C_p – начальная и равновесная концентрации ионов в растворе, ммоль/мл; V_{p-pa} – объем раствора, мл.

Таблица 1

Состав компонентов диатомита

Содержание	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO
% масс.	80,11	9,18	0,286	1,83	0,703	4,90	0,814	0,983

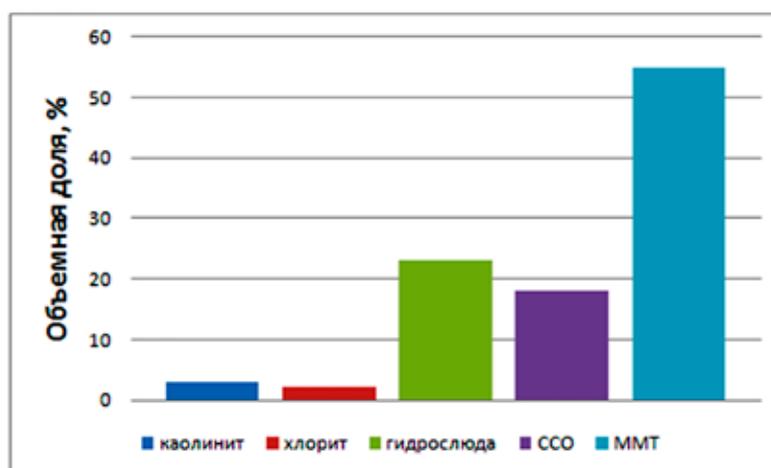


Рис. 1. Фазовый состав диатомита
(ССО – смешанослоистый минерал; ММТ – монтмориллонит)

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Эффективность очистки природных вод определяется соотношением расхода сорбента и объема очищаемой воды. На рисунке 2 показано увеличение величины сорбции ионов меди при постоянной навеске диатомита с увеличением объема раствора сульфата меди с концентрацией 0,03 М. При снижении отношения Т : Ж (где Т – твердая фаза, диатомит и Ж – жидкая фаза, раствор) происходит только частичное заполнение ионами меди активных центров поверхности. С увеличением объема раствора достигается состояние химического равновесия ($A=0,25$ мг/г).

Разработка сорбционной технологии связана с изучением равновесия сорбции. Полученные экспериментальные данные использовали для расчета удельной сорб-

ции. Относительную величину сорбционного средства диатомита к ионам меди можно установить по изотермам сорбции. На рисунке 3 представлено влияние концентрации ионов меди и температуры на величину сорбции.

При повышении температуры наблюдается повышение величины сорбции ионов меди: при 298К – 0,77 мг/г; при 318К – 0,90 мг/г; при 333К – 1,01 мг/г. Полученные изотермы представляют собой вид кривых с насыщением. Резкий подъем начального участка изотерм подтверждает версию о сорбционном средстве нативной формы диатомита к ионам меди. Результаты исследования показывают, что с увеличением концентрации исходного раствора происходит увеличение ионной силы раствора и активность поглощения ионов возрастает.

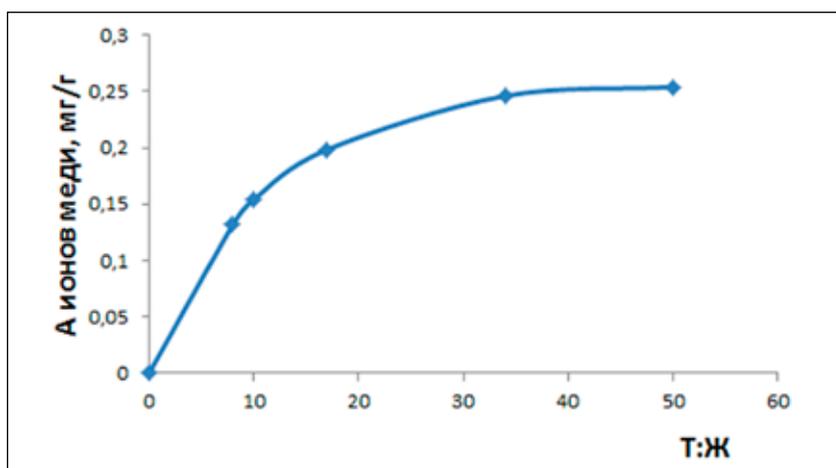


Рис. 2. Влияние ионов меди на сорбцию из раствора с концентрацией 0,03 М от соотношения Т:Ж

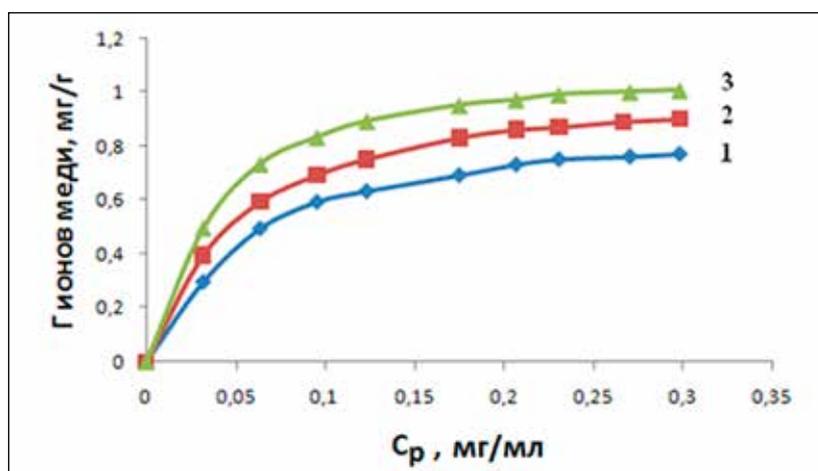


Рис. 3. Изотермы сорбции ионов меди при Т, К: 298 (1), 318 (2), 333(3)

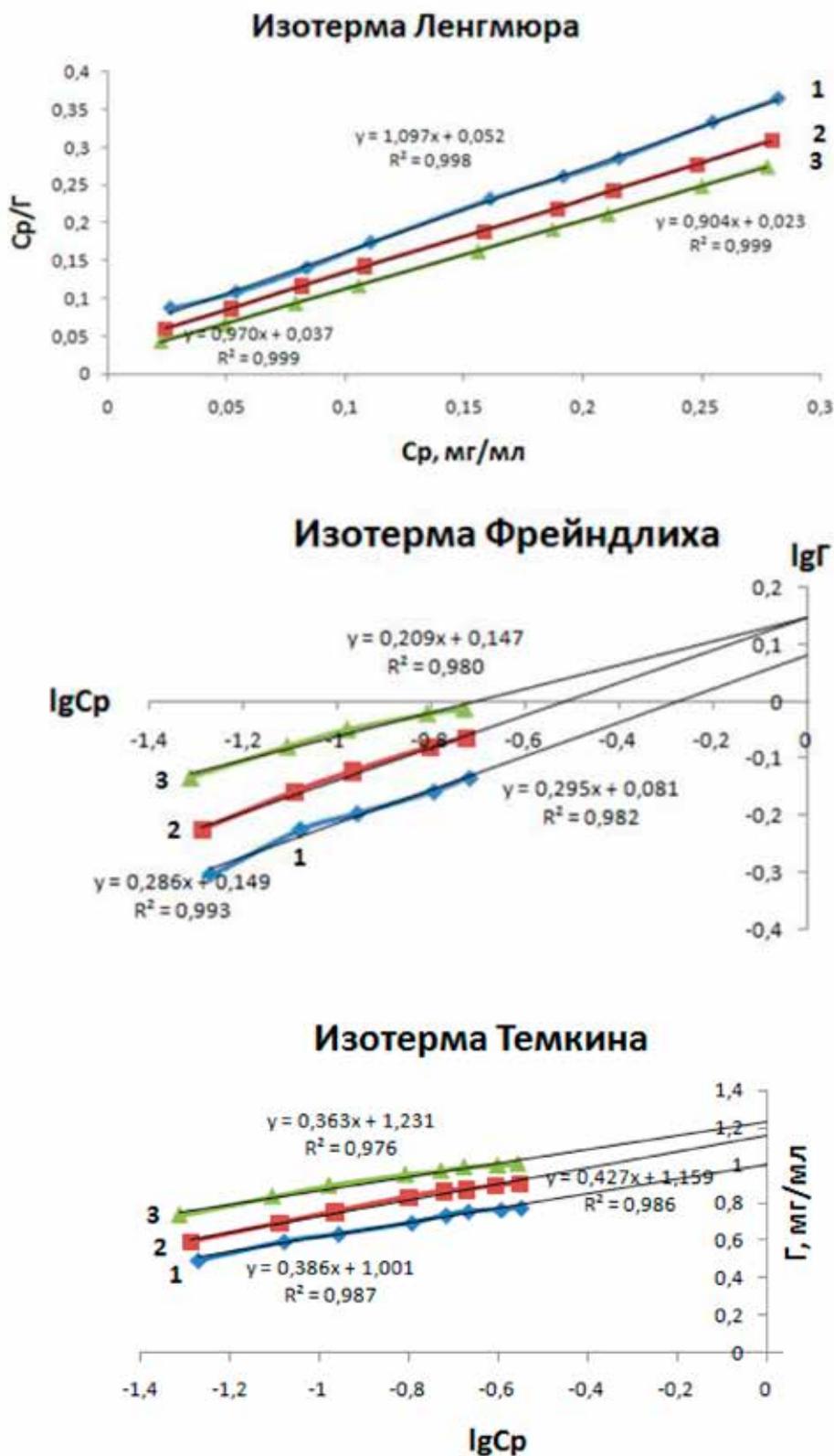


Рис. 4. Изотерма сорбции ионов меди на нативной форме диатомита в линейных координатах уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина при температуре: 1 – 298К; 2 – 318К; 3 – 333К

При анализе изотерм сорбции и расчете сорбционных параметров использовали теорию мономолекулярной сорбции с применением линейных уравнений Ленгмюра (2), Фрейндлиха (3) и Темкина (4) (рис. 4):

$$\frac{C_p}{A} = \frac{C_p}{K \cdot A_\infty} + \frac{C_p}{A_\infty} \quad (2)$$

$$\lg A = \lg k_F + \frac{1}{n} \cdot \lg C_p \quad (3)$$

$$A = \frac{1}{\infty} \cdot \ln k_T + \frac{1}{\infty} \cdot \ln C_p \quad (4)$$

Применив модель Ленгмюра для обработки изотермы, определили два постоянных параметра: максимальную величину сорбции A_∞ и константу сорбционного равновесия K – графической зависимостью, представленной на рисунке 4. Рассчитанные значения постоянных уравнения приведены в таблице 2. Согласно им, чем больше константа K , тем сильнее взаимодействие ионов меди с диатомитом. Из полученных данных можно видеть, что с увеличением температуры процесс сорбционная активность возрастает.

Линейная обработка изотерм сорбции ионов меди на диатомите представлена в таблице 2.

Таблица 2

Расчет параметров сорбции ионов меди по моделям

Модель Ленгмюра			
T, К	A_∞ , ммоль/г	K ,	R^2
298	0,91	21,10	0,998
318	1,03	26,22	0,999
333	1,11	39,30	0,999
Модель Фрейндлиха			
T, К	$\lg k_F$	$1/n$	R^2
298	1,21	0,30	0,983
318	1,41	0,29	0,993
333	1,4	0,21	0,980
Модель Темкина			
T, К	Lgk_T	$1/\alpha$	R^2
298	5,13	2,24	0,987
318	1,99	5,29	0,986
333	1,74	6,58	0,976

Модель Фрейндлиха имеет важное практическое применение: ее используют для анализа и расчета протекания сорбционных процессов. Путем применения зависимо-

сти $\lg A - \lg C_p$ были определены константы уравнения Фрейндлиха.

Модель Темкина имеет линейную зависимость.

По значениям коэффициентов корреляции (табл. 2) модель Ленгмюра подтверждает, что активные центры сорбента обладают равной энергией. Молекулы, образующие мономолекулярный слой, не взаимодействуют друг с другом. Из представленного рисунка 4 хорошо видно, что все точки зависимостей находятся на прямых линиях. Графическим методом с помощью рисунка 4 были найдены постоянные величины моделей (табл. 2). Процесс сорбции тяжелых металлов может носить характер физической сорбции, хемосорбции и ионного обмена между сорбатом и сорбентом [7, 8]. Кроме этого, обмен ионами у монтмориллонита происходит не только на внешней поверхности, но и внутри кристаллической решетки.

Выводы

Проведенные исследования диатомита Ирбитского месторождения Свердловской области и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Изотермы сорбции Cu^{2+} в широком интервале концентраций лучше описываются моделью Ленгмюра, подтверждает образование мономолекулярного слоя.
2. Максимальное значение сорбции при соотношении Т:Ж составляет 38.
3. Определено предельное значение сорбции: 0,91 мг/г сорбции Cu^{2+} из разбавленных растворов.

Список литературы

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2013. 154 с.
2. Медведев В.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов, 2017. 178 с.
3. Головки Т., Гармаш Е., Скугорова С. Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. С. 2-7.
4. Белова Т.П. Адсорбция марганца и свинца натуральным цеолитом из водных растворов. Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15. Вып. 5. С. 630-635.
5. Конопина И.В. Селективная сорбция радиоцезия сорбентами на основе природных глин. Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. Вып. 4. С. 446-655.
6. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
7. Пимнева Л.А., Лебедева А.А. Закономерности сорбции катионов меди (II) каолинитом // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9-2. С. 268-271.

УДК 621.396.96:551.328

**МЕТОДИКА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ
НЕ ЗАТРОНУТЫХ ТЕРМОКАРСТОМ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ****¹Прудецкий Н.Д., ¹Соколов К.О., ²Попков П.А.***¹Институт горного дела Севера Сибирского отделения Российской академии наук
им. Н.В. Черского, Якутск, e-mail: igds@ysn.ru;**²ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: svfu-info@mail.ru*

Эффективность ведения буровзрывных работ существенно зависит от степени льдистости вскрышных горных пород; например, на прииске «Маят» льдистость достигает 60%. Обзор геокриологических исследований показывает, что на разрабатываемых участках АО «Алмазы Анабара», находящихся в северо-восточной части Средне-Сибирского плоскогорья на границе с Приленской низменностью, в основном прослеживаются повторно-жильные льды, не затронутые термокарстом. Традиционными методами невозможно их оконтурить, и для этой цели предлагается применение геофизических методов. В работе приводятся расчет затухания электромагнитных волн (τ) по амплитудам георадиолокационных сигналов, отраженных от верхней и нижней границ ПЖЛ, и материалы георадиолокационных исследований в виде площадной съемки на участке АО «Алмазы Анабара». Представлены полевые данные, в том числе интерпретационный георадиолокационный разрез, а также критерии выявления повторно-жильных льдов, не затронутых термокарстом, в массиве мерзлых горных пород. Показано, что методом георадиолокации возможно выявить и оконтурить распространение повторно-жильных льдов, не затронутых термокарстом, в массиве мерзлых горных пород. В дальнейшем полученная информация о строении массива мерзлых горных пород может способствовать повышению эффективности вскрышных и буровзрывных работ.

Ключевые слова: массив мерзлых горных пород, повторно-жильные льды, не затронутые термокарстом, георадиолокация, буровзрывные работы, картирование подземных льдов

**MAPPING OF ICE WEDGES NOT AFFECTED
BY THERMOKARST ACCORDING TO GPR DATA****¹Prudetskiy N.D., ¹Sokolov K.O., ²Popkov P.A.***¹Mining Institute of the North Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: igds@ysn.ru;**²North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: svfu-info@mail.ru*

The efficiency of drilling and blasting operations significantly depends on the degree of ice content of overburden rocks, for example, at the Mayat mine, ice content reaches 60%. A review of geocryological studies shows that in the developed areas of Almazny Anabara JSC, located in the northeastern part of the Central Siberian Plateau on the border with the Prilenskaya Lowland, there are mainly re-veined ice not affected by thermokarst. It is impossible to outline them by traditional methods, and for this purpose the use of geophysical methods is proposed. The paper presents the calculation of the attenuation of electromagnetic waves (τ) by the amplitudes of georadar signals reflected from the upper and lower boundaries of the PZHL and the materials of georadar studies in the form of an areal survey at the site of Almazny Anabara JSC. Field data are presented, including an interpretative georadar section, as well as criteria for identifying wedge ice not affected by thermokarst in a frozen rock mass. It is shown that it is possible to identify and delineate the distribution of re-veined ice, not affected by thermokarst, in a frozen rock mass using GPR. In the future, the information obtained on the structure of the frozen rock massif can help improve the efficiency of stripping and drilling and blasting.

Keywords: frozen rock mass, re-veined ice not affected by thermokarst, ground penetrating radar, drilling and blasting, underground ice mapping

При разработке россыпных месторождений криолитозоны при производстве вскрышных работ часто (в зимний период) требуется буровзрывная подготовка торфов к выемке. Возможное наличие в составе вскрышных пород (торфов) повторно-жильных льдов, не прослеживаемых визуально термокарстовыми проявлениями, существенно снижает эффективность буровзрывных работ по причине неучета различия физико-механических свойств горных пород и льда при проектировании массовых взрывов, что приводит к снижению качества дробления вплоть до выхода негабаритов. В частности, подобные гор-

но-геологические условия разработки характерны для алмазосодержащей россыпи Северо-Западной Якутии, разрабатываемой АО «Алмазы Анабара».

Обзор ранее проведенных геокриологических исследований россыпных месторождений алмазов криолитозоны показывает, что прослеживаемые в теле россыпи (торфах) повторно-жильные льды (ПЖЛ), как правило, существенно не затронуты термокарстом [1]. Они обычно слабо выражены в рельефе, и их наличие практически невозможно фиксировать на аэрофотоснимках, что затрудняет их выявление и картирование для планирования и эффектив-

ного ведения буровзрывных работ (БВР). Следовательно, традиционными методами невозможно оконтурить ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород и поэтому для их выявления предлагается применение геофизических методов. Анализ ранее проведенных геофизических работ показал, что наиболее универсальным методом изучения ПЖЛ, не затронутых термокарстом, является метод георадиолокации (Прудецкий и др., 2019, Федорова и др., 2014) [2–4]. В настоящее время разработана основа методики выявления ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород, базирующаяся на особенностях структуры волновой картины, которая может быть получена при зондировании ПЖЛ или неоднородности массива горных пород схожей формы (валунов, трещин, заполненных рыхлыми отложениями). Таким образом, необходимо определить дополнительный критерий выявления ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород, который будет основан на электрофизических свойствах ПЖЛ.

Вопросами изучения ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород на Северо-Западе Якутии занимались многие ученые, применяя при этом различные методы исследования. Анализ работ А.Ю. Деревягина, С.Н. Булдовича, С.Ф. Хруцкого, Ю.К. Васильчука, В.Н. Конищева, Е.М. Катасонова, В.В. Куницкого и др. [5] показал, что в большинстве случаев изучение ПЖЛ производилось на основе оценки обнажений и керна буровых скважин. Методы геофизики применялись для исследования различных видов подземных льдов. Например, для изучения бугров пучения (линзы подземного льда) применялись методы электромагнитной индукции (Л.Г. Нерадовский), вертикального электрического зондирования (Д.В. Котелевец, К. Yoshikawa) [6] и георадиолокации (А.П. Ермаков, А.В. Старовойтов, Т. Kohout) [7]. С помощью метода георадиолокации проводились опытно-методические работы по выявлению пластовых льдов (А.В. Омеляненко, К.О. Соколов), ПЖЛ, расположенных под палеоруслинами на севере Канады (М. Allard), ПЖЛ, затронутых термокарстом (С.С. Бричева) [8]. Таким образом, методы геофизики успешно применяются для изучения некоторых видов подземных льдов, однако в настоящее время не проводились исследования по выявлению не затронутых термокарстом ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород, так как они слабо выражены в рельефе местности, что затрудняет применение традиционных методов для их изучения.

Целью данного исследования является разработка методики измерений и обработки данных георадиолокации, для выявления не затронутых термокарстом ПЖЛ. Метод георадиолокации в изучении ПЖЛ, не затронутых термокарстом, имеет ряд преимуществ перед другими геофизическими методами. Во-первых, оперативность: возможно быстро получить непрерывные георадиолокационные данные, где в результате обработки их по горизонтали и по вертикали выделить контрастные по электрическим свойствам среды и локальные объекты. Во-вторых, широкий диапазон имеющихся на сегодняшний день георадарных антенн позволяет успешно решать задачи определения глубины (с разрешением до 10 см с высокочастотными антеннами) и мощности (до глубин 30–35 м с низкочастотными антеннами) залегания локального объекта в массиве горных пород.

Для разработки методики картирования ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород методом георадиолокации необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ параметров ПЖЛ на разных участках россыпных месторождений криолитозоны;
- провести экспериментальные и натурные георадиолокационные измерения массива мерзлых горных пород с включением ПЖЛ;
- определить особенности проявления ПЖЛ на данных георадиолокации;
- разработать методику проведения полевых георадиолокационных измерений, обработки и интерпретаций полученных данных, позволяющую выявить и оконтурить распространение ПЖЛ, не затронутых термокарстом, в массиве мерзлых горных пород.

Материалы и методы исследования

Россыпные месторождения алмазов криолитозоны в основном расположены на территории, которая является частью системы краевых депрессий Сибирской платформы, а собственно лежат на западной окраине Лено-Анабарского прогиба. На уровне современного эрозионного среза развиты карбонатные породы среднего-верхнего кембрия, терригенные отложения перми и юры, вулканогенно-осадочные образования триаса, а также нижнемеловые и плиоценовые отложения, залегающие в карстовых и эрозионно-карстовых палеодепрессиях. Четвертичные образования в районе развиты повсеместно. На территории, в пределах низких пластовых плато, ПЖЛ установле-

ны практически во всех комплексах рыхлых четвертичных отложений. Наиболее широкое развитие они имеют в аллювиальных, озерно-аллювиальных, озерно-болотных и делювиальных отложениях. Характерной особенностью распространения ПЖЛ является их приуроченность не только к супесчано-суглинистым, но и к песчаным и крупнообломочным отложениям. Мощность ледяных жил, как правило, контролируется мощностью рыхлых отложений и не превышает 2–4 м, в пределах аллювиальных террас, полигональных и плоскобугристых торфяников доходит до 5–7 м [9]. Электрофизическое свойство ПЖЛ, в том числе диэлектрическая проницаемость ϵ , меняется в зависимости от чистоты льда в пределах от 3,2 до 4,1.

Для выявления ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород методом георадиолокации в натурных условиях, на базе лаборатории георадиолокации ИГДС СО РАН, проведено численное и физическое моделирование распространения георадиолокационных сигналов в мерзлом песке с включением чистого речного льда, результаты которых опубликованы нами ранее [10]. Для определения особенностей проявления ПЖЛ на данных георадиолокации проведен анализ амплитудно-временных характеристик георадиолокационных сигналов. По результатам

зондирований на участках месторождений «р. В. Маят» и «р. Молодо» рассчитаны затухания электромагнитных волн (r) по амплитудам георадиолокационных сигналов, отраженных от верхней и нижней границ ПЖЛ, по формуле $r = 20 \cdot \lg(A_{\text{верх}}/A_{\text{нижн}})$ (дБ) и построены их графики в зависимости от времени $\Delta t = t_{\text{нижн}} - t_{\text{верх}}$ (нс) прохождения в ПЖЛ, которые могут быть линейно аппроксимированы функциями r_m , $r_{\text{вм}}$ (рис. 1). Общий вид графиков схож, так как угловой коэффициент обеих линий составляет около 0,74. При этом синие точки характеризуют более чистый ПЖЛ, чем лед на участке «р. В. Маят». На основе полученных полевых данных возможно обобщение значений r , с помощью уравнения $r(\Delta t) = 0,74 \cdot (\Delta t + k)$, где k – коэффициент чистоты льда, который равняется 3,2 для участка месторождения «р. Молодо», -8 для участка «р. В. Маят».

Для подтверждения уравнения $r(\Delta t)$ проведено физическое моделирование распространения электромагнитных волн в массиве мерзлых горных пород, содержащем ПЖЛ, с последующим расчетом r . На рис. 1, б, представлен график с полученными значениями r , линейная аппроксимация которых соответствует угловому коэффициенту 0,78. Данный график подтверждает достоверность уравнения $r(\Delta t)$ результатов полевых данных.

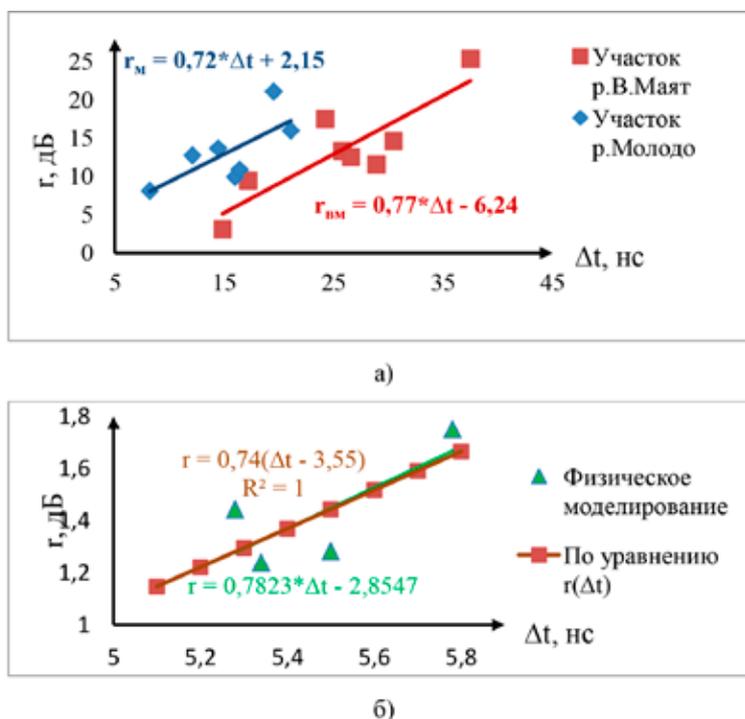


Рис. 1. Графики зависимостей затухания амплитуды георадиолокационных сигналов от времени прохождения по результатам: а) полевых измерений; б) физического моделирования

Однако метод георадиолокации не всегда дает достаточно хорошие результаты в массиве мерзлых горных пород, содержащих ледяные включения. Однозначная интерпретация таких видов разрезов затруднительна, геометрия границ очень сложна и не поддается точному выделению по результатам стандартной обработки. Для того чтобы повысить эффективность метода георадиолокации при изучении ПЖЛ, не затронутых термокарстом, в массиве мерзлых горных пород, предлагается методика, которая апробирована на участке россыпного месторождения алмазов криолитозоны (АО «Алмазы Анабара»), включающая в себя следующие этапы:

- сбор априорных данных (геологические разрезы по шурфовым данным, буровых скважин);
- выбор аппаратуры и параметров измерения (шаг измерения между точками зондирования, режим зондирования, скорость передвижения радара);
- обработка георадиолокационных данных по разработанному алгоритму;
- интерпретация георадиолокационного разреза на основе выработанных критериев;
- картирование включений ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород.

Сбор априорных данных – один из основных этапов данной методики. Опыт проведения георадиолокационных исследований на производственных объектах крупных алмазодобывающих предприятий Севера показывает, что при достаточной имеющейся информации о строении и структуре массива горных пород можно выбрать частоты антенного блока георадара.

В априорные данные входит информация о рельефе местности, степени залесенности, инженерно-геологическое строение массива горных пород включающего в себе состав и мощность рыхлых отложений, наличие криогенных объектов, в том числе ПЖЛ и талых пород. Важную роль играет топографо-геодезическая изученность района исследования. Результатом таких работ является топографическая схема с сечением рельефа, планово-высотная привязка буровзрывных полигонов, илоотстойников, зумпфов, руслоотводных каналов (горнопроходческие работы (ГПР), горнотехнические сооружения (ГТС)), поисково-оценочных шурфовых и буровых линий и т.д.

Также необходимо иметь информацию о геолого-геоморфологическом очерке района, который включает в себе та-

кие разделы, как стратиграфия, тектоника и геоморфология.

Так как россыпные месторождения алмазов криолитозоны Лено-Анабарского междуречья Севера Якутской алмазонасной провинции (ЯАП) в основном приурочены к аллювиальным отложениям, которые развиты в руслово-низкопойменных частях и высокой пойме речных долин. Следовательно, необходимо иметь информацию о стратиграфии современных отложений, которые в основном представляются гравийно-галечным материалом с примесью глины, песка и валунов, так как их мощность в основном изменяется в широких пределах от 0,4–0,5 до 4–7 м.

В тектоническом отношении россыпные месторождения алмазов Анабарского и Приленского алмазонасных провинций приурочены к узлам пересечения глубинных разломов, под влиянием которых могут оказаться на уровне современного эрозионного среза (до 5–30 м) сложнопостроенные тела, такие как сочетание даечных, жильных и пластовых тел (силлов) различной мощности и ориентировки с формированием в конечном счете специфических по форме «штокверкообразных» тел.

В геоморфологическом отношении бассейны рек россыпных месторождений алмазов в основном представляют собой выработанную в доломитах денудационно-аккумулятивную поверхность выравнивания, в которые врезаны унаследованные с верхнечетвертичного времени долины современных водотоков, представляющих несколько типов рельефа: структурно-денудационный, денудационно-аккумулятивный, денудационно-эрозионный и эрозионно-аккумулятивный.

Выбор аппаратуры и параметров измерения. На основании априорных данных проводится выбор аппаратуры и параметров георадиолокационных измерений, который направлен на обеспечение достаточной глубинности и разрешающей способности работ. В таблице указан спектр частот антенных блоков в зависимости от требуемой глубины зондирования. В зависимости от условий пересеченной местности и размеров площади исследования выбирается режим проведения георадиолокационных измерений. Необходимо отметить, что при проведении георадарной съемки в дискретном режиме минимальный шаг съемки составляет 1 м, чтобы не упустить ПЖЛ между точками зондирования.

Характеристики антенных блоков
георадаров «ОКО-2»

Требуемая глубина, м	Антенный блок, МГц	Режим съемки
До 5 м	АБ-400	Непрерывный Дискретный По перемещению
5–8 м	АБ-400, 250	
8–12 м	АБ-250, 150	
12–30 м	АБ-90, АБДЛ-100, 50	

Обработка и интерпретация георадиолокационных данных. Для точной и однозначной интерпретации радарограммы для выявления ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород разработан алгоритм обработки георадиолокационных данных. Алгоритм состоит из трех этапов: 1) подготовка первичных полевых данных (объединение фрагментов протяженных профилей, выделение волн-помех, определение уровня относительного нуля шкалы глубин, топографическая привязка меток радарограммы); 2) редакция данных (удаление отдельных трасс помех; удаление неинформативных фрагментов радарограммы; прореживание или интерполяция в соответствии с новым шагом по профилю); 3) процедуры обработки данных (изменение коэффициента усиления, подавление помех (цифровая фильтрация), вычитание среднего, а также при необходимости выставление рельефа местности).

Апробирование разработанной методики по картированию ПЖЛ, не затронутых термокарстом, методом георадиолокации проведено на участке АО «Алмазы Анабара», находящегося в северо-восточной части Средне-Сибирского плоскогорья на границе с Приленской низменностью. Для определения границы залегания и оконтуривания ПЖЛ, не затронутых термокарстом, в массиве мерзлых горных пород исследуемого участка работы выполнены георадаром «ОКО-2» с антенным блоком «АБ-250М» (НПО «Логис-Геотех», Россия). Георадиолокационные исследования проводились в марте, при полном промерзании массива горных пород. Работа проводилась в виде площадной съемки, так как было необходимо провести картирование ПЖЛ на исследуемом участке. Следовательно, георадиолокационные профили проложены параллельно друг к другу, по направлению русла реки, расстояние между ними составляло от 2 до 3 м. Режим георадиолокационной съемки выбран «по перемещению».

Для привязки георадиолокационных данных на местности использовался датчик перемещения с колесом (ДП-32), а также GPS приемник. Обработка георадиолокационных данных выполнена в программном обеспечении ПО «GeoScan32» (НПО «Логис-Геотех», Россия). Все полученные результаты георадиолокационных измерений заверялись данными буровых скважин и обнажений борта массива горных пород.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Результаты полевых георадиолокационных исследований массива горных пород с включениями ПЖЛ приведены на рис. 2. Заверка волновых образов подземного льда на радарограммах выполнена по рекогносцировочному профилю, непосредственно примыкающему к исследуемому участку, вдоль буровой линии и обнажения массива горных пород. Протяженность профиля составляла 230 м, поверхность была расчищена от деревьев и снега (рис. 2, а). Скважины пробурены с шагом 4–5 м и отмечены на интерпретационном георадиолокационном разрезе черными вертикальными линиями (рис. 2, б).

На георадиолокационном разрезе выявлены две границы, приуроченные к прослою льда и кровле коренных пород. В рыхлых отложениях отмечены ПЖЛ и пластовые льды, оконтуренные черной линией. Синим прямоугольником отмечен участок, на котором имеется обнажение ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород. На рис. 2, в, показана фотография обнажения, где красной пунктирной линией оконтурен ПЖЛ, а также представлен фрагмент георадиолокационного разреза с волновым образом льда. Красными пунктирными линиями обозначены верхняя и нижняя границы льда, отображенные на радарограмме дифрагированными волнами в виде гипербол. Далее представлена трасса георадиолокационного сигнала по центру льда, где его фаза от нижней границы меняется относительно верхней. И, как видно, спектр частот, взятый в области волнового образа льда, имеет изрезанную форму. По этим трем критериям возможна интерпретация данной волновой картины, как отражения от границ ПЖЛ. Критерии выявления ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород определялись по результатам проведения их численного и физического моделирования и описаны в трудах Prudetskiy N.D. et al. [11].

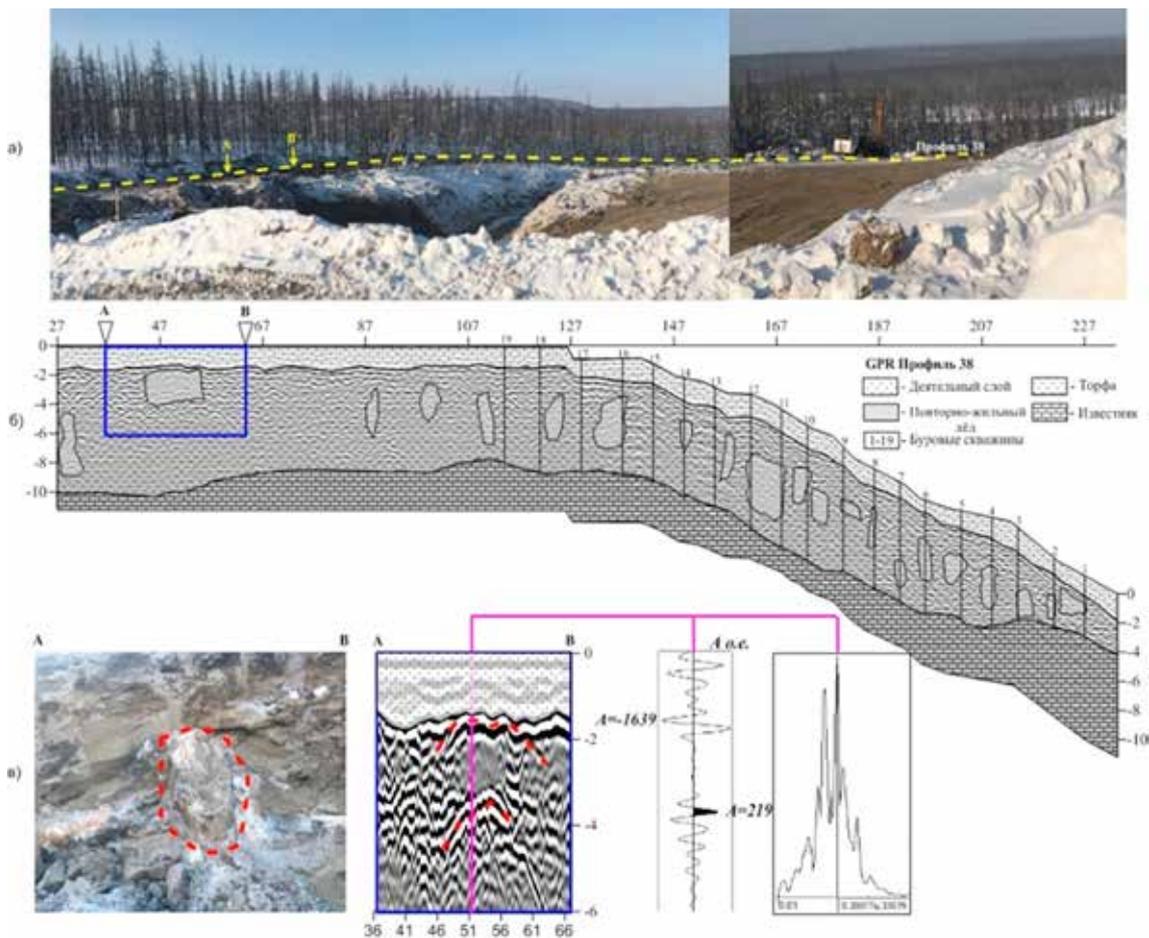


Рис. 2. Полевые материалы георадиолокационного исследования ПЖЛ

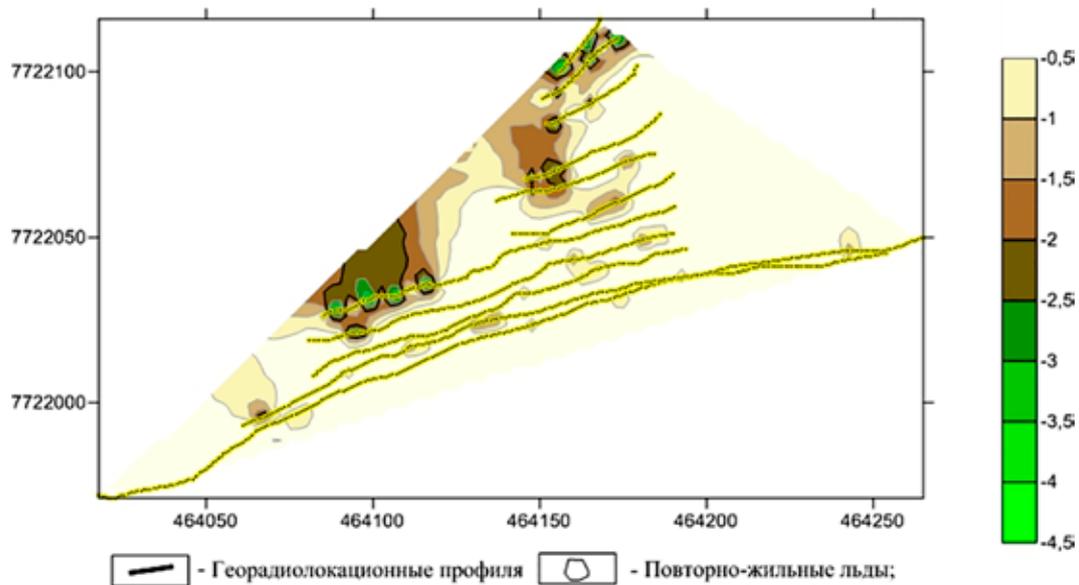


Рис. 3. Карта глубины залегания кровли ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород

На основе подтвержденных интерпретационных признаков выявления ПЖЛ на тестовом профиле произведены обработка и интерпретация 11 георадиолокационных профилей (желтые пунктирные линии на рис. 3). По полученным результатам построена карта глубины залегания кровли ПЖЛ в массиве мерзлых горных пород. Цветными пятнами показаны и оконтурены верхние границы ПЖЛ и глубины их залегания.

Заключение

В результате разработки и апробации методики георадиолокационного картирования подземных льдов построена карта глубины залегания кровли ПЖЛ на участке россыпного месторождения. Показано, что методом георадиолокации возможно выявить и оконтурить ПЖЛ, не затронутые термокарстом, в массиве мерзлых горных пород. В дальнейшем полученная информация о строении массива мерзлых горных пород может способствовать повышению эффективности вскрышных и буровзрывных работ.

Полевые исследования проводились на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Ершов Э.Д. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. 414 с.
2. Прудецкий Н.Д., Соколов К.О., Федорова Л.Л. Аналитический обзор методов исследования трещин в четвертичных отложениях криолитозоны // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 185–191.
3. Судакова М.С., Владов М.Л. Современные направления георадиолокации // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2018. № 2. С. 3–12.
4. Нерадовский Л.Г. Оценки объемной льдистости дисперсных грунтов Центрально-Якутской низменности по данным георадиолокации // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 1. С. 81–92.
5. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Чижова Ю.Н., Станиловская Ю.В. Миграционные бугры пучения в криолитозоне Восточной Сибири и Дальнего Востока // Инженерная геология. 2014. № 1. С. 40–64.
6. Котелевец Д.В., Васильчук Д.Ю. Комплексное изучение ледоминеральных бугров пучения геофизическими методами в долине реки Сенца, республика Бурятия // Арктика и Антарктика. 2018. № 1. С. 122–132. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.1.25935.
7. Ермаков А.П., Старовойтов А.В. Применение метода георадиолокации при инженерно-геологических исследованиях для оценки геокриологической обстановки // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2010. № 6. С. 91–97.
8. Бричева С.С. Разработка методики изучения криогенных объектов при помощи георадиолокации: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.10. Московский государственный университет. Москва, 2018. 25 с.
9. Граханов С.А., Шаталов В.И., Веретенников В.А., Егоров К.Н., Липашова А.Н., Помазанский Б.С., Селиванова В.В. Древние россыпи алмазов Сибирской платформы // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2006. № 2. С. 167–177.
10. Прудецкий Н.Д., Соколов К.О., Федорова Л.Л. Физическое моделирование распространения электромагнитной высокочастотной волны в массиве горных пород с трещиной заполненной льдом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 11. С. 107–114.
11. Prudetskiy N.D., Sokolov K. O., Dyagileva R.A. GPR studies of overburden rocks with a crack filled with ice during the development of alluvial diamond deposits in Yakutia. Conference Proceedings: Engineering and Mining Geophysics 2020. Perm. 2020. P. 1–6.

УДК 528

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ НА ПРОЕКТЕ ПЛОТИНА СУЛТАНА, ОБЛАСТЬ ГАЗНИ – АФГАНИСТАН

^{1,2}Сафари М.А., ²Льонг Т.Л., ³Елшеви М.А.

¹Кабульский политехнический университет, Кабул, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;

²Государственный университет по землеустройству, Москва;

³Университет Аль-Азхар, Каир

Результатом геодезических работ по определению положения объекта с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются его координаты в геоцентрической системе координат и высоты относительно общеземного эллипсоида. Однако для выполнения большинства геодезических работ необходимо знать высоты пунктов относительно принятой уровенной поверхности (нормальные высоты). Точность данных, полученных с помощью измерений ГНСС, зависит от вида измерения, вида процесса данных и квалификации специалистов. В Афганистане в настоящее время инженерные геодезические проекты имеют множество проблем из-за отсутствия государственной сети и нехватки специалистов для обработки полевых данных ГНСС. Для решения данной проблемы в статье предусмотрены анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов. На сегодняшний день на рынке существует несколько бесплатных онлайн-сервисов, которые имеют свои особенности. Таким образом, основной целью данной статьи является сравнение и оценка точности обработки плановой и высотных координат пункта на территории плотина Султана, область Газни, Афганистан, с использованием онлайн-сервисов и программы Trimble Business Center (TBC), выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки ГНСС-данных. В данном исследовании изложены положения по определению координат пункта ВМ1, осуществляемому службой обработки онлайн GPS (Australian Online GPS Processing Service AUSPOS) (версия: AUSPOS 2.4), канадским онлайн-сайтом постобработки (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning CSRS-PPP), пользовательским Сервисом онлайн-позиционирования (Online Positioning User Service OPUS) и программой TBC, а также сравнение точности получения координат пункта ВМ1 разными способами. Результаты обработки программного обеспечения при помощи интернет-сервисов и TBC показывают минимальное значение для погрешности этих пунктов (приблизительно 1 см) и максимальное (приблизительно 1,3 см) и плановые координаты 1,2 и 6,4 см на геодезическую высоту.

Ключевые слова: ГНСС, онлайн-сервисы, AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC

ANALYSIS AND EVALUATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DATA PROCESSING USING ONLINE SERVICE AT THE SULTAN DAM PROJECT, GHAZNI REGION – AFGHANISTAN

^{1,2}Safari M.A., ²Luong T.L., ³Elshevy M.A.

¹Kabul Polytechnic University, Kabul, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;

²State University of Land Use Planning, Moscow;

³Al-Azhar University, Cairo

The result of geodetic work to determine the position of an object using global navigation satellite systems (GNSS) are its coordinates in the geocentric coordinate system and heights relative to the Earth ellipsoid. However, for most geodetic work, you need to know the heights of points relative to the accepted level surface. The accuracy of the data depends on the type of measurement, data processing and the skill of the specialists. Currently, in the Afghanistan, to the engineering projects have many problems due to the lack of government geodetic network and insufficient of specialists. To solve this problem, the article provides analysis and evaluation of GNSS data processing using online services. Thus, the main purpose of this article is to compare and evaluate the accuracy of processing the grid and high-altitude coordinates of BM1, using online services and Trimble Business Center (TBC) program. This study sets out the provisions for determining the coordinates of the BM1, carried out by the online GNSS processing service (Australian Online GPS Processing Service AUSPOS), the Canadian online post-processing site (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning CSRS-PPP), the Online Positioning User Service OPUS, and comparing the accuracy of obtaining the coordinates of the BM1 in different ways. The results of TBC software processing and Internet services show the minimum value for the error of these points (approximately 1 cm) and the maximum (approximately 1.3 cm) in the grid coordinates, 1.2 and 6.4 cm in the elevations.

Keywords: GNSS, online-services, AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS & TBC

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) обеспечивает самостоятельное геопространственное определение местоположения с глобальным охватом. Наиболее известной и широко используемой системой ГНСС является Глобаль-

ная система позиционирования NAVSTAR (GPS) США.

Российские системы ГЛОНАСС постоянно модернизируются при помощи новых и усовершенствованных спутников, предоставляющих новые сигналы, новые часто-

ты и новые функциональные возможности. Кроме того, в настоящее время разрабатываются многие другие системы ГНСС и дополнения, такие как спутниковая система Европейского союза GALILEO, японская спутниковая система Quasi-Zenith, индийская региональная навигационная спутниковая система (IRNSS) или спутниковая система Компаса Китая.

Поскольку GPS обеспечивает высокоточное позиционирование экономически эффективным образом, оно нашло применение во многих промышленных областях, заменив в большинстве случаев традиционные методы, например коммунальные службы, аэрофотосъемка, мониторинг структурных деформаций и гражданское строительство.

С 1994 г. Международная служба ГНСС (International GNSS Service IGS) предоставляет научному сообществу точную орбитальную продукцию GPS с повышенной точностью и своевременностью [1].

IGS – это добровольная федерация, объединяющая более 200 агентств во всем мире, которые объединяют ресурсы и данные станций GPS и ГЛОНАСС для создания точных продуктов GPS и ГЛОНАСС. IGS стремится предоставлять данные и продукцию самого высокого качества в качестве стандарта для ГНСС в поддержку научных исследований Земли, междисциплинарного применения и образования.

В настоящее время IGS включает GPS, ГЛОНАСС и другие спутниковые навигационные системы с постоянно работающими базовыми станциями, расположенными по всему миру [2].

Развитие современных технологий спутникового позиционирования поставило задачу модернизации высотно-координатной основы. Для этого в первую очередь необходимо решить задачу определения высокоточной модели квазигеоида. В последние годы наметилась тенденция использования данных современных планетарных моделей гравитационного поля Земли для построения цифровой модели геоида и замены дорогостоящего классического геометрического нивелирования спутниковым ГНСС-нивелированием. Точность определения высот геоида над общеземным эллипсоидом WGS84 по этим моделям для данной территории определяется типом, подробностью и точностью данных, которые были использованы при расчете данной модели [3].

Было проведено множество исследований по оценке точности данных ГНСС; продолжительность наблюдения является критическим фактором при определении базовой длины [4]. Предлагаемое время может быть сокращено за счет увеличения количества спутников слежения с использованием дифференциально-статической техники [5].

При наблюдении базовых линий протяженностью до 5,0 км с использованием измерений фазы, несущей L1 точность будет составлять 0,5–2 см для прошедшего времени 20 мин, 40 мин и 60 мин [6]. Время сеанса в качестве направляющих должно составлять около 10 минут + 1 мин/км для одночастотных приемников [7].

На сегодняшний день на рынке существует несколько бесплатных онлайн-сервисов постобработки, которые имеют свои особенности при использовании и отличаются точностью определения конечных координат. Таким образом, актуальным является выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки GNSS-данных [1].

В связи с вышесказанным задачами данного исследования являются анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов с использованием Программного обеспечения ТВС и онлайн-службы AUSPOS, CSRS-PPP и OPUS для исследуемой территории, которая расположена на территории Афганистана в области Газни, плотины Султана.

В Афганистане в настоящее время инженерные геодезические проекты имеют множество проблем из-за отсутствия государственной сети и нехватки специалистов для обработки полевых данных ГНСС. Для решения данной проблемы в статье предусмотрен анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов. Таким образом, основной целью данной статьи является сравнение и оценка точности обработки плановой и высотных координат пункта на территории плотины Султана, область Газни, Афганистан, с использованием онлайн-сервисов и программы ТВС, выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки ГНСС-данных.

Материалы и методы исследования

Исследуемая территория включает в себя территории плотины Султана в провинции Газни Афганистана (N33°45'24" и E68°22'47"), на рис. 1 показано место исследования.

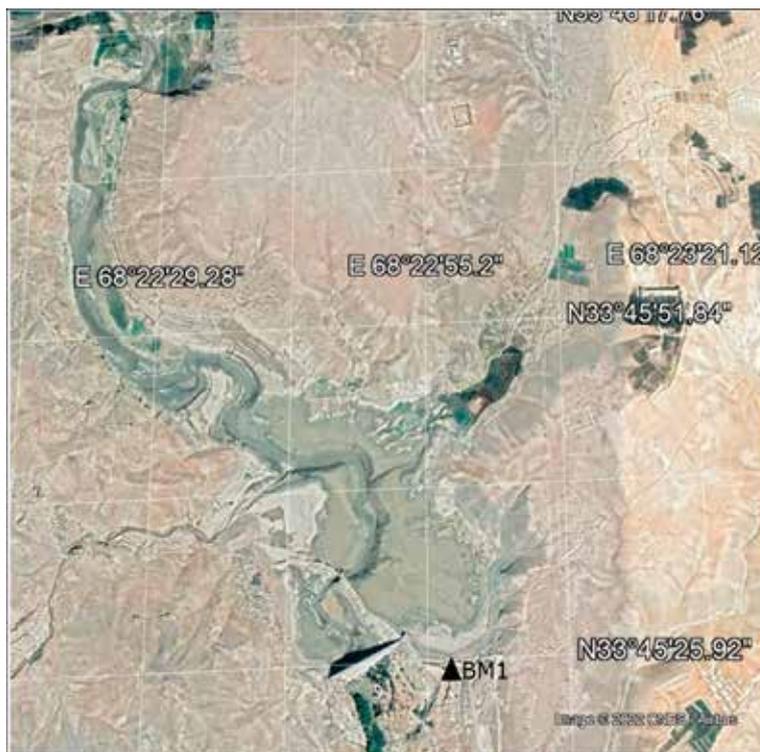


Рис. 1. Плотина Султана в провинции Газни Афганистана

Доступный ГНСС-приемник Leica, Дифференциальный ГНСС-1200 (двухчастотный) используется для сбора GPS-наблюдений. AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC используются для обработки всех ГНСС-данных.

Определение координат точки BM1, которая наблюдалась в течение 9 ч на 21.01.2021. службой обработки онлайн ГНСС AUSPOS (версия: AUSPOS 2.4), канадским онлайн-сайтом постобработки CSRS-PPP, пользовательским Сервисом онлайн-позиционирования OPUS и TBC программ.

AUSPOS: Онлайн-служба обработки ГНСС (AUSPOS) Geo-science Australia (ранее Австралийская геодезическая и земельная информационная группа (AUSLIG)) была официально запущена в конце 2000 г. и с тех пор непрерывно обрабатывает геодезические данные для двухчастотных приемников ГНСС, расположенных в любой точке Земли. AUSPOS был разработан и эксплуатировался для следующих целей и задач:

- его можно легко использовать с интерфейсом веб-страницы;
- возможность обработки двухчастотных геодезических данных ГНСС;
- данные загружаются в веб-браузер либо напрямую, либо через ftp.

При обработке данных используются самые высокие стандарты качества, сервис доступен пользователям в течение всего дня, быстрая обработка, < 15 мин/файл, результаты, полученные по ftp-серверу или электронной почте, доступны в любой точке мира; и GDA94, совместим для австралийских пользователей, ITRF в других регионах мира.

AUSPOST использовал метод дифференциального GPS-позиционирования, основанный на ближайших трех или более станциях Международной службы ГНСС (IGS), и использует информацию о точной орбите IGS. AUSPOST, разработанный для удобства использования в различных приложениях, включает в себя:

- позиционирование опорной станции ДГНСС;
- позиционирование на очень длинной базовой линии;
- дистанционное позиционирование станции ГНСС;
- подключение ГНСС к станциям IGS;
- высокоточное позиционирование [8].

CSRS Precise Point Positioning (CSRS-PPP) – это оценочная услуга, которую предлагает Министерство природных ресурсов Канады (Natural Resources Canada NRCAN).

Представленный онлайн-сервис для пользователей ГНСС в Канаде (и за рубежом) может достигать точного позиционирования, отправляя ГНСС-наблюдения с одного приемника через интернет. Результирующая точность сравнима с ГНСС с разностью фаз без необходимости доступа или обработки данных, собранных одновременно на базовой станции, или для обеспечения правильной привязки координат базовой станции. CSRS-PPP может обрабатывать GPS-наблюдения с одно- или двухчастотных ГНСС-приемников, работающих в статическом или кинематическом режиме [2].

В зависимости от пользовательского оборудования динамика приемника и продолжительность сеанса наблюдения этого приложения может улучшить результаты определения местоположения в 2–100 раз по сравнению с неоткорректированным позиционированием точки с использованием ширококешательных ГНСС-орбит. Этот уровень улучшения часто может быть достигнут при снижении затрат и повышении операционной эффективности за счет устранения необходимости для пользователей ГНСС получать данные от базовых станций. Ключом к этому подходу PPP является использование точных данных ГНСС-орбиты и часов, созданных в результате международного сотрудничества, которые обычно в 100 раз лучше, чем те, которые содержатся в ширококешательном навигационном сообщении ГНСС [9].

Online Positioning User Service (OPUS) – это интернет-сервис оценки данных, основанный Американским национальным управлением океанических и атмосферных исследований. Файл данных, используемый в сервисе Opus, должен содержать данные продолжительностью не менее 2 ч, записанных стационарной антенной. С другой стороны, данные, собранные одночастотным приемником, не обрабатываются Opus, а данные, собранные двухчастотными приемниками на 1, 2, 3, 5, 10, 15 и 30 интервалов, оцениваются. Сервис предлагает различные методы оценки, такие как статические и быстрые статические, в зависимости от типа сбора данных. В статическом методе длина файла данных должна составлять от 2 ч до 48 ч, в то время как данные от 15 мин до 2 ч оцениваются в быстром статическом методе. В отчете, вдобавок к значениям геоцентрических координат точки, также содержится такая информация, как используемое программное

обеспечение, время остановки и окончания файла данных, тип и высота антенны, имя файла [10].

Программное обеспечение Trimble Business Center (TBC). Это офисный программный пакет Trimble Business Center, который имеет высокую степень автоматизации и предназначен для обработки и управления данными оптических, ГНСС и фотограмметрических измерений. Уникальные возможности TBC, такие как обработка ГНСС или фотограмметрических измерений, позволяют геодезистам немедленно начать обработку полевых данных после окончания съемки. Также можно быстро внести изменения в проектную документацию и передать полевой бригаде данные для разбивки.

Для контроля качества результатов наблюдений TBC имеет средства, позволяющие обеспечить качественный и надежный результат и быстро выявить некачественные измерения. Программа TBC создает отчеты в формате HTML, который легко открывается в текстовых редакторах и браузерах [11].

В этом исследовании для анализа и оценки обработки данных GNSS с использованием онлайн-сервисов были реализованы следующие шаги:

- Установлены и закреплены точки BM1 на местности плотина Султана, Афганистан (рис. 1).
- Наблюдения данных BM1 в течение 9 ч с помощью двухчастотного ГНСС-приемника Leica-1200.
- Загружены исходные данные на компьютер и конвертированы в RINEX.
- Обработаны данные ГНСС с помощью программы TBC и переданы RINEX данные в онлайн-службы для обработки.
- Получены результаты обработки от онлайн-сервисов и TBC.
- И наконец по следующему уравнению оценена точность результатов онлайн-процесса с помощью программы TBC

$$\begin{cases} \Delta X = X_{TBC} - X_{OP} \\ \Delta Y = Y_{TBC} - Y_{OP} \\ \Delta h = h_{TBC} - h_{OP} \end{cases}$$

где $X_{TBC}, Y_{TBC}, h_{TBC}$ – скорректированная трехмерная координата BM1 с помощью TBC,

X_{OP}, Y_{OP}, h_{OP} – скорректированная трехмерная координата BM1 с помощью онлайн-процесса. Представленные выше этапы четко показаны на рис. 2.

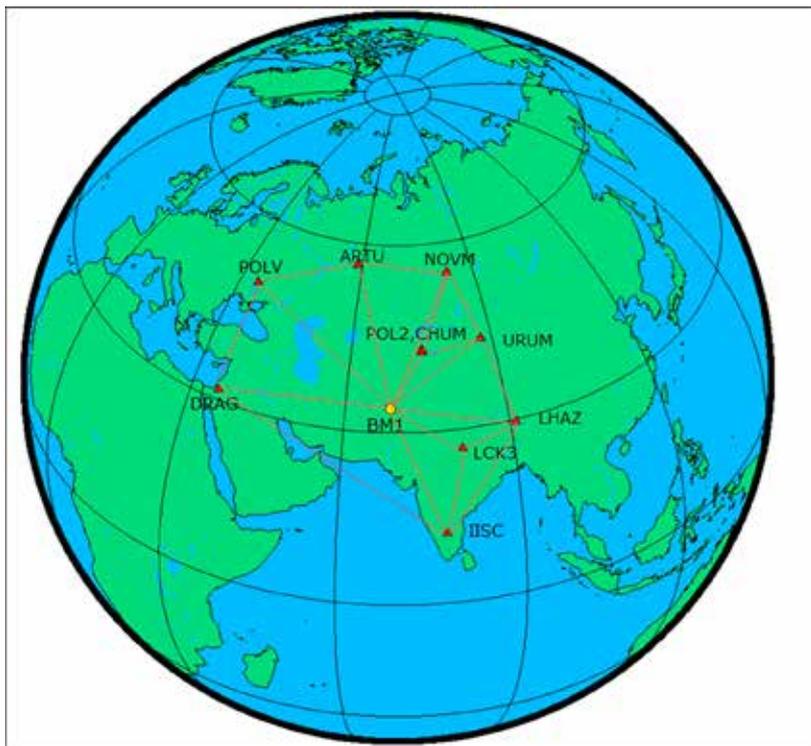


Рис. 2. Методика исследования

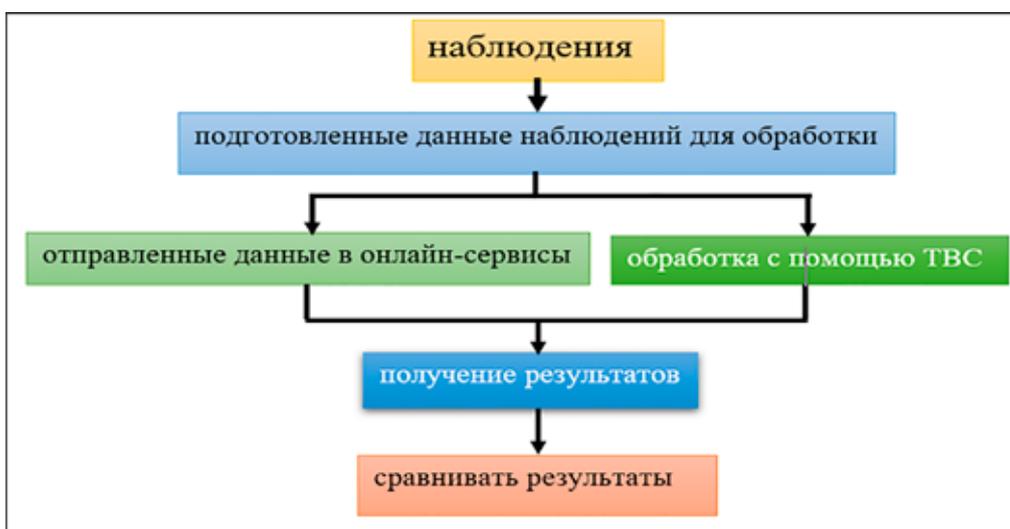


Рис. 3. Использование глобальных опорных станций

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с приведенными выше объяснениями можно сделать вывод, что каждый из сервисов имеет свои особенности. В свою очередь, большинство сервисов, например AUSPOS, CSRS-PPP, и OPUS,

работает с IGS-данными, что позволяет использовать при обработке точные данные орбит и часов [1].

В рамках данного исследования для выполнения постобработки исходными данными являются GNSS измерения за BM1GNSS-сутки десять постоянно действующих базовых станций (БС) в фор-

мате ITRF. На рис. 3 показано использование глобальных опорных станций для обработки ВМ1.

Для выбора наиболее точного сервиса постобработки необходимо проанализировать значение средней квадратической погрешности (СКП) определения координат БС. В качестве положения БС было принято положение ВМ1 в результате обработки 9-часовых ГНСС-данных с помощью сервисов AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC. Результаты математической обработки представлены в табл. 1.

Эти координаты были преобразованы в координаты проекции (Universal Transverse Mercator UTM), в 6-градусной системе центральный меридиан зоны был

принят за 69°, и его различия были рассчитаны для всей системы результатов обработки СКП и UTM координат можно увидеть в табл. 2.

Как видно выше, результаты 9-часовых данных RINEX, которые были оценены во всех четырех системах, похожи друг на друга. Разница значений всех координат составляет около сантиметра. Это значит, что результаты не имеют существенной разницы для координат, полученных из 9-часовых данных, независимо от того, какая система используется.

Разницу в UTM-координатах точки ВМ1 между онлайн-процессом и программой TBC можно наглядно увидеть в табл. 3.

Таблица 1

Результаты математической обработки геодезических координат ВМ1

Сервис	Широта	Долгота	Ортометрическая высота (m)
AUSPOS	33° 45' 25.04508"	68° 22' 54.94285"	2379.839
CSRS-PPP	33° 45' 25.04494"	68° 22' 54.94278"	
OPUS	33° 45' 25.04498"	68° 22' 54.94314"	
TBC	33°45'25.04533"	68°22'54.94298"	2378.960

Таблица 2

Полученные значения средней квадратической погрешности по универсальным трансверсальным координатам Меркатора ВМ1

Сервис	X (m)	СКП по X (мм)	Y (m)	СКП по Y (мм)	h (m)	СКП по h (мм)
AUSPOS	442759.973	8	3735379.940	6	2353.823	22
CSRS-PPP	442759.971	4	3735379.935	4	2353.460	19
OPUS	442757.903	6	3735379.466	6	2353.530	12
TBC	442759.976	9	3735379.947	13	2353.455	64

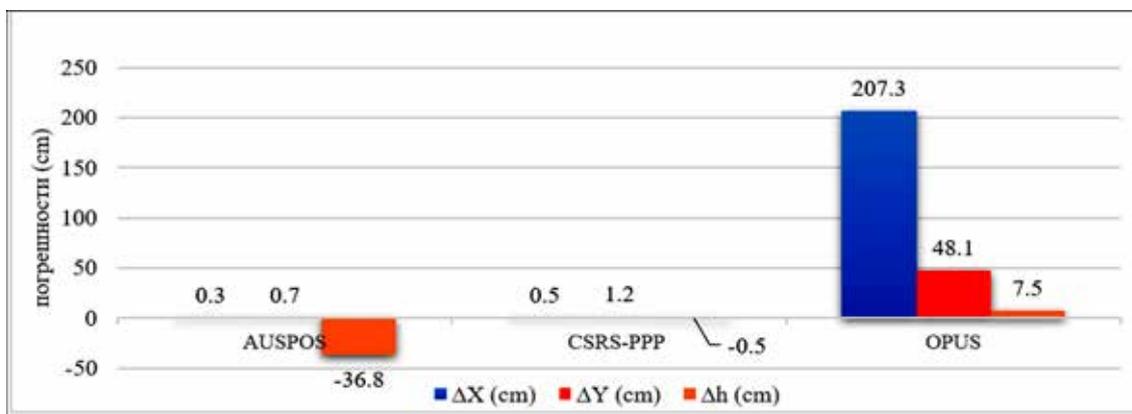


Рис. 4. Оценка точности трехмерной координаты ВМ1, результатов онлайн-процесса с использованием программы TBC

В этом приложении AUSPOS, CSRS-PPP и системы OPUS были оценены с помощью TBC. Как видно в табл. 3, рис. 4, AUSPOS и CSRS-PPP имеют более похожие результаты в плановой системе координат UTM, и OPUS дает неприемлемые результаты по отношению к другим. Обратное значение при сравнении погрешности высот, OPUS дают такую же хорошую точность, как AUSPOS и CSRS-PPP (рис. 4).

Таблица 3

Разница в универсальных трансверсальных координатах Меркатора точки BM1

	ΔX (cm)	ΔY (cm)	Δh (cm)
TBC-AUSPOS	0,3	0,7	-36,8
TBC-CSRS-PPP	0,5	1,2	-0,5
TBC-OPUS	207,3	48,1	-7,5

В результате можно сказать, что OPUS дает как непроверяемые результаты процесса, так и очень короткий отчет для обработки, CSRS-PPP являются точными и переменными, но также дают неполный отчет, и AUSPOS дают как переменные результаты обработки и полный отчет о том, что необходимо в геодезическом инженерном проекте.

Заключение

Точность координаты, которую мы получили с помощью онлайн-сервиса на опорном пункте BM1, является ответом на геодезические задачи в большинстве инженерных проектов. В последние годы одной из интересных и сложных задач в области геодезических проектов является точное определение ортометрических высот по данным ГНСС-измерений. Таким образом, это исследование было осуществлено для анализа и оценки обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов на территории плотины Султана в провинции Газни Афганистана. В результате мы можем использовать BM1 как базовый контрольный пункт для создания геодезических опорных пунктов для выполнения геодезических работ, измерения геодезической высоты с точностью до 2 см, для построения локальной модели геоида.

Поскольку сегодня методы PPP приобретают все большее значение, начали широко использоваться услуги оценки при помощи интернет-сервисов. Наиболее

важным преимуществом этих систем является то, что результаты могут быть получены одним приемником. Это в значительной степени упрощает вычисления. С другой стороны, то, что услуги бесплатны и просты в использовании, дает преимущество с точки зрения затрат и рабочей силы. В этих системах предотвращаются ошибки, возникающие в результате действий пользователей без достаточных знаний, поскольку другое программное обеспечение требует специальных знаний и опыта в области ГНСС.

Интернет-сервисы автоматически выбирают станции рядом с областью приложения в процессе поступления заявки. Когда условия обеспечиваются одним приемником ГНСС с точки зрения достаточного количества спутников и периода наблюдения, точность достигается в сантиметрах. Эта система может быть эффективно использована при наличии национальной сети, состоящей из стационарных станций ГНСС-частот. Таким образом, можно сказать, что услуги оценки, основанные на интернет-сервисах, обеспечивают достаточную точность и обеспечивают больше преимуществ с точки зрения времени и затрат, чем классический метод для топографических инженерных приложений.

В результате данного исследования мы пришли к выводу, что система AUSPOS имеет следующие преимущества перед двумя другими системами:

- Используется больше CORS для обработки.
- Принимаются все файлы данных наблюдений, которые могут быть собраны статически или кинематически с интервалами в 1, 5, 10, 15 и 30 с.
- Дает полный отчет о том, что необходимо в геодезическом инженерном проекте.

Список литературы

1. Богданец Е.С., Черёмухина О.О., Зырянов А.Р. Анализ точности онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных // Технические науки – от теории к практике. 2017. № 1 (61). С. 5–11.
2. Терещенко В.Е., Лагутина Е.К. Сравнение относительных смещений пунктов сети ПДБС НСО, полученных с использованием различных онлайн-сервисов обработки спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. 2019. № 2. С. 76–95.
3. Сурнин Ю.В. Регулярный подход к оцениванию орбитальных, геодезических и геодинамических параметров по результатам спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. 2015. № 1 (29). С. 6–14.
4. Малютина К.И., Шевчук С.О. Сравнение бесплатной программы RTKLib с коммерческим программным обеспечением для постобработки ГНСС-измерений // Новосибирск: СГУГиТ. 2017. № 2. С. 113–125.

5. Kashani I., Wielgosz P., Grejner-Brzezinska D., Mader G.L. A new network-based rapid-static module for the NGS online positioning user service–OPUS-RS. NAVIGATION. Journal of the Institute of Navigation. 2008. Sep 1. No. 55 (3). P. 225–234.
6. Лагутина Е.К. Апробация методики включения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области в государственную геодезическую сеть // Вестник СГУГиТ. 2016. № 3 (35). С. 35–40.
7. El-Shazly A., Abdel-Maguid R. Efficient GPS Relative Positioning Based on Optimum Time Window Determination CERM. Al-Azhar University magazine. 2004. No. 3. P. 1390–1399.
8. Minghai J., John D., Michael M. AUSPOS: Geoscience Australia's on-line GPS Positioning Service. Geoscience Australia, Canberra. [Электронный ресурс]. URL: Australia https://www.researchgate.net/publication/288575085_AUSPOS_Geoscience_Australia's_online_GPS_positioning_service (дата обращения: 24.05.2022).
9. Tariq M., Hadi A., Hafedh H. Accuracy assessment of different GNSS processing software. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR). 2017. No. 3 (10). P. 469–478.
10. Reha M.A., Veli İ.Ç., Murat O.T. Web-based GNSS Data Processing Services as an Alternative to Conventional Processing Technique .Christchurch, New Zealand. 2016. Vol. 91. No. 6. P. 132–144.
11. Шевчук С.О., Косарев Н.С., Антонович К.М. Сравнение коммерческих программ постобработки измерений ГНСС в режиме кинематики для геодезического обеспечения аэрогеофизических работ // Вестник СГУГиТ. 2016. № 3 (35). С. 79–102.

УДК 624.131.436.6

КОЛИЧЕСТВО НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В ЗАСОЛЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

Таппырова Н.И., Тимофеев А.М., Степанов А.В.,
Кравцова О.Н., Протожьяконова Н.А.

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
Якутск, e-mail: o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru*

В настоящее время в связи с интенсивным освоением арктического побережья становится актуальным прогнозирование температурного режима мерзлых засоленных грунтов, которые используются в качестве оснований для строительства и эксплуатации сложных инженерных сооружений. Из-за большого содержания в них незамерзшей воды засоленные мерзлые грунты являются менее прочными, чем незасоленные. Засоленность грунтов оказывает большое влияние на тепломассообменные и физико-механические свойства таких грунтов. Основной вклад в изменение этих свойств вносит количество незамерзшей воды. Как известно, незамерзшая вода зависит от температуры заморозания, концентрации порового раствора и начальной влажности. В данной работе приведены результаты экспериментального определения количества незамерзшей воды в зависимости от температуры для засоленного песчаного грунта. Экспериментальные исследования были проведены на образцах речного песка, взятого на берегу р. Лены. Образцы песка увлажнялись раствором хлористого натрия, концентрация которого изменялась в пределах от 0 до 20%, начальная влажность варьировалась от 4,2 до 20%. Количество незамерзшей воды при различных температурах определено методом непрерывного ввода тепла, разработанным в Институте физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. Используя полученные экспериментальные данные, выведена формула, позволяющая рассчитать количество незамерзшей воды при любом изменении начальной влажности, температуры и концентрации порового раствора. Сравнение полученных расчетных данных показало хорошее совпадение с экспериментальными данными. Полученная формула применима только для засоленных песчаных грунтов.

Ключевые слова: мерзлые грунты, засоленные грунты, песчаный грунт, количество незамерзшей воды, температура заморозания, температурная зависимость, концентрация соли, начальная влажность

THE AMOUNT OF UNFROZEN WATER IN SALINE SANDY SOILS

Таппырова Н.И., Тимофеев А.М., Степанов А.В., Кравцова О.Н., Протожьяконова Н.А.

*V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North
FGBUN FRC "Yakutsk Science Center" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru*

Currently, due to the intensive development of the Arctic coast, the assessment of the temperature regime of frozen saline soils, which are used as foundation for the construction and operation of complex engineering structures, is becoming a topical issue. Due to the higher content of unfrozen water in them, saline frozen soils are less durable than unsalted ones. The salinity of soils has a great influence on the heat and mass transfer and physical-mechanical properties of such soils. The main contribution to the change in these properties is made by the unfrozen water content. As you know, amount of unfrozen water depends on the freezing temperature, the concentration of the pore solution and the initial moisture content. This paper presents the results of experimental determination of the amount of unfrozen water in saline sandy soil as a function of temperature. Experimental studies were carried out on samples of river sand from the banks of the Lena River. The sand samples were salted with a solution of sodium chloride, the concentration of which varied from 0 to 20%, the initial moisture content varied from 4.2 to 20%. The amount of unfrozen water at different temperatures is determined by the method of continuous heat input developed at the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS. Using the experimental data obtained, a formula is derived that allows calculating the amount of unfrozen water at any change in the initial moisture content, temperature and concentration of the pore solution. A comparison of the calculated data with the experimental data obtained showed a good agreement. The resulting formula is applicable only for saline sandy soils, because the influence of soil dispersion is not taken into account.

Keywords: frozen soils, saline soils, sandy soil, amount of unfrozen water, freezing temperature, temperature dependence, salt concentration, initial water content

Арктическая зона составляет около 30% от всей территории России, а большую часть этих территорий занимают засоленные мерзлые грунты. Распространение на территории арктической зоны засоленных мерзлых грунтов является одной из основных проблем, возникающих при проектировании, строительстве

и эксплуатации инженерных сооружений и зданий. Мерзлые засоленные грунты отличаются меньшей прочностью, преобладанием пластично-мерзлого состояния вместо твердо-мерзлого. Происходящие при этом деформации, разрушения инженерных сооружений, построенных в зоне засоленных мерзлых грунтов, показали упущения

в проведении инженерно-геологических исследований грунтов. Поэтому в настоящее время появилась настоятельная необходимость в долговременном прогнозировании поведения мерзлых засоленных грунтов, используемых в качестве оснований инженерных сооружений.

Засоленность мерзлых грунтов существенно влияет на все основные свойства этих грунтов – теплофизические, массообменные и т.д., которые сильно зависят от количества незамерзшей воды. Количество незамерзшей воды, в свою очередь, определяется концентрацией порового раствора, влажностью и температурой.

В литературе хорошо освещен вопрос определения количества незамерзшей воды в незасоленных грунтах при различных отрицательных температурах. Изучением влияния количества незамерзшей воды на температурный режим засоленных грунтов занимаются многие исследователи. Большой вклад в изучение этого влияния внесли А.В. Степанов [1], А.М. Тимофеев [2], Р.И. Гаврильев [3], П.П. Пермяков [4], И.Л. Комаров [5] и т.д. В работе [1] предложен метод непрерывного ввода тепла, который наряду с определением теплофизических характеристик позволяет определить количество незамерзшей воды для различных видов грунтов.

Численные методы расчета процессов теплообмена в мерзлых засоленных грунтах рассматриваются в работах

[4–7]. Имеется достаточное количество работ, в которых приводятся формулы, позволяющие рассчитать температурную зависимость количества незамерзшей воды в незасоленных песчаных грунтах [4, 8], а для засоленных песчаных грунтов такие формулы почти не встречаются. Поэтому целью данной работы является снижение трудоемких экспериментальных исследований температурного режима засоленных грунтов путем разработки расчетной методики определения количества незамерзшей воды в образцах при отрицательных температурах с учетом начальной влажности и засоленности грунта.

Материалы и методы исследования

В данной работе приводятся результаты расчета количества незамерзшей воды в песчаном грунте в зависимости от начальной влажности и концентрации порового раствора.

Для исследования был взят речной песок из карьера на берегу р. Лены (Республика Саха (Якутия)). По ГОСТ 12536–2014 был определен гранулометрический состав исследуемого грунта [9] (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что 60% грунта – это частицы диаметром 0,31 мм и меньше, а 10% – это частицы диаметром < 0,14 мм. Исходя из этого, определен коэффициент однородности, который равен 2,2, т.е. исследуемый песчаный грунт является однородным.

Таблица 1

Гранулометрический состав песка

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах						
	1	0,4	0,315	0,2	0,14	0,1	< 0,063
Частный	7,8	27,1	49,4	5,6	4,6	1,6	3,9
Полный	100	92,2	65,1	15,7	10,1	5,5	3,9

Таблица 2

Температура замерзания растворов хлористого натрия (NaCl)

Содержание NaCl в 100 г воды, г	Температура замерзания, °С	Содержание NaCl в 100 г воды, г	Температура замерзания, °С	Содержание NaCl в 100 г воды, г	Температура замерзания, °С
1,5	-0,9	10,6	-6,4	21,2	-13,6
3,0	-1,8	12,3	-7,9	23,1	-15,1
4,5	-2,6	14,0	-8,6	25,0	-16,0
5,9	-3,5	15,7	-9,8	26,9	-18,2
7,5	-4,4	17,5	-11,0	29,0	-20,0
9,0	-5,4	19,3	-12,2	30,1	-21,2

Таблица 3

Экспериментальные значения количества незамерзшей воды в песчаном грунте при начальной влажности $W_0 = 4,2\%$

C = 0%		C = 5%		C = 10%		C = 20%	
T, °C	W _{нв} , %	T, °C	W _{нв} , %	T, °C	W _{нв} , %	T, °C	W _{нв} , %
-0,2	5,0	-2,9	4,2	-6,5	4,2	-14,1	4,2
-0,4	3,0	-4,0	3,25	-8,2	3,25	-14,9	3,8
-1,0	1,4	-6,4	1,8	-10,1	2,8	-16,2	3,6
-2,0	0,8	-8,0	1,6	-12,4	2,4	-17,2	3,4
-4,0	0,6	-10,2	1,32	-14,6	2,2	-18,9	3,35
		-13,0	1,0	-17,9	1,9	-20,2	3,3
		-16,0	0,76	-21,5	1,78		
		-20,0	0,65				

Образцы готовились из данного песчаного грунта с определенной влажностью 4,2% и концентрацией 5, 10, 20%. Для искусственного засоления образцы увлажнялись раствором NaCl. Температура замерзания объемного раствора NaCl в зависимости от концентрации приведена в табл. 2.

Концентрация раствора определялась по формуле

$$C = (m_c / m_g) \cdot 100, \quad (1)$$

где C – концентрация соли в талом песке, %; m_c – масса растворенной соли, m_g – масса воды.

Для сравнения также исследовались образцы, увлажненные дистиллированной водой.

Определение количества незамерзшей воды проводилось методом непрерывного ввода тепла. Преимущество метода состоит в том, что он позволяет определить не только количество незамерзшей воды, но и другие теплофизические характеристики, такие как теплопроводность, температуропроводность [1]. Используя этот метод, были получены экспериментальные данные определения количества незамерзшей воды для песчаного грунта с начальной влажностью $W = 4,2\%$ и при варьировании концентрации соли от 0 до 20%. Результаты экспериментального определения количества незамерзшей воды приведены в табл. 3.

Используя данные табл. 3, можно рассчитать количество незамерзшей воды при различных отрицательных температурах для песчаного грунта при других значениях начальной влажности и концентрации порового раствора.

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчета концентрации порового раствора в случае засоленного песчаного грунта в талом состоянии используется отношение (1), а в мерзлом состоянии

$$C(T) = (m_c / m_{нв}) \cdot 100, \quad (2)$$

где $C(T)$ – концентрация соли при отрицательной температуре T, %; $m_{нв}$ – масса незамерзшей воды, кг; m_c – масса соли, кг.

Начальная влажность W_0 и количество незамерзшей воды $W_{нв}(T)$ рассчитываются по формулам

$$W = (m_g / m_{ск}) \cdot 100, \quad (3)$$

$$W_{нв}(T) = (m_{нв} / m_{ск}) \cdot 100, \quad (4)$$

где $m_{ск}$ – масса сухой навески, кг.

В песчаном грунте, при определенной температуре замерзания, концентрация соли остается одинаковой при любых значениях W_0 , т.е.

$$C = m_{c1} / m_{e1} = m_{c2} / m_{e2} \text{ и т.д.}, \quad (5)$$

где m_{c1} и m_{e1} – масса соли и воды в первом образце с влажностью W_1 , m_{c2} и m_{e2} – масса соли и воды во втором образце с влажностью W_2 .

Используя формулы (3) и (5), получаем $m_{c1} / m_{c2} = (m_{e1} \cdot m_{ск}) / (m_{e2} \cdot m_{ск}) = (W_1 / W_2)$, (6)

При любой влажности до температуры замерзания порового раствора грунта количество соли m_{ci} будет постоянным. Из этого следует, что для двух разных начальных влажностей до температуры замерзания отношение m_{c1} / m_{c2} остается постоянным. Поэтому из соотношения (6) следует, что

отношение жидкой фазы раствора будет постоянным.

Зная экспериментально определенные значения W_0 (в нашем случае $W_0 = 4,2\%$) и $W_{не}$, можно рассчитать $W_{не}$ для другой начальной влажности, но при этой же температуре:

$$W_{не2} = W_{не1} \cdot (W_2 / W_1), \quad (7)$$

Если построить графики количества незамерзшей воды от температуры для одной концентрации, то получается семейство кривых в зависимости от различных значений начальной влажности. На рис. 1 показаны значения количества незамерзшей воды, рассчитанные по формуле (7) при постоянной $C = 10\%$.

Ранее была выведена формула, позволяющая определить температуру начала заморозки порового раствора грунта в зависимости от концентрации [10]:

$$t_{зам} = -0,7 \cdot C. \quad (8)$$

Исходя из этой формулы, можно сделать вывод о том, что температура начала заморозки при одной и той же концентрации независима от начальной влажности. Так, например, из рис. 1 видно, что для образца с концентрацией $C = 10\%$ для влажностей 5, 10, 15 и 20% температура начала заморозки равна -7°C .

Сравнение экспериментальных и расчетных данных дает хорошее совпадение, и чем ниже температура, тем меньше расхождение между расчетными и экспериментальными данными.

Для концентраций порового раствора, равных 5, 15, 20%, используя экспериментально найденные зависимости количества незамерзшей воды от температуры (табл. 2) и формулу (7), можно рассчитать $W_{не}$, температуры начала заморозки при этом определяются по формуле (8) (рис. 2).

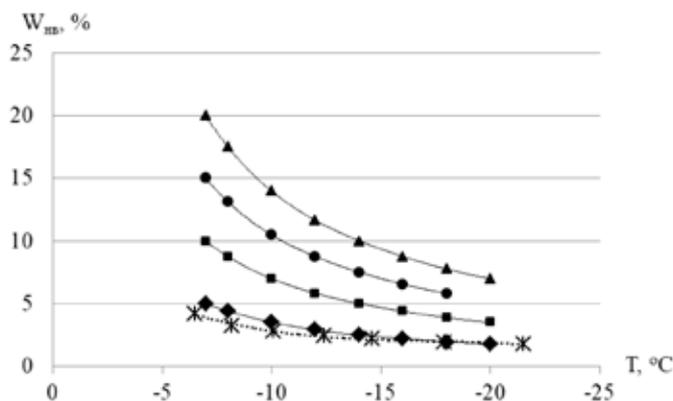


Рис. 1. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры в засоленном песчаном грунте: $C = 10\%$: *-*-*-* эксперимент; — — расчет по формуле (7) при $\diamond - W_0 = 5\%$, $\blacksquare - W_0 = 10\%$, $\bullet - W_0 = 15\%$, $\blacktriangle - W_0 = 20\%$

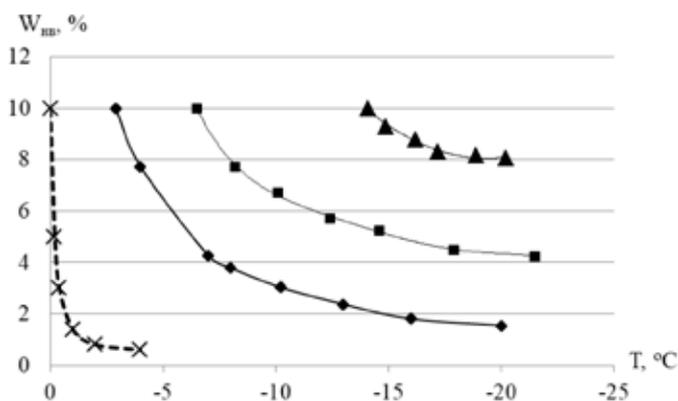


Рис. 2. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры в засоленном песчаном грунте $W_0 = 10\%$, $\times - C = 0\%$, $\diamond - C = 5\%$, $\blacksquare - C = 10\%$, $\blacktriangle - C = 20\%$

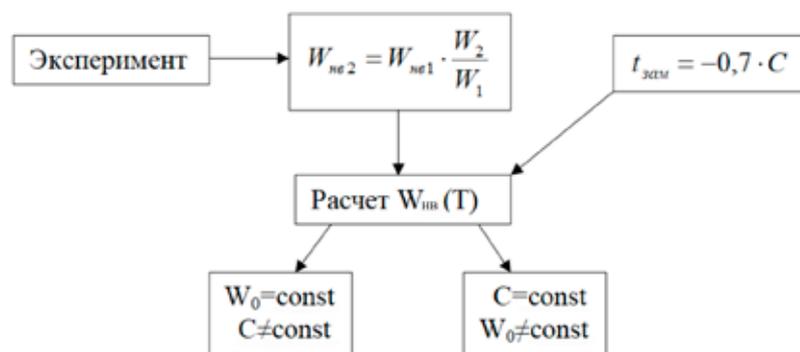


Рис. 3. Схема расчета температурной зависимости количества незамерзшей воды в засоленных песчаных грунтах

Также на этом рисунке для сравнения приведена экспериментально полученная температурная зависимость количества незамерзшей воды в незасоленном грунте.

На рис. 2 показаны значения $W_{не}$ при различных отрицательных температурах и начальной влажности равной 10%. Таким же образом, пользуясь экспериментальными данными из табл. 2, можно построить зависимость $W_{не}$ от T для других значений W_0 , например 5, 15, 20% при различных значениях C . Из рисунка видно, что имеется определенная связь между количеством незамерзшей воды и засоленностью при фиксированной температуре, причем при повышении концентрации соли количество незамерзшей воды увеличивается.

Исходя из вышеизложенного можно построить схему расчета температурной зависимости количества незамерзшей воды в засоленных песчаных грунтах (рис. 3).

Заключение

Исходя из вышеизложенного, используя данные одного эксперимента по определению количества незамерзшей воды при определенном значении влажности и используя приведенную выше формулу, можно рассчитать количество незамерзшей воды для других значений влажности, но при одной концентрации порового раствора грунта. При этом также можно рассчитать значения количества незамерзшей воды при различных значениях концентрации порового раствора, но при постоянной влажности. Полученная формула применима только для засоленных песчаных грунтов. Для засоленных глинистых грунтов эта формула не применяется, так как не учитывается влияние дисперсности грунта и поэтому требуется дальнейшая доработка.

Предложенная методика расчета может использоваться при решении задач по моде-

лированию и диагностике температурных полей мерзлых засоленных песчаных грунтов, служащих основанием для различных инженерных сооружений в Арктической зоне.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИФТПС СО РАН FWRS-2021-0045.

Список литературы

1. Степанов А.В. Тепломассообменные свойства техногенных грунтов криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2011. 150 с.
2. Тимофеев А.М., Кравцова О.Н., Протодьяконова Н.А. Экспериментальное исследование перераспределения соли при промерзании засоленных грунтов и водных растворов // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 7–3 (61). С. 88–90.
3. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. Новосибирск: Наука, 1998. 208 с.
4. Пермяков П.П., Варламов С.П., Скрыбин П.Н., Скачков Ю.Б. Численное моделирование термического состояния криолитозоны в условиях меняющегося климата // Наука и образование. 2016. № 2 (82). С. 43–48.
5. Комаров И.А. Методика прогноза теплофизических характеристик засоленных пород и криопэгов в процессе их криогенного метаморфизма (программный продукт, инженерные соотношения, нормативные технические документы) // Материалы докладов Четырнадцатой общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 11–14 декабря 2018 г.). М.: ООО «Геомаркетинг», 2018. С. 248–252.
6. Xiao Z., Zhu L., Hou Z. The change mechanism and a prediction model of unfrozen water content in sodium chloride soil. Geoderma. 2022. Vol. 419. P. 115881. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115881.
7. Lai Z., Zhao X., Tang R., Yang J. Electrical Conductivity-Based Estimation of Unfrozen Water Content in Saturated Saline Frozen Sand. Advances in Civil Engineering. 2021. Vol. 2021. P. 8881304. DOI: 10.1155/2021/8881304.
8. Мотенко Р.Г., Зубкова А.В., Давлетова Р.Р. Экспериментальная оценка влияния засоления на фазовый состав влаги и температуру начала замерзания (оттаивания) мерзлых песков, содержащих органическое вещество: материалы XVI Общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М., 2021. С. 350–356.
9. ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.
10. Ефимов С.С. Влага гигроскопических материалов. Новосибирск: Наука, 1986. 160 с.

УДК 504.53:551.34:631.46

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ**Чимитдоржиева Э.О., Корсунова Ц.Д-Ц., Чимитдоржиева Г.Д.***Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: erzhenach@mail.ru*

Индикатором экологического состояния природных экосистем является биологическая активность почв. Изменения в биологической активности почвы неизбежно оказывают влияние на круговорот веществ. В качестве характеристики биологической активности нами использован показатель углерода микробной биомассы. При исследовании пулов углерода микробной биомассы в почвах ее количественные характеристики являются основным показателем в экологических исследованиях. Биологическая активность мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья изучена недостаточно полно, поэтому нуждается в дополнительных исследованиях. Отсюда целью работы было провести мониторинг накопления углерода микробной биомассы, а также определить его запасы в мерзлотных почвах для оценки общей биологической активности мерзлотных почв. Выявлена корреляционная зависимость между изменением температуры и содержанием углерода микробной биомассы в почвах. В отдельные периоды вегетации недостаток влаги в почвах ограничивал рост микроорганизмов. Изменение функциональной активности растительности и обеспечение микроорганизмов субстратом и биогенными элементами определялось в большей части параметром влажности почв. Содержание микробной биомассы в исследованных почвах было различным. Достоверно установлено, что микробиологическая активность гумусово-квасиглиевой окарбонированной почвы выше, чем черноземов глееватых криотурбированных. Низкий уровень энергетического обеспечения, глубокое промерзание почвенного профиля весной летнего периода отразились на почвенной биоте черноземов глееватых криотурбированных. Получены данные, характеризующие направленность и интенсивность микробиологических процессов почв бугров пучений и термокарстовых понижений. Накопление углерода микробной биомассы в исследуемых почвах значительно варьирует по сравнению с черноземами квазиглеевыми. Биологическая активность по всем изученным параметрам выше в гумусово-квасиглиевой окарбонированной почве.

Ключевые слова: углерод микробной биомассы, мерзлотные почвы, юг Витимского плоскогорья, черноземы глееватые криотурбированные, гумусово-квасиглеевые окарбонированные почвы

BIOLOGICAL ACTIVITY OF FROZEN SOILS**Chimtdorzhieva E.O., Korsunova Ts.D-Ts., Chimtdorzhieva G.D.***Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: erzhenach@mail.ru*

Soil biological activity is an indicator of the ecological state of natural ecosystems. Changes in the biological activity of the soil inevitably affect the cycle of substances. As a characteristic of biological activity, we used the carbon index of microbial biomass. When studying carbon pools of microbial biomass in soils, its quantitative characteristics are the main indicator in ecological studies. The biological activity of permafrost soils in the south of the Vitim Plateau has not been fully studied, and therefore needs additional research. Hence, the aim of the work was to monitor the accumulation of carbon in microbial biomass, as well as to determine its reserves in permafrost soils to assess the overall biological activity of permafrost soils. A correlation dependence between temperature change and carbon content of microbial biomass in soils has been revealed. In some periods of vegetation, the lack of moisture in the soil limited the growth of microorganisms. Changes in the functional activity of vegetation and the provision of microorganisms with substrate and biogenic elements were determined for the most part by the soil moisture parameter. The content of microbial biomass in the studied soils was different. It has been reliably established that the microbiological activity of the humus-quasigley calcareous soil is higher than that of cryoturbated gleyic chernozems. The low level of energy supply, deep freezing of the soil profile in the spring of the summer period affected the soil biota of gleyic cryoturbated chernozems. Data have been obtained characterizing the direction and intensity of microbiological processes in soils of heaving mounds and thermokarst depressions. The accumulation of carbon in microbial biomass in the studied soils varies significantly compared to quasigley chernozems. Biological activity in all studied parameters is higher in humus-quasi-gley carbonated soil.

Keywords: microbial biomass carbon, permafrost soils, south of the Vitim Plateau, cryoturbated gleyic chernozems, humus-quasi-gley carbonated soils

Микробная биомасса, входящая в состав органического вещества почвы, является важным звеном в цикле углерода и может быть использована в качестве показателя биологической активности почвы. Общие резервуары углерода микробной биомассы имеют невысокие значения, как правило, они составляют не более 10% от общего содержания углерода почвы, только в некоторых случаях могут достигать 15% [1]. Микробная биомасса играет важную роль в минерализации отмершего растительного

опада, трансформации ряда элементов – С, N, P, S, иммобилизации тяжелых металлов и сохранении почвенной структуры [2].

Микроорганизмы являются важным компонентом экологической функций почв. По ряду физических и химических характеристик микроорганизмы являются ключевой частью поддержания жизнедеятельности равновесных экосистем. Это достигается вследствие высоких значений биомассы и благодаря их таксономическому разнообразию. Почвы всегда име-

ют запасной пул для обеспечения большей устойчивости, состоящий из разных микроорганизмов, представленный: наноформами, спорами, некультивируемыми и латентными формами. При нарушении саморегуляции системы они становятся функциональными [2].

В превращении всех биогенных макроэлементов экосистемы микробная биомасса играет исключительно важную роль. Деструкция и минерализация органического вещества почвы и поступление углерода в биосферу происходит благодаря почвенным микроорганизмам. Для определения состояния почв можно использовать показатель микробной биомассы [3]. Она является одним из индикаторов изменения биологической активности почв, характеризуя степень биогенности почвы. На основе количественной оценки микробной массы проводится оценка круговорота углерода в экосистемах и биосфере.

Потенциал микробного пула в способности почвы сохранять нормальное функционирование микробных сообществ под воздействием неблагоприятных климатических и антропогенных воздействий является важным эколого-физическим показателем [2; 4; 5]. Информация о пулах микробного углерода в разных типах почв важна для прогнозных сценариев и для экологических исследований.

Понимание фундаментальных основ этих процессов становится особенно важным с учетом глобальных изменений природной среды и климата, которые происходят с деятельностью человека. При исследовании запасов углерода микробной биомассы в разных типах почв, количество его накопления является основным показателем в исследованиях.

Биологическая активность почв является индикатором экологического состояния природных экосистем. Изменения в биологической активности почвы могут неизбежно оказывать влияние на круговорот веществ. Биологическая активность почв является одной из важных характеристик интенсивности микробиологических процессов. В качестве характеристики биологической активности нами использован показатель углерода микробной биомассы.

Биологическая активность черноземов квазиглеевых, черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квазиглеевых окарбонированных почв юга Витимского плоскогорья изучены недостаточно

полно, поэтому нуждаются в дополнительных исследованиях.

Цель работы – провести мониторинг накопления углерода микробной биомассы, а также определить его запасы в мерзлотно-почвах для оценки общей биологической активности мерзлотно-почв.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные участки находятся на юге Витимского плоскогорья, Еравнинская котловина. Многолетняя мерзлота достигает 130 метров, средний показатель равен 85 метрам [6]. На глубине 1,5–3,0 метра от поверхности почвы залегает верхняя граница мерзлоты.

Еравнинская котловина характеризуется резко континентальным климатом с холодной, малоснежной и продолжительной зимой. Последняя сменяется поздней засушливой ветреной весной. Лето в районе исследования жаркое и короткое. Данные метеостанции с. Сосново-Озерское свидетельствуют о том, что среднегодовая температура воздуха составляет – 4,1 °С при средней температуре наиболее теплого месяца (июль) +17,1 °С и самого холодного (январь) -25,4 °С. Сумма биологически активных температур составляет 1330 °С.

Состав растительного покрова участков исследования многообразен. Встречаются злаково- и разнотравно-пижмовые, вострцовые и вострцово-ковыльные растительные ассоциации. На более влажных экотопах произрастают овсяницы, тонконог стройный, ковыльный волосатик. При учете надземной, подземной и общей фитомассы было выявлено, что биопродуктивность растительной биомассы черноземов глеевых криотурбированных составляет 2,08 кг/м² и находится наравне с черноземами квазиглеевыми – 2,05, что значительно ниже по сравнению с таковыми гумусово-квазиглеевыми окарбонированными почвами – 2,50 кг/м². Почвообразующие породы: делювиально-карбонатные суглинистые отложения, слоистые озерные отложения.

Объектами исследования послужили черноземы квазиглеевые, черноземы глееватые криотурбированные и гумусово-квазиглеевые окарбонированные почвы. Для проведения исследования выбраны экспериментальные площадки, где заложены разрезы, взяты образцы почв с шагом 10 см. Мощность сезонно-талого слоя для черноземов квазиглеевых составляет 285 см. Данные по микробиоценозу мы приводили в 0-20 см слое почвы.

Биологическая активность оценивалась по интенсивности накопления, динамике и запасам углерода микробной биомассы в почвах.

Классическим методом определения углерода микробной биомассы является регидратационный метод [7]. Метод основывается на высушивании почвы при температуре 65-70 °С, что ведет к деструкции цитоплазматической мембраны микроорганизмов. На органическое вещество, которое уже отмерло, фактор температуры практически не воздействует. Внутриклеточные компоненты микроорганизмов благодаря регидратации высвобождаются и переходят в раствор слабой нейтральной соли и в дальнейшем определяются по сумме органических соединений. В воздушно-сухих образцах углерод микробной биомассы имеет некорректные заниженные данные, поэтому анализировать нужно только свежие образцы почвы. Почвенные образцы отбирались при $n=3$ и глубине 0-20 см.

С подробной характеристикой разрезов можно ознакомиться в статье [8].

Основные характеристики черноземов квазиглеевых: мощность гумусового горизонта – небольшая, гранулометрический состав – средний суглинок, содержание углерода органического в верхнем горизонте – среднее, сумма поглощенных – высокая, реакция среды в верхней части профиля – слабокислая ($pH=6,52$) и близкая к нейтральной ($pH=7,15$), в нижней части – щелочная реакция ($pH=8,36$).

Морфологические характеристики исследованных черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квазиглеевых окарбоначенных почв значительно отличаются от черноземов квазиглеевых, где первые в значительной степени затронуты криогенными процессами на уровне микро-рельефа. Реакция среды гумусово-квазиглеевых окарбоначенных почв – щелочная (8,02–8,40), черноземов глееватых криотурбированных – слабощелочная (7,71-7,81). По гранулометрическому составу черноземы глееватые криотурбированные относятся к супесчаным и легкосуглинистым, гумусово-квазиглеевые окарбоначенные почвы – легкосуглинистые в 0–30 см слое, среднесуглинистые в слое 30–50 см. Содержание органического углерода (Сорг) в черноземах глееватых криотурбированных составило 11,11% в 0-10 см слое, 6,38% – в 10-20 см слое. Отмечено высокое

содержание Сорг в гумусово-квазиглеевых окарбоначенных почвах в слое 0–10 см – 17,56%, в слое 10-20 см – 15,85% ($n=3$).

Результаты исследования и их обсуждение

Микробиоценоз криогенных экосистем формируется под воздействием экстраконтинентальных природных условий. Изменения экологических условий способствуют формированию адаптационной реакции у микроорганизмов, поскольку суровый климат мерзлотной лесостепи повышает их уязвимость.

Энергетические и трофические факторы лимитируют накопление углерода микробной биомассы в период вегетации, при большом интервале температур и влажности. На накопление микроорганизмов и функциональную ее активность влияют экстремальные природные условия. Например, после долгой засухи при выпадении осадков мы можем наблюдать влияние влажности. При промерзании-оттаивании почв выражено влияние температуры. Микробная биомасса может в несколько раз уменьшаться, например при отмирании во время засухи, или увеличиваться при оптимизации гидротермических условий почв [9].

Сукцессия микроорганизмов в изменяющихся условиях среды определяет процесс роста микробной биомассы. За источники питания усиливается конкуренция между растительными и микробными сообществами. На замедление роста содержания микроорганизмов влияют изменения трофических факторов и повышение температуры почвы в сочетании с недостатком влаги. Благодаря активному поступлению корневых выделений складываются благоприятные условия для роста и развития г-стратегов только в ризосфере и ризоплане. Активность роста ризосферных микроорганизмов практически не оказывает влияния на общее накопление углерода микробной биомассы в почвах, что обусловлено низкими границами микрон, не превышающими 250-1000 мкм. При таких условиях возможно доминирование К-стратегов, которые более устойчивы к неблагоприятным факторам среды и способны быстро расти [9].

Среднее накопление углерода микробной биомассы в верхнем 0-20 см слое черноземов глееватых криотурбированных равен 44,2 мг/100 г почвы (рис. 1).

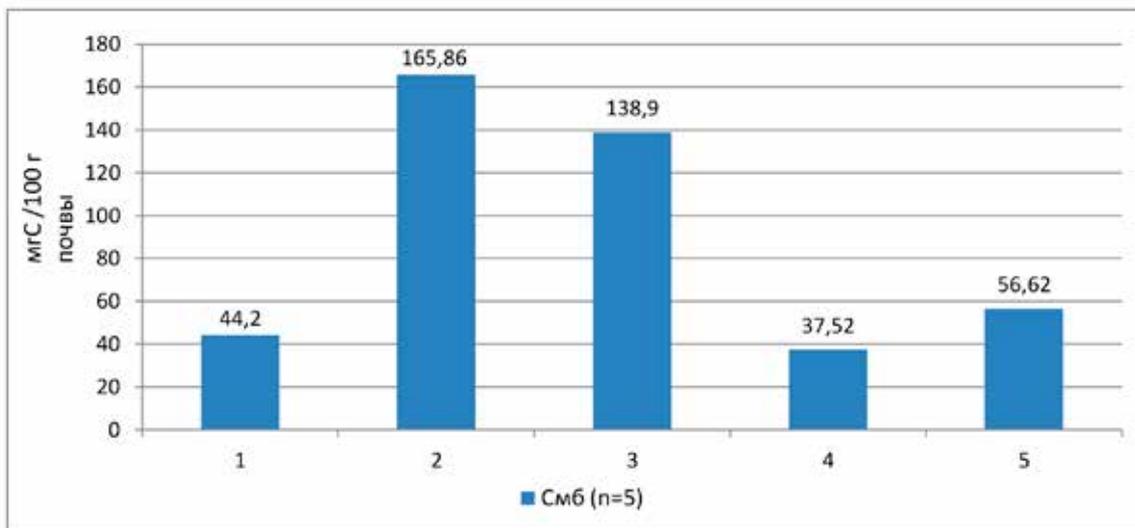


Рис. 1. Накопление углерода микробной биомассы в холодных и мерзлотных почвах. Условные обозначения: 1 – чернозем глееватый криотурбированный, 2 – гумусово-квизиглеевая окарбоначенная почва, 3 – чернозем квазиглеевый, 4 – каштановая почва [10], 5 – чернозем дисперсно-карбонатный [11]

Максимальное количество углерода микробной массы обнаружено в гумусово-квизиглеевой окарбоначенной почве – 165,86 мг/100 г почвы, что объясняется обилием ризосферной микрофлоры и высоким содержанием органического углерода. В черноземах квазиглеевых среднее значение углерода микробной биомассы в верхнем слое почвы 138,9 мг/100 г почвы. При усилении степени аридизации показатель уменьшается до 37,52 в каштановых почвах [10; 11].

Накопление углерода микробной биомассы в черноземе глееватом криотурбированном меньше, несмотря на то что в нем больше углерода, чем в черноземах квазиглеевых. Вероятно, этот углерод представлен большей частью недоступной для микробиоты формой.

Следует отметить, что видовая структура и разнообразие почвенных микроорганизмов может обедняться вследствие использования почвенными микробами легких органических соединений, которые содержатся в растительных остатках и корнях растений. Химический состав ризовыделений различен у растительности разных типов землепользования из-за различий в видовом составе растений. Корневой углерод является основным ресурсом питания микробных сообществ. Высвобождение органических соединений через корни (ризоотложения) и последующее их использование микробными сообщества-

ми является ключевым процессом, связывающим атмосферный и почвенный углерод и круговорот питательных веществ [12].

Динамика углерода микробной биомассы имеет односторонний характер с максимумом в летний период. Так, в начале вегетационного сезона показатель варьирует от 40,3 мг С/100 г почвы в черноземах глееватых криотурбированных до 173,0 мг С/100 г почвы в гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почвах, в черноземах квазиглеевых до 148,8 мг С/100 г почвы.

Летнее увеличение количества углерода микробной биомассы может быть связано с благоприятными гидротермическими условиями и бурным ростом г-стратегов [9]. Показатель варьирует от 78,8 мг С/100 г почвы в черноземах глееватых криотурбированных до 247,7 мг С/100 г почвы в гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почвах, черноземах квазиглеевых – 168,8 мг С/100 г почвы (рис. 2).

Спад содержания углерода микробной биомассы в конце вегетации связан с торможением биологических процессов в почве в связи с понижением внутрисуточных температур почвы. Было отмечено понижение показателей углерода микробной биомассы до 48,8 в черноземах глееватых криотурбированных, до 204,5 мг С/100 г почвы в гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почвах, до 143,0 мг С/100 г почвы в черноземах квазиглеевых – 148,8 мг С/100 г почвы.

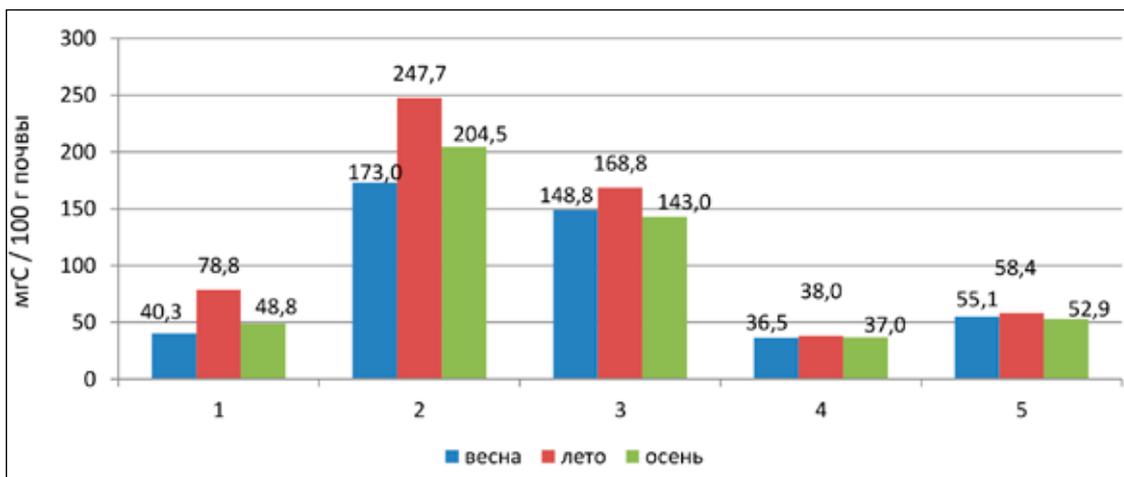


Рис. 2. Динамика углерода микробной биомассы в холодных и мерзлотных почвах. Условные обозначения: 1 – чернозем глееватый криотурбированный, 2 – гумусово-квасиглеевая окарбоначенная почва, 3 – чернозем квасиглеевый, 4 – каштановая почва [10], 5 – чернозем дисперсно-карбонатный [11]

Для сравнения приведем данные не с мерзлотных почв. Так, в каштановых почвах и черноземах дисперсно-карбонатных Тугнуйской котловины [10] динамика углерода микробной биомассы количественно меньше исследуемых мерзлотных почв. Кривая динамики углерода микробной биомассы имеет пологий одновершинный характер (рис. 2).

Изменения накопления углерода микробной биомассы связаны с воздействием трофических и климатологических факторов. Особенности суточных колебаний роста микроорганизмов в разных типах почвы показывают наличие единого эндогенного и экзогенного устройства сукцессионных сдвигов микробного сообщества.

Расчёты статистических параметров показали, что на различных типах почв накопление углерода микробной биомассы достоверно отличается. Установлена достоверная связь между температурой почвы и углеродом микробной биомассы в почвах. В отдельные периоды вегетации дефицит влажности в почвах сдерживал рост микроорганизмов. Корреляционная связь между углеродом микробной биомассы и влажностью почвы составляет 0,6-0,9.

Средние значения углерода микробной биомассы за весь период мониторинга имеют вариацию в широком диапазоне, что показывает способность микроорганизмов откликаться на изменение окружающей среды.

Запасы углерода микробной биомассы распределены в следующем ряду по убыванию: черноземы квасиглеевые – 0,22 кг С/м²,

гумусово-квасиглеевые окарбоначенные почвы – 0,18 кг С/м², черноземы глееватые криотурбированные – 0,08 кг С/м² (рис. 3). Для сравнения в немерзлотных почвах: 0,07 кг С/м² в каштановых [10] и 0,13 кг С/м² в черноземах дисперсно-карбонатных [11].

Значительное накопление углерода микробной биомассы в условиях в засушливые периоды объясняется адаптационной реакцией микроорганизмов к условиям окружающей среды. По-видимому, в этом случае температура для их существования не играет значительной роли. Отмечено, что при очень низких значениях влажности почвы могут функционировать такие микроорганизмы, как ряд грибов и актиномицеты. Таким образом, внутри пула органического углерода микроорганизмами осуществляется трансформация углерода из углерода гумуса в углерод биомассы.

Абиотические условия каждого сезона определяют значительную трансформацию структуры микробиоценоза, пропорции отдельных микроорганизмов и их количества. Климатические условия в течение вегетационных периодов определяют различия в численности микроорганизмов. Условия формирования микроорганизмов обусловлены их физическими качествами и определяют сукцессию сообщества микроорганизмов. Периоды всплесков накопления микроорганизмов обусловлены абиотическими факторами (влажность, температура, осадки). При этом ограничительным фактором является низкий процент почвенного гумуса.

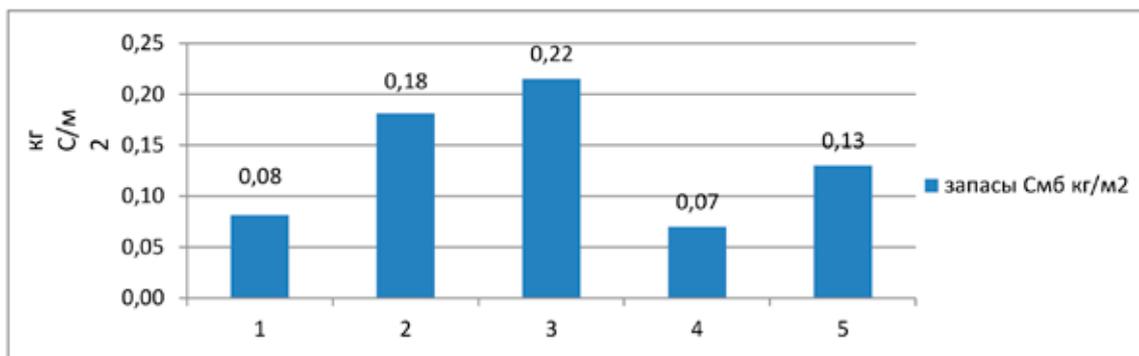


Рис. 3. Запасы углерода микробной биомассы в холодных и мерзлотных почвах. Условные обозначения: 1 – чернозем глееватый криотурбированный, 2 – гумусово-квасиглеевая окарбонатная почва, 3 – чернозем квазиглеевый, 4 – каштановая почва [10], 5 – чернозем дисперсно-карбонатный [11]

Отличия в источнике питания и интенсивности влияния на почвы мерзлоты обуславливают разный запас питания, отсюда и различия содержания и динамики углерода биомассы.

Заключение

В ходе исследования достоверно определено, что биологическая активность гумусово-квасиглеевой окарбонатной почвы выше, чем чернозема глееватого криотурбированного. Все изученные почвы отличаются по содержанию микробной биомассы. Невысокий уровень энергетического обеспечения, глубокое промерзание почвенного профиля и значительное их иссушение в весенне-летний период отразились на почвенной биоте черноземов глееватых криотурбированных.

Изменения содержания углерода микробной биомассы в течение вегетационного периода определяются гидротермическими условиями почв и общим ресурсом энергии. Углерод микробной биомассы исследуемых почв занимает невысокую процентную долю в общем пуле органического углерода. Несмотря на низкое процентное содержание в общем пуле органического углерода, микробная биомасса представляет собой высокофункциональную ее часть, способную значительно усилить темп круговорота почвенного органического вещества.

Экспедиционные исследования выполнены за счет средств бюджета по теме государственного задания № 121030100228–4; аналитические работы при финансовой поддержке в рамках гранта РФФИ №16–04–01297.

Список литературы

1. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация

в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2020. №3. С. 372–378. DOI: 10.31857/S0032180X20030120.

2. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096. DOI: 10.7868/S0032180X15090038.

3. Гавриленко Е.Г., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Оценка качества почв различных экосистем (на примере Серпуховского и Подольского районов Московской области) // Почвоведение. 2013. №12. С. 1505–1515. DOI: 10.7868/S0032180X13120058.

4. Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудяров В.Н., Валентини Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) // Почвоведение. 2014. №9. С. 1077–1088. DOI: 10.7868/S0032180X14090056.

5. Якутин М.В., Анопченко Л.Ю., Андриевский В.С. Влияние засоления на биомассу микроорганизмов в разновозрастных почвах в лесостепной зоне Западной Сибири // Почвоведение. 2016. №12. С. 1500–1505. DOI: 10.7868/S0032180X16100154.

6. Мельничук Н.Л. Подземные воды Еравнинского и Верхне-Удинского артезианского бассейнов. Методика гидрогеологических исследований и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1966. С.217-227.

7. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.С. Регидратационный метод определения микробной биомассы в почве // Почвоведение. 1987. № 4. С. 64-71.

8. Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Y., Tsybenov Y.B., Egorova R.A., Soldatova Z.A., Andreeva D.B., Korsunova T.D.-Ts., Davydova T.V., Dmitriev A.V., Chimitdorzhiev T.N. Soils of cryogenic landforms in the south of the Vitim plateau: distribution and role in the allocation of soil carbon pools. Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. No. 9. P. 1019–1027.

9. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 256 с.

10. Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D. Accumulation and dynamics of carbon-biomass in the krioarid soils of Transbaikalia. Arid Ecosystems. 2014. Vol. 4. No. 2. P. 69-74.

11. Чимитдоржиева Э.О. Запасы углерода в черноземах и каштановых почвах Западного Забайкалья и эмиссия CO₂: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2011. 20 с.

12. Zhou J., Li Zh., Shipeng L., Kuzyakov Y., Pausch J. Microbial utilization of photosynthesized carbon depends on land-use. Geoderma. 2022. V. 428. No. 12. P. 116160.

АГРОЛЕСОВОДСТВО В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РОССИИ

Михин В.И., Михина Е.А.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, e-mail: dr.mikhin2018@yandex.ru

Лесомелиоративные системы в условиях Центральной лесостепи России являются важным компонентом биосферы. Искусственные защитные насаждения в Центральном Черноземье формируют экологический каркас площадью около 600 тыс. га. Смешанные березово-рябиновые культуры при размещении пород 3,0 x 0,8 м и в возрасте 30 лет отличаются наибольшим ростом и сохранностью (на 2,7–9,2%) по отношению к насаждениям чистым по составу. Снижение первоначальной густоты создания в таких насаждениях на 15,0–20,0% приводит к улучшению роста породы на 5,9–7,5%. Лесные полосы из ясеня обыкновенного в возрасте 40 лет лучшим ростом обладают при размещении растений 2,5 x 1,0 м. Смешанные по составу насаждения из дуба черешчатого и ясеня обыкновенного в возрасте 35 лет являются более производительными культурами по отношению к чистым дубовым лесополосам. Наибольшим ростом и сохранностью обладают защитные насаждения из тополя бальзамического при густоте создания 3334 шт./га. В смешанных защитных насаждениях из долговечных и быстрорастущих пород в возрасте 27–39 лет различия по высоте средних рядов над крайними составляют 5,3–9,6%, где формируется выпуклый поперечный профиль. Под влиянием защитных насаждений на межполосных полях отмечается повышение относительной влажности воздуха на 2,0–8,9%, снижение его температуры на 0,4–1,4 °C. Положительное воздействие лесных полос способствует прибавке урожая зерновых культур на 3,2–6,1 ц/га.

Ключевые слова: защитные насаждения, высота, диаметр, мелиоративная роль

AGROFORESTRY IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL FOREST-STEPPE OF RUSSIA

Mikhin V.I., Mikhina E.A.

Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Voronezh,
e-mail: dr.mikhin2018@yandex.ru

Forest reclamation systems in the conditions of the Central forest-steppe of Russia are an important component of the biosphere. Artificial protective plantings in the Central Chernozem region form an ecological framework with an area of about 600 thousand hectares. Mixed birch-rowan cultures with the placement of rocks of 3.0 x 0.8 m and at the age of 30 years are distinguished by the greatest growth and preservation (by 2.7–9.2%) in relation to plantations with a pure composition. A decrease in the initial density of creation in such plantations by 15.0–20.0% leads to an improvement in the growth of the breed by 5.9–7.5%. Forest strips of common ash at the age of 40 years have the best growth when plants are placed 2.5 x 1.0 m. Plantations of English oak and common ash at the age of 35 years mixed in composition are more productive crops in relation to pure oak forest belts. Protective plantings of balsam poplar have the greatest growth and safety at a density of 3334 pcs/ha. In mixed protective plantations of durable and fast-growing species at the age of 27–39 years, the differences in the height of the middle rows over the outer rows are 5.3–9.6%, where a convex transverse profile is formed. Under the influence of protective plantings on the interstrip fields, an increase in the relative humidity of the air by 2.0–8.9%, a decrease in its temperature by 0.4–1.4 °C is noted. The positive impact of forest belts contributes to an increase in the yield of grain crops by 3.2–6.1 centners / ha.

Keywords: protective plantings, height, diameter, ameliorative role

Лесоаграрные ландшафты Центральной лесостепи европейской части России являются экологическим каркасом, и в них отмечается развитие эрозийных процессов с неблагоприятными природными явлениями. Защитные насаждения размещаются с учетом принципов ландшафтного земледелия. Для условий Центрального Черноземья лесомелиоративные системы сформированы на площади около 600 тыс. га при облесенности пашни 1,3% [1]. По результатам исследований В.В. Танюкевича [2] для полной защиты и повышения экологической устойчивости ландшафтов необходимо создание законченных систем защитных насаждений. Такие биологические объекты преобразуют агротерритории, изменяют микро-

климат на межполосных полях и создают условия для полноценного воспроизводства биологических ресурсов [3]. Формирование плантационных лесомелиоративных насаждений повышает биоразнообразие в агролесоводстве. Такие насаждения наиболее продуктивны по сравнению с естественными культурами [4].

Цель наших исследований – установить закономерности роста, состояния, сохранности искусственных защитных линейных насаждений, выявить их лесомелиоративные особенности с учетом их структуры, научно обосновать параметры формирования лесомелиоративных систем. Это позволит повысить их эколого-мелиоративные функции и биопродуктивность агрокультур,

что важно при изменении глобальных климатических факторов в мире [1, 2, 4].

Материалы и методы исследования

Показатели роста, сохранности древесных пород в защитных насаждениях изучались в условиях Семилукского (пробн. площади 11, 17, 29), Хохольского (пробн. площади 65, 74, 86, 89), Новоусманского (пробн. площади 96, 98) районов Воронежской области, где почвенный покров на лесомелиоративных объектах представлен черноземом типичным и выщелоченным [5].

В насаждениях выполнялся сплошной перебор древесных растений с измерением на высоте 1,3 м толщины (диаметров) стволов с использованием мерной вилки. Показатель высот растений определялся высотомером (лазерный дальномер). Сохранность растений в определенном возрасте выражалась в процентном отношении к первоначальному показателю посадки на единицу площади. Густота рассчитывалась с учетом размещения растений на 1 га насаждений. Возраст пород (А, лет) определялся по архивным материалам или годичным кольцам ядра древесины. Средний диаметр стволов (Дср.) вычислялся с использованием средней площади сечения. Средняя высота (Нср.) определялась графоаналитическим способом, где входными данными были диаметр и высота. Различия в биометрических показателях роста пород крайних и средних рядов (ΔН, ΔD) были получены в относительных процентных единицах как разница

между большими и меньшими значениями диаметров (Дср.) и высот (Нср.). Структура (конструкция) искусственных насаждений определялась по показателям ветропроницаемости биологических объектов.

Эколого-мелиоративная роль лесных полос изучалась на стационарных метеопунктах среди насаждений различных структур [2, 3]. На межполосных полях в дневное время суток в сухую жаркую погоду определялась относительная влажность воздуха с использованием аспирационного психрометра Ассмана. Экспериментальные материалы по влиянию насаждений на температуру приземного слоя воздуха использовались по значениям сухого термометра на тех же метеопунктах, где выполнялись исследования относительной влажности воздуха. Урожай озимой пшеницы изучался путем закладки учетных площадок размером 1,0 x 1,0 м в десятикратной повторности на метеопунктах, где изучался микроклимат. Прибавка урожая рассчитывалась как разница в показателях приполосных зон и контрольных участков. Материалы исследований обрабатывались с использованием вариационно-статистических методов [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Древесные породы в лесомелиоративных системах имеют различия биометрических показателей роста, сохранности и состояния в зависимости от приемов и технологий создания (табл. 1).

Таблица 1

Биометрические показатели искусственных насаждений

№ лесополосы	Смещение растений	Размещение пород, м	Наименование растений	Густота шт./га	Сохранность, %	А, лет	Дср., см	Нср., м
39	Бпв – Бпв – Бпв – Бпв – Бпв	2,5 x 0,8	Бпв	5000	58,8	30	17,8	16,3
44	Бпв – Бпв – Бпв – Роб – Роб	3,0 x 0,8	Бпв Роб	2500 1666	67,1 46,6	30	20,2 8,3	18,8 7,2
48	Бпв – Бпв – Бпв – Бвп – Бпв	3,0 x 0,8	Бпв	4166	64,4	30	18,5	17,6
65	Яоб – Яоб – Яоб – Яоб – Яоб	3,0x0,7	Яоб	4762	60,1	40	19,3	15,9
74	Яоб – Яоб – Яоб – Яоб – Яоб	2,5 x 1,0	Яоб	4000	66,9	40	17,5	16,5
86	Дчр+Яоб – Дчр+Яоб – Дяч+Яоб – Дчр+Яоб	5,0x3,0	Дчр Яоб	3334 666	56,4 47,2	35	22,1 17,5	17,4 13,8
89	Дчр – Дчр – Дчр – Дчр	5,0x3,0	Дчр	3334	49,9	35	20,2	16,3
96	Тбз – Тбз – Тбз – Тбз	3,0x1,0	Тбз	3334	65,6	25	22,3	18,4
98	Тбз – Тбз – Тбз – Тбз	3,0x0,8	Тбз	4166	60,7	25	20,4	18,4

В чистых лесных полосах из березы повислой (*Bпв – Betula pendula* Roch.) в возрасте 30 лет при размещении растений 3,0 x 0,8 м сохранность выше на 5,6%, чем в насаждениях с размещением растений 2,5 x 0,8 м. Разница по среднему диаметру и высоте в таких насаждениях составляет 3,9–7,9% (насаждения 39 и 48).

С введением рябины обыкновенной (*Роб – Sorbus aucuparia* L.) в березовые культуры в возрасте 30 лет отмечается увеличение сохранности на 2,7%, среднего диаметра на 9,1% и средней высоты на 4,5%. Эти различия связаны с долевым участием пород (насаждения 44 и 48).

Защитные насаждения из ясеня обыкновенного (*Яоб – Fraxinus excelsior* L.) чистые по составу в возрасте 40 лет при густоте посадки 4000 шт./га наиболее продуктивные и имеют наивысшую сохранность по отношению к насаждениям с густотой растений 4 762 шт./га. Различия по диаметру и высоте в пользу насаждений с наименьшей густотой составляют 3,8–8,6%. Такие насаждения при ширине 10,0–12,0 м формируют продуваемую структуру (насаждения 65 и 74).

В лесных полосах с введением сопутствующих пород для дуба черешчатого (*Дчр – Quercus robur* L.) отмечается взаимовлияние пород. В возрасте 35 лет в дубово-ясеневых насаждениях сохранность дуба выше на 6,5%, чем в чистых культурах, и при этом разница в диаметре равна 9,4%,

по высоте 6,7%. Лесные полосы созданы квадратно-гнездовым способом с размещением гнезд 5,0 x 3,0 м. Ясень обыкновенный отстает в росте от дуба и имеет наименьшую сохранность (насаждения 86 и 89).

В лесных полосах с главной породой тополем бальзамическим (*Тбз – Populus balsamifera* L.) густота посадки предопределяет таксационные параметры роста. В возрасте 25 лет наилучшие показатели отмечаются при размещении растений 3,0 x 1,0 м и густоте 3334 шт./га по сравнению с лесомелиоративными объектами с первоначальным созданием породы в объеме 4166 шт./га. Разница в сохранности составляет 5,1%, по среднему диаметру 9,3% и 7,6% по средней высоте. В таких насаждениях, состоящих из 4 рядов, формируется ажурно-продуваемая структура (насаждения 96 и 98).

В силу биологических особенностей пород, их взаимовлияния и физиологических изменений в росте формируется особый мелиоративный профиль, где растения имеют отличительные особенности в биометрических показателях (табл. 2).

Насаждения из ясеня обыкновенного в возрасте 32 лет характеризуются различными параметрами роста по высоте и диаметру крайних и средних рядов. Наибольший диаметр выявлен в опушечных рядах по отношению к центральным, где разница равна 13,8%. Различия в высоте составляют 9,6% (насаждение 11).

Таблица 2

Особенности роста древесных пород

№ лесополос	А, лет	Наименование растений	Опушечные насаждения		Центральные насаждения		Различия	
			Нср, м	Дср, см	Нср, м	Дср, см	ΔН, %	ΔD, %
11	32	Яо	14,2±0,21	17,4±0,15	15,7±0,18	15,0±0,22	9,6	13,8
17	39	Дч	15,9±0,22	19,4±0,17	17,0±0,21	17,6±0,18	6,4	9,3
29	27	Тбз	17,9±0,20	24,8±0,17	18,9±0,23	23,2±0,18	5,3	6,5

Таблица 3

Характеристика относительной влажности воздуха среди лесополос (1991–2021 гг.), %

Характеристика насаждений по профилю	Период времени суток	Среди лесополос	В мелиоративной зоне	Незащищенные участки	Различия приполюсных зон, %
Продуваемые	Дневной период	50,7	53,7	44,8	+8,9
Ажурно-Продуваемые	Дневной период	61,2	58,3	55,0	+3,3
Ажурные	Дневной период	66,1	69,8	66,9	+2,9
Плотные	Дневной период	56,7	58,7	56,7	+2,0

Искусственные культуры с участием дуба черешчатого в возрасте 39 лет также характеризуются различием в росте пород. Опушечная часть низкорослая (меньше на 6,4%), но средний диаметр более выражен (на 9,3%) (насаждение 17).

У тополя бальзамического (насаждение 29) рост по высоте центральной части более выражен (на 5,3%) и он имеет меньшие значения по диаметру (на 6,5%). Опушечная часть характеризуется меньшей высотой и превосходством показателей в диаметре.

В лесоаграрных ландшафтах защитные насаждения изменяют энергию и скорость движения приземных воздушных масс. Такие изменения предопределяют экологические показатели облесенного поля. В первую очередь изменяется относительная влажность воздуха, которая зависит от структуры лесомелиоративных объектов (табл. 3).

В течение вегетационного периода искусственные биологические объекты продуваемой структуры в жаркую сухую погоду в дневное время суток в приполосных зонах (5Нн – 0 – 30Нз) повышают относительную влажность воздуха на 8,9%. С переходом защитного насаждения из продуваемой структуры в ажурно-продуваемую такие различия менее выражены. Разница в показателях приполосных зон и открытых незащищенных пространств составляет 3,3%. При уплотнении защитного насаждения до ажурной структуры такое различие изменяется до показателя 2,9%. Защитные насаждения плотной структуры при многочисленных исследованиях практически повышали относительную влажность воздуха в объеме 2,0%.

Изменение влажности воздуха коррелирует с показателями изменений температуры приземного слоя воздуха. Такие различия в системе лесных полос зависят от структурных особенностей самих насаждений.

Лесные полосы способствуют перераспределению температурного фона в приполосных зонах межполосных полей. Более выражены такие различия среди искусственных культур продуваемой структуры (снижение на 1,4 °С). Ажурно-продуваемые насаждения менее заметно изменяют температуру воздуха. Отмечается снижение показателя лишь на 0,9 °С. Защитные лесополосы с равномерным размещением просветов по всему профилю (ажурные) изменяют температурный баланс воздуха в сторону уменьшения на прилегающих участках полей в объеме 0,4 °С. Защитные насаждения

плотной структуры по нашим исследованиям практических изменений в показателях температуры приземного слоя воздуха не проявляют.

Искусственные линейные насаждения, воздействуя на микроклимат прилегающих агротерриторий, способствуют изменению урожайности сельскохозяйственных культур.

В зависимости от формирования разнообразных структур насаждений в приполосных зонах формируется различный урожай озимой пшеницы. Среди насаждений продуваемой конструкции биологическая прибавка урожая составляет 6,1 ц/га. Лесные полосы ажурной структуры способствуют повышению урожая в приполосных зонах в объеме 4,3 ц/га. Среди насаждений плотной структуры отмечается наименьшее влияние, где прибавка урожая озимой пшеницы составляет 3,2 ц/га.

Полученные нами определенные закономерности по росту, состоянию, сохранности пород в защитных насаждениях и особенности мелиоративного влияния таких объектов на экологические показатели имеют определенный зональный характер, не только дополняют концепцию развития лесомелиоративной науки и практики в области агролесоводства для российских условий, но и вносят определенный вклад в развитие мировой науки.

Выводы

1. Защитные насаждения, сформированные с участием тополя бальзамического, дуба черешчатого, ясеня обыкновенного, березы повислой, рябины обыкновенной в условиях Центральной лесостепи России, в возрасте 25–40 лет при размещении растений 2,5–5,0 x 0,8–3,0 м имеют сохранность пород 46,6–67,1%. Средний диаметр в данных культурах изменяется от 8,3 до 22,3 см при ветрозащитной высоте 13,8–18,4 м. Для тополя бальзамического следует считать наилучшей густотой растений 3334 шт./га при размещении посадочных мест 3,0 x 1,0 м.

2. Смешанные лесные полосы с участием дуба черешчатого и ясеня обыкновенного имеют выше сохранность, состояние пород и показатели роста и продуктивности, чем у полос, выращенных по принципу монокультур. Лучшими лесными полосами из ясеня обыкновенного являются линейные насаждения, созданные с размещением растений в ряду через 0,8 м при ширине междурядий 2,5 м и густоте растений 4000 шт./га.

3. Березово-рябиновые культуры в возрасте 30 лет показывают наибольшую устойчивость, имеют значительную сохранность (67,1%), обладают хорошей продуктивностью по отношению к культурам чистым по составу. С уменьшением густоты посадки в таких насаждениях с 5000 до 4166 шт./га сохранность увеличивается на 5,6%, средний диаметр и высота – на 3,9–7,9%.

4. Насаждения различного породного состава, представленные дубом черешчатым, тополем бальзамическим и ясенем обыкновенным, в возрасте 27–39 лет имеют отличительные показатели роста в различных частях поперечного профиля. Для всех представленных пород проявляется определенная закономерность, где рост пород в опушечных рядах максимально проявляется по диаметру (6,5–13,8%) и более значимые показатели в росте по высоте (на 5,3–9,6%) имеют место в центральной части искусственных культур.

5. Лучшими мелиоративными насаждениями на сельскохозяйственных полях являются насаждения продуваемой и ажур-

ной структуры. Под их влиянием в приполосных зонах прибавка урожая озимой пшеницы составляет 4,3–6,1 ц/га. Среди насаждений плотной структуры увеличение урожая достигает 3,2 ц/га.

6. Для оптимизации лесоаграрных ландшафтов следует создавать насаждения с ажурной и продуваемой структурой шириной до 15,0 м с густотой растений 3334–4000 шт./га.

Список литературы

1. Михин В.И., Михина Е.А., Михина В.В. Роль защитных насаждений в преобразовании ландшафтов Центрального Черноземья // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 4 (20). С. 43–50. DOI: 10.12737/17401.
2. Таниокевич В.В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов. Новочеркасск: Лик, 2012. 175 с.
3. Турусов В.И., Лепехин А.А., Чеканышкин А.С. Опыт лесной мелиорации степных ландшафтов: монография / ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП». Воронеж: Истоки, 2017. 228 с.
4. Проездов П.Н., Маштаков Д.А. Агролесомелиорация. Саратов: Амирит, 2016. 472 с.
5. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1984. 60 с.
6. Кудряшов Н.Н. Вариационная статистика: учебное пособие. Пенза: ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2018. 131 с.

СТАТЬИ

УДК 911.52

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ПРИРОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА
«ТАТАРСКОЕ ГОРОДИЩЕ» СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

**Степаненко Е.Е., Безгина Ю.А., Окрут С.В.,
Халикова В.А., Мурадова А.В., Тибилова А.А.**

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru*

В статье отражены результаты оценки экологического состояния природно-археологического музея-заповедника. Была проведена сравнительная характеристика растительности на ключевых участках и выявлена динамика изменений. Оценка проводилась по шкале Друде для определения обилия травянистых растений, определили, что на ключевых участках прослеживается динамика, но также и спад растительного покрова. При исследовании территории Татарского городища не обнаружены виды растений, занесенных в Красную книгу, а именно белвалии сарматской (*Bellevalia sarmatica*); катрана сердцелистного (*Crambe cordifolia*); цмина песчаного (*Helichrysum arenarium*); горечавки легочной (*Gentiana pneumonanthe*). Была проведена оценка привлекательности ботанической составляющей территории по пятибалльной системе. Большую ценность для экскурсионных посещений несут в себе открытые, обзорные точки или открытые степные поляны из-за сочетания многих ярких, насыщенных видов флоры и контрастности растительного пейзажа. Исследованиями установлено гнездование 36 видов птиц, относящихся к 8 отрядам. К категории статуса редкости объектов орнитофауны относятся 7 видов (кукушка (*Cuculus*), соловей южный (*Luscinia megarhynchos*), огарь (*Tadorna ferruginea*), козодой (*Caprimulgus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*), дубонос обыкновенный (*Coccothraustes coccothraustes*)); доля их участия в населении составляет 1,9%. Единственным доминантным видом является зяблик (*Fringilla coelebs*) (11,6%). Повсеместными видами орнитофауны являются огарь (*Tadorna ferruginea*), ворона серая (*Corvus cornix*), сойка обыкновенная (*Pica pica*), кукушка обыкновенная (*Cuculus canorus* (*Vigors*)). В ходе исследований была проведена оценка зоологических экскурсий по пятибалльной системе. По данному показателю оценивали психологическую составляющую территории природного памятника. Зоологические экскурсии не являются зрелищными в связи со скрытностью и невзрачностью живых биологических объектов орнитофауны. В основе таких экскурсий будет определение вида птиц на слух. Следовательно, ценность таких экскурсий небольшая, в основном для психологического состояния посетителей из-за пения птиц.

Ключевые слова: ландшафт, природно-археологический памятник, экологическое состояние, орнитофауна, растительные сообщества

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE NATURAL
AND ARCHAEOLOGICAL MUSEUM-RESERVE
«TATARSKOE GORODISCHE» OF THE STAVROPOL TERRITORY**

**Stepanenko E.E., Bezgina Yu.A., Okrut S.V.,
Khalikova V.A., Muradova A.V., Tibilova A.A.**

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru

The article reflects the results of the assessment of the ecological state of the natural and archaeological museum-reserve. A comparative characteristic of the vegetation in key areas was carried out and the dynamics of changes was revealed. The assessment was carried out according to the Drude scale to determine the abundance of herbaceous plants, it was determined that in key areas there is a dynamics, but also a decline in vegetation cover. During the study of the territory of the Tatar settlement, no plant species listed in the Red Book were found, namely Sarmatian Belvalia (*Bellevalia sarmatica*); Katran heart-leaved (*Crambe cordifolia*); Sandy cummin (*Helichrysum arenarium*); Gentian pulmonary (*Gentiana pneumonanthe*). The attractiveness of the botanical component of the territory was assessed according to a five-point system. Of great value for sightseeing visits are open, observation points or open steppe glades, due to the combination of many bright, rich types of flora and the contrast of the plant landscape. Research has established nesting of 36 species of birds belonging to 8 orders. The rarity status of avifauna objects includes 7 species (cuckoo (*Cuculus*), southern nightingale (*Luscinia megarhynchos*), shelduck (*Tadorna ferruginea*), nightjar (*Caprimulgus*), goshawk (*Accipiter gentilis*), sparrow hawk (*Accipiter nisus*), grosbeak common (*Coccothraustes coccothraustes*)); their share in the population is 1,9%. The only dominant species is the chaffinch (*Fringilla coelebs*) (11,6%). Common avifauna species are the shelduck (*Tadorna ferruginea*), gray crow (*Corvus cornix*), common magpie (*Pica pica*), common cuckoo (*Cuculus canorus* (*Vigors*)). In the course of the research, zoological excursions were evaluated according to a five-point system. According to this indicator, the psychological component of the territory of the natural monument was assessed. Zoological excursions are not spectacular due to the secrecy and nondescriptness of living biological objects of the avifauna. The basis of such excursions will be the identification of bird species by ear. Consequently, the value of such excursions is not great, mainly for the psychological state of visitors due to the birds singing.

Keywords: landscape, natural and archaeological monument, ecological state, avifauna, plant communities

Проблема изучения экологического состояния территории природно-археологического памятника «Татарское городище» на сегодняшний день является актуальной, а мероприятия для сохранения уникальности естественных ландшафтов и охраны природных и культурных объектов – очень насущными. Более 50 лет назад на Ставропольской возвышенности была развернута деятельность по охране археологического наследия в условиях интенсивной застройки территории и увеличения антропогенного влияния на прилегающую природную территорию с целью сохранения природно-ресурсного потенциала. Необходимость соединения традиционных архитектурно-градостроительных подходов с эколого-географическими обусловлена экологическими проблемами диагностики территории. В настоящее время ландшафт рассматривается как основа устойчивого развития цивилизации. Эколого-географический подход предполагает бережное отношение к природным элементам ландшафта: сохранение естественной территории и разнообразия местности [1]. В рамках этих подходов необходимо создание культурных ландшафтов Татарского городища при помощи наведения должного порядка в экологическом и рекреационном освоении городища.

Цель исследования – провести анализ экологического состояния территории природно-археологического музея-заповедника.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы следующие методы и методики экологической оценки территории: визуальные наблюдения и описательные методы оценки территории; сравнительные методы оценки территории; ботанический метод оценки территории; метод ключевых участков; маршрутный метод; психологическая оценка экскурсионных объектов. Информационной основой послужили флористические и орнитологические описания, содержащиеся в материалах экологического обследования природно-археологического музея-заповедника. Оценку по видовой насыщенности вели по шкале Друде с дополнениями А.А. Уранова и П.Д. Ярошенко (2010). Для описания видового состава птиц использовали такие методы, как метод маршрутных учетов, показатели численности и плотности в различных биотопах, учеты из автомобиля. Привлекательность природных объектов оценивалась по пятибалльной системе.

Данные методы экологических исследований позволили оценить современную экологическую ситуацию на территории музея-заповедника «Татарское городище» и наметить мероприятия по его сохранению и использованию в качестве природно-экологического, исторического и познавательного объекта. Музей-заповедник входит в ядро одного из опорных природно-культурных каркасов Ставропольского края. Являясь частью популяризованного урбанизированного ландшафта, он в то же время важный очаг естественной природы, археологической, а в перспективе и традиционной живой культуры, составляющей единую многослойную историческую среду. Татарское городище – это крупнейший археологический памятник Предкавказья, который сохранился среди реликтового леса, в окружении городских, сельских и дачных построек, полей и дорог [2]. Территория природно-археологического музея-заповедника занимает площадь около 200 га. Состоит из трех городищ: Первое, или Центральное, Второе и Третье, которые составляют основу природно-археологического комплекса.

Результаты исследования и их обсуждение

Растительность является наглядным показателем и индикатором экологической оценки территории. Ключевые участки, на которых велся подсчет видов древесной и травянистой растительности, были разбиты на 4 части. Ключевой участок № 1 – правый борт балки Травертинового ручья восточной экспозиции и средней части крутого склона. Ключевой участок № 2 – первая надпойменная терраса Анненского ручья, которую историки определяют как «цитадель» – чистый бузиново-кленовый лес. Согласно отчетам сотрудников музея-заповедника, в 1997 г. этот участок подвергали ландшафтной вырубке для визуального просмотра археологического комплекса (валы крепостной стены, руины фундамента храма, провалы подземного хода). В настоящее время кустарниковая формация и травянистая полностью восстановилась. Лес загущен и практически непроходим. Ключевой участок № 3 – лес в долине Травертинового ручья, правый и левый крутые склоны. Дубово-ясенево-грабовый лес, клен остролистный (*Acer Platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*) наблюдаются в примеси к грабу обыкновенному (*Carpinus*) и ясеню (*Fraxinus excelsior*) на склонах южных,

восточных и западных экспозиций. Северо-восточная часть природно-археологического музея-заповедника характеризуется искусственными насаждениями – гледичия обыкновенная (*Gleditsia triacanthos*), дуб (*Quercus*), ясень (*Fraxinus*), клен (*Acer*). Ключевой участок № 4 – степь на верхней террасе первого городища в 10 м от бровки склона. Здесь встречаются близкие к целинным небольшие участки восстановившихся степей на одном валу, где на пробном участке описано 103 вида растений. При исследовании территории музея-заповедника не были обнаружены виды растений, занесенных в Красную книгу, а именно бельвалии сарматской (*Bellevalia sarmatica*); катрана сердцелистного (*Crambe cordifolia*); цмина песчаного (*Helichrysum arenarium*); горечавки легочной (*Gentiana pneumonanthe*).

Была проведена сравнительная характеристика растительности на ключевых участках и выявлена динамика изменений за период с 1995 по 2021 г. Оценку проводили по шкале Друде, определение обилия травянистых растений показало, что на ключевых участках прослеживается динамика, но также и спад растительного покрова. На ключевом участке № 1 были обнаружены древесные, полудревесные и наземные формы (табл. 1).

Анализ данных по результатам обследования территории на ключевом участке № 2 свидетельствует о наличии древесных, кустарниковых и наземных форм растительности (табл. 2).

Исследование территории показало динамику восстановления естественной растительности на данном участке (табл. 3).

Таблица 1

Древостой и кустарники на ключевом участке № 1

Виды	Количество		Высота, м		Средний диаметр, см	
	1995	2021	1995	2021	1995	2021
Бук восточный (<i>Fagus orientalis</i>)	10	25	6	8	20	25
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	3	8	6	9	20	23
Боярышник кроваво-красный (<i>Crataegus sanguinea</i> Pall)	3	5	3	6	–	–
Бузина черная (<i>Sambucus nigra</i>)	2	4	3	7	–	–

Таблица 2

Древостой и кустарники на ключевом участке № 2

Виды	Количество		Высота, м		Средний диаметр, см	
	1995	2021	1995	2021	1995	2021
Клен полевой (<i>Acer campestre</i>)	18	21	16	19	18	21
Лещина обыкновенная (<i>Corylus avellana</i>)	3	9	1,5	4	–	–
Бересклет европейский (<i>Euonymus europaea</i>)	1	4	1	3,5	–	–
Бузина черная (<i>Sambucus nigra</i>)	1	5	1	2,5	–	–

Таблица 3

Наземные формы ключевого участка № 2

Виды	Обилие		Высота, см	
	1995	2021	1995	2021
Купырь лесной (<i>Anthriscus sylvestris</i>)	Sp	Cop1	10	13
Подмаренник цепкий (<i>Galium aparine</i>)	Cop1	Cop1	80	78
Фиалка душистая (<i>Viola odorata</i>)	Cop1	Cop2	8	12
Полевичка волосистая (<i>Eragrostis pilosa</i>)	Sp	Cop1	40	41
Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i>)	Sp	Cop1	60	57
Подмаренник душистый (<i>Asperula odorata</i>)	Sp	Cop1	30	32

Таблица 4

Древостой и кустарники на ключевом участке № 3

Виды	Количество		Высота, м		Средний диаметр, см	
	1995	2021	1995	2021	1995	2021
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	5	7	15	18	20	24
Клен полевой (<i>Acer campestre</i>)	3	7	17	22	18	21
Груша обыкновенная (<i>Pyrus communis</i>)	1	3	4,5	6	14	16
Боярышник кроваво-красный (<i>Crataegus sanguinea</i> Pall)	1	4	2,5	4	–	–

Таблица 5

Травостой в лесу ключевого участка № 3

Виды	Обилие		Высота, см	
	1995	2021	1995	2021
Фиалка душистая (<i>Viola odorata</i>)	Cop1	Cop1	15	18
Купена многоцветковая (<i>Polygonatum multiflorum</i>)	Cop1	Cop1	30	30
Гравилат городской (<i>Geum urbanum</i>)	Sol	Sp	40	39
Яснотка белая (<i>Lamium album</i>)	Sol	Sp	25	28
Подмаренник душистый (<i>Asperula odorata</i>)	Sp	Cop1	30	32

Таблица 6

Оценка эстетичности экскурсионных объектов

Экскурсионный объект	Количество форм растений	Количество видов растений	Наличие декоративно-цветущих растений	Наличие редких и эндемичных растений
Обзорные точки	4	4	4	4
Водопады	2	3	3	0
Валы и рвы	3	2	2	3
Каменные отторженцы	1	2	1	1
Крутые склоны	1	2	0	2

Мониторинг ключевого участка № 3 (кленовые и дубово-ясеневые леса на серых лесных почвах) с фрагментами археологических памятников показал следующие формы растительности – древесные, кустарниковые и надземные (табл. 4, 5).

Анализ данных показывает, что у всех видов прослеживается динамика.

Наблюдение за ключевым участком № 4 – в прошлом подвергался распашке – показало присутствие следующих подвиговых составляющих растительного сообщества, присутствующего в экосистеме музея-заповедника:

1. Полынная с разнотравьем – прослеживается динамика восстановления после нанесенного ущерба, но не у чины киноварной, цикория лекарственного и тысячелистника благородного. Эти виды являются

лекарственными, из-за этого собираются населением.

2. Бобово-злаковые – также прослеживается динамика восстановления.

3. Разнотравно-бобовые – у данного подвида наблюдается полный процесс восстановления.

4. Фрагмент целинной разнотравно-злаковой степи – наблюдается динамика прироста. Изучение данных видов важно для сохранения биологического разнообразия.

В ходе исследований была проведена оценка привлекательности ботанической составляющей территории по пятибалльной системе [3]. По данной шкале оценивалась эстетичная ценность территории природного памятника (табл. 6).

Большую ценность для экскурсионных посещений несут в себе открытые, обзор-

ные точки или открытые степные поляны из-за сочетания многих ярких, насыщенных видов флоры и контрастности растительно-го пейзажа [4].

Видовой состав орнитофауны свидетельствует о состоянии объектов животного мира как индикаторов экологического состояния территории.

Исследованиями установлено гнездование на изучаемой территории 36 видов птиц (рисунок), относящихся к 8 отрядам: представители отряда гусеобразные – 1 вид (2,8%); представители отряда совообразные – 1 вид (2,8%); представители отряда соколообразные – 4 вида (11,1%); представители отряда козодоеобразные – 1 вид (2,8%); представители отряда курообразные – 1 вид (2,8%); представители отряда кукушкообразные – 1 вид (2,8%); представители отряда дятлообразные – 1 вид (2,8%); представители отряда воробьинообразные – 26 видов (72,1%).



Соотношение представителей отрядов птиц в зооценозе природно-археологического музея-заповедника

Общая плотность орнитофауны Татарского городища составила 100,8 пар на 1 км², что является средним показателем для лесов окрестностей г. Ставрополя. Обращает на себя внимание и видовая насыщенность территории. К категории

статуса редкости объектов орнитофауны отнесены 7 видов (кукушка (*Cuculus*), соловей южный (*Luscinia megarhynchos*), огарь (*Tadorna ferruginea*), козодой (*Caprimulgus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*) [5], ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*), дубонос обыкновенный (*Coccothraustes coccothraustes*)); доля их участия в населении составляет 1,9%. Единственным доминантным видом является зяблик (*Fringilla coelebs*) (11,6%). Многочисленны конек лесной (*Anthus trivialis*), синица большая (*Parus major*), славка-черноголовка (*Sylvia atricapilla*), пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita*), зяблик (*Fringilla coelebs*). Их доля участия в населении составила 46,6%. Кроме того, 23 вида относятся к категории обычных, с долей участия в населении 51,6%. Таким образом, к фоновым (многочисленным + обычным) относятся 29 видов, доля их участия в населении 98,1%. Отмечен единственный доминантный вид – зяблик (*Fringilla coelebs*) (11,6%). Повсеместными видами орнитофауны являются огарь (*Tadorna ferruginea*), ворона серая (*Corvus cornix*), сорока обыкновенная (*Pica pica*), кукушка обыкновенная (*Cuculus canorus* (*Vigors*)). Из лесных видов присутствуют сова ушастая (*Asio otus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), сойка обыкновенная (*Garrulus glandarius*), зарянка (*Erithacus rubecula*), дрозды черный (*Turdus merula*) и певчий (*Turdus philomelos*), синица большая (*Parus major*), дятел большой пестрый (*Dendrocopus major*) и др. Отмечено присутствие таких видов птиц, представленных относительно исследуемой территории (опушки, степи), как соловей южный (*Luscinia megarhynchos*), славка серая (*Sylvia communi*) и черноголовка (*Sylvia atricapilla*), просянка (*Miliaria calandra*, *Emberiza calandra*) и др. Анализ данных показал, что на исследуемой территории обнаружена высокая доля экологически уязвимой группы птиц – наземногнездящихся. При равном числе видов с самой защищенной группой – кронагнездные, доля участия в населении наземногнездящихся видов составила 37,6% против 33,2% у кронагнездных, что свидетельствует об относительно ослабленном антропогенном воздействии на территорию по сравнению с другими лесами окрестностей города.

В ходе исследований проведена оценка зоологических экскурсий для данной территории по пятибалльной системе: 0 – непригодные; 1 – ограниченно пригодные; 2 – малоблагоприятные; 3 – благоприятные;

4 – очень благоприятные [6]. По данному показателю оценивали психологическую составляющую территории природного памятника (табл. 7).

Таблица 7

Психологическая оценка
экскурсионных объектов

Экскурсионный объект	Число видов птиц	Число видов редких и эндемичных птиц
Обзорные точки	1	0
Водопады	2	1
Валы и рвы	1	2
Каменные отторженцы	3	2
Крутые склоны	2	2

Зоологические экскурсии не являются зрелищными в связи со скрытностью и невзрачностью живых биологических объектов орнитофауны. В основном орнитологические экскурсии необходимо проводить в часы активности птиц (ранним утром или вечером) и глубине лесных массивов. В основе таких экскурсий будет определение вида птиц на слух [7]. Следовательно, ценность таких экскурсий небольшая, в основном для психологического состояния посетителей из-за пения птиц.

Заключение

Анализ сложившейся ситуации на исследуемой территории свидетельствует о преобладании динамики восстановления

естественной растительности, но также и спаде растительного покрова, что свидетельствует о необходимости разработки мероприятий, направленных на сохранение состояния природных комплексов. На исследуемой территории обнаружена высокая доля экологически уязвимой группы птиц – наземногнездящихся, что свидетельствует об относительно ослабленном антропогенном воздействии на территорию. На наш взгляд, необходимо систематически проводить регулярные наблюдения за растительными сообществами и объектами животного мира, что позволит сохранить биологическое разнообразие.

Список литературы

1. Осипова А.Г. Эколого-географическая оценка ландшафтов при формировании природно-экологического каркаса территории // Информация и космос. 2015. № 1. С. 62–73.
2. Кондратьева А.А. Природно-экологический каркас степной зоны (на примере ландшафтов Ставропольского края): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 1999, 20 с.
3. Черкасов А.И., Немцева М.О. Картографирование памятников природы Ставропольского края // Географические науки и образование: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Астрахань, 2016. С. 100–102.
4. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Безгина Ю.А., Халикова В.А. Оценка рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 58–63.
5. Маловичко Л.В., Швыкова А.В., Зубалий А.М. Характеристика орнитонаселения окультуренного ландшафта в субаридной зоне на Северо-Востоке Ставрополья // Эко-системы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 191–203.
6. Липин А.Д. Рекреационная оценка памятника природы // NovaInfo.Ru. 2017. Т. 1. № 62. С. 15–29.
7. Андреев В.М. Археологический памятник как эстетический объект // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 6 (43). С. 494–496.

УДК 911.8

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ И УСТРАНЕНИЕ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ТЕРРИТОРИИ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Узденова А.Б.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: albina_uzdenowa@mail.ru

Проблема охраны окружающей среды, предотвращения деградации и рекультивация нарушенных земель в настоящее время очень актуальна. Негативное воздействие накапливается и с каждым десятилетием становится все более разрушительным в экологическом, экономическом и социальном аспектах. Масштабные горные работы привели к нарушению земель, изменению параметров и элементов экосистем на больших площадях. Последствия такого недостаточно контролируемого воздействия заметно отражаются в функционировании ландшафтов, балансе экосистемы местности, тем самым снижая качество жизни населения. Свалки являются наиболее распространенным способом утилизации отходов во всем мире. Однако, они представляют значительный риск для окружающей среды, приводя к загрязнению подземных вод, атмосферного воздуха и почвы, нарушают эстетический вид ландшафта и распространяют зловонные запахи. Кроме того, происходит воздействие на здоровье человека через загрязнение подземных вод и выброса газов в атмосферу. Нарушенные земли подлежат рекультивации – проведению системы мероприятий по ликвидации нарушений земель и восстановлению плодородия почв. В литературе под рекультивацией понимается комплекс инженерных, биологических и других мер, направленных на восстановление продуктивности и экономической ценности территорий, пострадавших от промышленности, а также улучшение состояния окружающей среды в соответствии с интересами общества. Рекультивация поврежденных земель требует решения многих нестандартных вопросов в области геотехники и инженерной экологии. Земли, утратившие первоначальную ценность и являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду называются нарушенными землями. Рекультивация обязательна для дальнейшего использования земель в сельскохозяйственных, лесохозяйственных, водохозяйственных, строительных, рекреационных, природоохранных и санитарно-оздоровительных целях. В статье представлены некоторые примеры рекультивационных работ, направленных на снижение воздействия свалок твердых бытовых отходов и хвостохранилища на почвенно-водную среду и обеспечение экологической безопасности.

Ключевые слова: рекультивация, экологическая реабилитация, нарушенные земли, концентрация веществ, опасные вещества, загрязнение окружающей среды

RECLAMATION OF DISTURBED LAND AND ELIMINATION OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE ON THE TERRITORY OF THE KABARDINO-BALKARIA

Uzdenova A.B.

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: albina_uzdenowa@mail.ru

The problem of environmental protection, degradation prevention and reclamation of disturbed lands is currently very relevant. The negative impact is cumulative and every decade becomes more destructive in environmental, economic and social aspects. Large-scale mining operations have led to land disturbance, changes in the parameters and elements of ecosystems over large areas. The consequences of such an insufficiently controlled impact are noticeably reflected in the functioning of landscapes, the balance of the local ecosystem, thereby reducing the quality of life of the population. Landfills are the most common way to dispose of waste worldwide. However, they pose a significant risk to the environment, leading to pollution of groundwater, atmospheric air and soil, disturbing the aesthetic appearance of the landscape and spreading fetid odors. In addition, there is an impact on human health through pollution of groundwater and emissions of gases into the atmosphere. Disturbed lands are subject to reclamation – a system of measures to eliminate land disturbances and restore soil fertility. In the literature, reclamation is understood as a set of engineering, biological and other measures aimed at restoring the productivity and economic value of areas affected by industry, as well as improving the state of the environment in accordance with the interests of society. The reclamation of damaged lands requires the solution of many non-standard issues in the field of geotechnics and engineering ecology. Lands that have lost their original value and are a source of negative environmental impact are called disturbed lands. Reclamation is obligatory for the further use of land for agricultural, forestry, water management, construction, recreational, environmental and sanitary purposes. The article presents some examples of reclamation work aimed at reducing the impact of solid waste landfills and tailings on the soil and water environment and ensuring environmental safety.

Keywords: reclamation, environmental rehabilitation, disturbed lands, concentration of substances, hazardous substances, environmental pollution

Экологически неблагоприятные и нарушенные территории наносят вред всей окружающей их среде. К таковым относится загрязнение различными видами мусора. Свалки остаются самым распространенным способом для удаления твердых отходов,

поскольку они могут вмещать огромные объемы отходов и дешевле в эксплуатации по сравнению с другими вариантами удаления твердых отходов, такими как сжигание. Несмотря на эти преимущества, свалки остаются основными точечными источни-

ками загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы и органические соединения. Фильтрат свалки, образующийся из комбинации разлагающихся отходов и жидкостей, просачивающихся через отходы на свалках, является основным переносчиком этих загрязняющих веществ со свалки в окружающую среду. При выборе территории для организации санкционированных свалок учитываются особенности рельефа, почв, расположения подземных вод и местная роза ветров. По экспертным оценкам, ежегодные потери ВВП России из-за ухудшения состояния окружающей среды (без учета ущерба здоровью населения) составляют от 4% до 6% (Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176) [1]. Для решения данной проблемы, в рамках национального проекта «Экология» и федерального проекта «Чистая страна» на территории Кабардино-Балкарии проводятся работы по рекультивации нарушенных земель.

Цель исследования – изучить состояние загрязненных и нарушенных земель на территории Кабардино-Балкарии.

Материал и методы исследования

При проведении данного исследования использовались материалы изыскательских работ по восстановлению загрязненных территорий.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из значимых экологических проектов в Кабардино-Балкарии является рекультивация и реабилитация территории, загрязненной при несанкционированном размещении отходов I-V классов опасности в городе Тырнаузе. Территория длительное время использовалась для размещения бытового мусора. Несанкционированная свалка является источником загрязнения. Период полного разложения составляет около 50 лет. Площадь свалки составляет 3,2 га, высота колеблется от 5,5 до 8,2 м, объем отходов составляет 280000 м³. Свалочная масса сильно уплотнена и сортировке с дальнейшей переработкой не подлежит. Данная территория относится к зоне со средним потенциалом загрязнения атмосферного воздуха, благоприятной для рассеивания выбросов и самоочищения атмосферы. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются следующие

вещества: взвешенные вещества, оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, сероводород, аммиак, формальдегид, керосин, метан.

Рекультивация предполагает 2 этапа реализации.

Технологический этап рекультивации включает вывоз мусора на действующий полигон ТБО. Биологический этап включает укрепление откосов насыпных сооружений геоячейками, заполнение растительным грунтом с посевом трав (толщина растительного грунта 20 см), засев многолетних трав. Исследования показывают высокую эффективность использования растений, толерантных к токсическим веществам при восстановлении грунта от последствий антропогенного загрязнения [2]. Несанкционированная свалка, как источник загрязнения выделяет в атмосферный воздух следующие вещества: диоксид азота, аммиак, диоксид серы, сероводород, оксид углерода, метан, ксилол, толуол, этилбензол, формальдегид. Из всех выделяющихся загрязняющих веществ образуется шесть комбинаций с суммирующим вредным действием: аммиак-сероводород, аммиак-сероводород-формальдегид, аммиак-формальдегид, сероводород-формальдегид, серы диоксид-сероводород, серы диоксид-азота диоксид. Анализ расчётов максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ показал, что превышений установленных нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на границе расчётной жилой зоны не было [3]. Ближайшая жилая зона располагается на расстоянии 1594 м в северо-западном направлении (г. Тырнауз). Также, расчет концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, образующихся при функционировании несанкционированной свалки, показал, что ожидаемые расчетные максимальные концентрации загрязняющих веществ не превышают предельно допустимые величины концентраций ни по одному из веществ. Сток с поверхности свалки оказывает воздействие на близлежащие водные объекты. Воздействие на подземные воды (первого от поверхности горизонта) осуществляется за счет поступления поверхностного стока в тело свалки и ведет к образованию фильтрата, который поступает в грунтовые воды. Загрязняющие вещества, концентрация и объем выщелачивания в основном зависит от вида отходов, размещаемых на свалках. Фильтрат свалок обычно содержит токсичные элементы и тяжелые

металлы, биоразлагаемые и стойкие органические соединения, растворенный метан, жирные кислоты, сульфаты, нитраты, нитриты, фосфаты и кальций. Фильтрат может проходить через почву и попадать в поверхностные или подземные воды. Кроме того, когда фильтрат попадает в грунтовые воды, он может попасть в прилегающие реки и загрязняет реки. Следует отметить, что осадки и влажность почвы играют важную роль в производстве фильтрата. Осадки проходят через отходы и происходят химические и физические реакции, переносящие растворенные компоненты, которые могут попасть в почву. В ходе проведения рекультивации и ликвидации воздействие на поверхностные и подземные воды будет прекращено – не будет образовываться поверхностный загрязненный сток со свалки и прекратится образование фильтрата. На территории свалки практически отсутствует почвенный слой. Вместо почвы распространены характерные для свалок техногенные поверхностные образования, которые предшествуют почвам и неразрывно связаны с ними.

Одним из важных параметров функционирования свалок является пожаро- и взрывоопасность. Пожары на свалках особенно опасны, поскольку они могут выделять опасные пары от сгорания широкого спектра материалов, содержащихся на свалке. Над свалками часто можно наблюдать испарения и дым. Дым от свалок, как правило, представляет собой смесь различных газов. Они образуются в результате разложения гниющей пищи и других биологических отходов бактериями. Метан является самым большим компонентом свалочного газа – от 45% до 60%, за ним следует диоксид углерода (40%-60%). Плотность отходов, поступающих

на полигон ТБО, составляет 0,2–0,3 т/м³, влажность колеблется от 40 до 55 %, содержание органического вещества – до 70 %. В связи с тем, что в массиве ТБО содержатся горючие и самовоспламеняющиеся материалы и вещества, а также жидкости, пыли и биогаз, которые могут образовывать взрывоопасные смеси, данный объект является пожароопасным. Таким образом, на поверхности и в массиве ТБО могут происходить процессы самовоспламенения, самовозгорания, тления и горения [3].

В результате добычи полезных ископаемых возникает множество экологических проблем, включая загрязнение воздуха, почвы и воды. Вредное воздействие добычи полезных ископаемых является предметом беспокойства на протяжении многих лет. Зброшенные хвостохранилища самых разных отраслей промышленности можно найти по всему миру. По национальному проекту завершена рекультивация сухого пляжа хвостохранилища Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК), расположенного близ селения Быллым Эльбрусского района. Хвостохранилище представляет собой два озера. После прекращения работы комбината в хвостохранилище перестали поступать продукты переработки руды и уровень воды в озерах со временем начал снижаться. Это привело к образованию сухого пляжа и обнажению слоя загрязняющих веществ [4]. В атмосферу начала попадать мелкодисперсная пыль с содержанием вредных веществ, превышающим предельно допустимые концентрации (табл. 1).

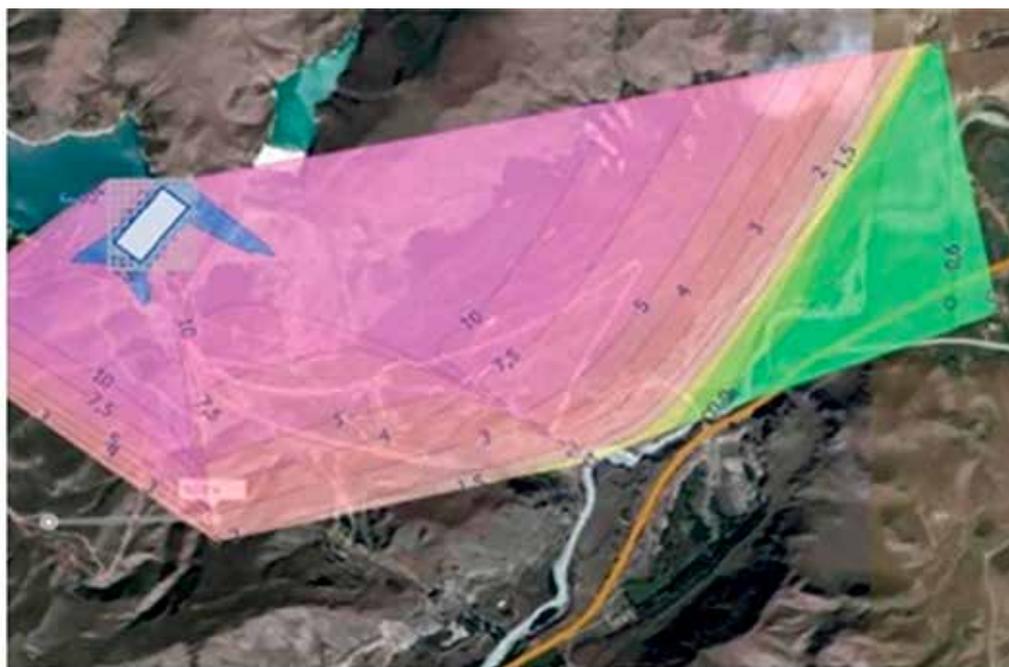
В материалах исследований в разные годы отмечается превышение значений ПДК для вольфрама, молибдена, олова, цинка, для мышьяка, меди (рисунок) [4,5].

Таблица 1

Концентрация вредных веществ мелкодисперсной пыли в районе сухого пляжа хвостохранилища и близлежащих территориях

Источник загрязнения	Наименование загрязняющего вещества	Значение (ПДК м/р)	Класс опасности	Выброс вещества, г/сек.	Выброс вещества, т/сек.
Хвостохранилище	Марганец и его соединения	0,01	2	0,0252836	0,002515
	Пыль неорганическая	0,05	3	8,1307164	0,886853
	Диметилбензол (Ксилол)	0,2	3	0,0045139	0,014625
	Уайт-спирит	1,00	4	0,0021528	0,006975
	Взвешанные вещества			0,0024444	0,00792

Составлено по [5].



Масштаб 1:20000 (в 1 см 200м, ед. ном.: км)

Цветовая схема

□ 0 и ниже ПДК	□ (0,05 - 0,1] ПДК	□ (0,1 - 0,2] ПДК	□ (0,2 - 0,3] ПДК
□ (0,3 - 0,4] ПДК	□ (0,4 - 0,5] ПДК	□ (0,5 - 0,6] ПДК	□ (0,6 - 0,7] ПДК
□ (0,7 - 0,8] ПДК	□ (0,8 - 0,9] ПДК	□ (0,9 - 1] ПДК	□ (1 - 1,5] ПДК
□ (1,5 - 2] ПДК	□ (2 - 3] ПДК	□ (3 - 4] ПДК	□ (4 - 5] ПДК
□ (5 - 7,5] ПДК	□ (7,5 - 10] ПДК	□ (10 - 25] ПДК	□ (25 - 50] ПДК
□ (50 - 100] ПДК	□ (100 - 250] ПДК	□ (250 - 500] ПДК	□ (500 - 1000] ПДК
□ (1000 - 5000] ПДК	□ (5000 - 10000] ПДК	□ (10000 - 100000] ПДК	□ выше 100000 ПДК

Концентрация вредных веществ районе сухого пляжа хвостохранилища и близлежащих территориях [5]

Для предотвращения дальнейшей эрозии территории проводилась рекультивация открытых участков сухого пляжа с целью предотвращения разноса ветрами накопленных химических веществ хвостохранилища и попадания в воздушную среду близлежащих населенных пунктов сухой массы (пыль, песок). Площадь участка рекультивации составила 3,6 гектара.

Изоляция промышленных отходов хвостохранилища для предотвращения неорганизованного контакта атмосферных осадков с загрязнённым геотехническим массивом производится с помощью противофильтрационного экрана. Данный метод позволяет осуществить естественный отвод поверхностных вод с территории без дополнительной очистки стока атмосферных осадков с поверхности экрана, так как не происхо-

дит соприкосновения воды с поверхностью отходов.

Конструкция защитного экрана при рекультивации сухого пляжа состоит из следующих слоев (снизу-вверх): на подтапливаемом участке пляжа: Объемная георешетка «Армогрид» 220x220x200 мм. с заполнением щебнем фракции 40-70 мм. Защитный слой из дренирующего грунта толщиной 1,00 м. Геотекстиль Тексопол ИП 400 G4. На неподтапливаемом участке пляжа: Плодородный слой армированный противозрозийным матом Secumat ES 401 G4, толщиной грунта 0,20 м с посевом многолетних трав. Защитный слой из дренирующего грунта толщиной 1,00 м. Геотекстиль Тексопол ИП 400 G4 [4]. Также предусмотрена биологическая рекультивация территории – комплекс агротехнических и фитомелиора-

тивных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны, посев смеси трав и внесение минеральных удобрений на замещаемом грунте. Проводилось исследование состояния земель, загрязненных при несанкционированном размещении твердых коммунальных отходов, размещенных на территории поселка городского типа Кашхатау. Экологическая обстановка вокруг свалки считается неудовлетворительной. Ситуация усугубляется тем, что данная свалка находится в 400 метрах от жилых построек и в будущем это расстояние может сократиться на 30-40 метров. В результате функционирования свалки в атмосферу поступают диоксид азота, аммиак, диоксид серы, сероводород, оксид углерода, метан, ксилол, толуол, этилбензол, формальдегид (табл. 2) [5]. Общая концентрация загрязняющих веществ в почве является наиболее широко используемым показателем для оценки экологического риска. Степень загрязнения почв на исследуемой территории оценивается от умеренно опасной до опасной (суммарный показатель загрязнения (Zс) колеблется от 16 до 32). Также по санитарно-эпидемиологическим требованиям, почвы на исследуемой территории классифицируются как «загрязненные», по категории эпидемиологической опасности «чрезвычайно опасные», грунты счита-

ются «загрязненными» и «опасными» [5,6]. В целом проблема восстановления нарушенных земель требует более детального изучения и реализацию современных природоохранных мероприятий [7].

Исследование показало, что загрязняющие вещества не проникли в более глубокие слои грунта. На глубине 11-12,5 м. ни по одному из исследуемых веществ ПДК не превышены. Также не подверглись загрязнению и грунтовые воды под телом свалки. В донных отложениях наблюдается высокий уровень свинца, цинка, марганца, никеля и меди в силу природных факторов.

Рекультивация данного участка должна предусматривать вырубку деревьев (согласование администрации пгт. Кашхатау), формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почв на рекультивируемые земли, транспортировку и захоронение токсичных вскрышных пород на действующем полигоне, а также проведение других работ, создающих необходимые условия для дальнейшего использования рекультивированных земель. При выполнении всех вышеприведенных работ по рекультивации и экологической реабилитации территории вероятность неблагоприятных воздействий, связанных с загрязнением грунта и радиационной обстановкой минимальна, с благоприятным прогнозом.

Таблица 2

Валовое количество загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферу при функционировании несанкционированной свалки [5]

Загрязняющие вещества	Критерий	Класс опасности	ПДК, ОБУВ	г/с	тонны
Оксид углерода CO	ПДК м/р	4	5	0,0109119	2,68618
Двуокись азота NO2	ПДК м/р	3	0,2	0,0307522	1,16723
Аммиак	ПДК м/р	4	0,2	0,1638	5,45987
Оксид азота	ПДК м/р	3	0,4	0,0001022	0,00607
Диоксид серы	ПДК м/р	3	0,5	0,01886 9	0,71696
Сероводород	ПДК м/р	2	0,08	0,00696	0,0264553
Диоксид углерода	-	-	-	11,935	453,62
Метан	ОБУВ	-	50,0	14,118	536,55
Ксилол	ПДК м/р	3	0,2	0,1181	4,4886
Толуол	ПДК м/р	3	0,6	0,1928	7,32876
Этилбензол	ПДК м/р	3	0,02	0,02544	0,966724
Формальдегид	ПДК м/р	2	0,05	0,0257	0,977277
Взвешенные вещества	ПДК м/р	3	0,5	0,03425	0,087
Керосин	ОБУВ	-	1,2	0,0005875	0,01723
Сажа	ПДК м/р	3	0,15	0,0000278	0,00159

Выводы

1. В настоящее время рекультивация нарушенных земель актуальна и востребована как метод стабилизации экологического состояния окружающей среды и благоустройства территории. Перспективное использование земельных участков зависит от качественных и количественных параметров объекта, которые устанавливаются в результате геоэкологических изысканий.

2. Существующая система управления отходами в России, ориентированная преимущественно на их захоронение, является несовершенной, ведет к загрязнению окружающей среды и, как следствие, снижению качества жизни.

3. Рекультивация снижает негативное воздействие полигонов на окружающую среду, в частности, ограничивая распространение загрязняющих веществ в почвенно-водную среду, предохраняя склоны от эрозии, уменьшая запыленность и повышая ценность ландшафта, однако кардинально проблему не решает.

4. Полученные результаты могут быть использованы для определения объема и последовательности восстановительных работ, обоснования инвестиций в разработку стратегий и схем территориального

планирования на местном и региональном уровне.

Список литературы

1. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176 [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doscbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636> (дата обращения: 05.11.2022).
2. Новицкий М. Л., Азиатцева М. В. Современные тенденции, состояние и особенности рекультивации полигонов твердых бытовых отходов (обзор) // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022. № 3(164). С. 29-42.
3. Проектная документация. «Рекультивация и экологическая реабилитация территории, загрязненной при несанкционированном размещении отходов I-V классов опасности (ликвидация накопленного экологического ущерба) г.п.Тырныауз в Кабардино-Балкарской Республике». Нальчик: ООО «Каббалкгипродор», 2019. 71 с.
4. Проектная документация. Рекультивация сухого пляжа хвостохранилища ТВМК, КБР, Эльбрусский район, с. Былым. Нальчик: ООО «СК-Гипродор», 2018. 98 с.
5. Проектная документация. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Нальчик: ООО «СК-Гипродор», 2021. 65 с.
6. Кондратьева Н.В., Узденова А.Б. Рекультивация загрязненных земель в предгорной зоне КБР // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021): коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том. XI. 2021. С. 386-389.
7. Волкова А.В., Мизгирева М.С., Петрова Е.Н. Твердые коммунальные отходы в Левобережной части территории Нижегородской области: размещение и проблемы рекультивации // Успехи современного естествознания. 2019. № 4. С. 37-42.

УДК 911.9

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ И ИНДЕКСОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА)

Хасанова Г.Ф.

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», Уфа,
e-mail: galimakhasanova@gmail.com

В статье представлены результаты моделирования трансформационных процессов с помощью применения математических методов, посредством введения индикаторов и индексов характеристики природных и антропогенных явлений. Выделены основные факторы трансформации ландшафтов среднегогорий Южного Урала: естественный и антропогенный. Индексы естественной трансформации ландшафтов включают следующие индикаторы: изменения среднегодовых климатических показателей (среднегодовая температура, среднегодовое количество осадков), частоты повторения экстремальных погодных явлений, выражающихся в долях от абсолютных сумм осадков и температур; и трансформации групп растительности. Растительность наиболее быстро реагирует на внешние изменения, поэтому исследование ее дает исчерпывающие сведения о геоэкологическом состоянии ландшафтов. Одним из вариантов является определение на ключевых точках количества адвентивных видов к общему числу видов растений. Для выражения данных процессов применяются индикаторы антропогенной трансформации компонентов ландшафтов: качественных показателей лесных насаждений (породный состав древостоя, возрастная структура лесных насаждений, их полнота), индикатор синантропизации растительности. Количественное отображение этих характеристик позволило обнаружить внутриландшафтные различия в геоэкологическом состоянии региона. Полученные данные могут быть применены для обоснования мероприятий по ландшафтному планированию территорий.

Ключевые слова: ландшафт, индикаторы, индексы, трансформация ландшафтов, моделирование, естественная трансформация, антропогенная трансформация

USE OF INDICATORS AND INDICES IN MODELING THE TRANSFORMATION PROCESSES OF NATURAL COMPLEXES (USING THE EXAMPLE OF THE MIDDLE MOUNTAINS OF THE SOUTHERN URALS)

Khasanova G.F.

M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, e-mail: galimakhasanova@gmail.com

The article presents the results of modeling transformational processes, using mathematical methods, by introducing indicators and indices of the characteristics of natural and anthropogenic phenomena. The main factors of transformation of landscapes of the middle mountains of the Southern Urals are identified: natural and anthropogenic. The quantitative display of these characteristics made it possible to detect intralandscape differences in the geoeological state of the region. The data obtained can be used to justify landscape planning activities. The article presents the results of modeling transformational processes, using mathematical methods, by introducing indicators and indices of the characteristics of natural and anthropogenic phenomena. The main factors of transformation of landscapes of the middle mountains of the Southern Urals are identified: natural and anthropogenic. Natural landscape transformation indices include the following indicators: changes in average annual climatic indicators (average annual temperature, average annual rainfall), frequency of recurrence of extreme weather events, expressed in fractions of absolute amounts of precipitation and temperatures; and transformations of vegetation groups. Vegetation reacts most quickly to external changes, so its study provides comprehensive information about the geoeological state of landscapes. One option is to determine at key points the number of adventitious species to the total number of plant species. To express anthropogenic transformation of landscape components, indicators were used: qualitative indicators of forest plantations (pedigree composition, age structure of forest plantations, their completeness), synanthropization of vegetation. The quantitative display of these characteristics made it possible to detect intralandscape differences in the geoeological state of the region. The data obtained can be used to justify landscape planning activities.

Keywords: landscape, indicators, indices, transformation of landscapes, modeling, natural transformation, anthropogenic transformation

Исследование изменений в ландшафте и изучение направленности этих процессов является важным этапом оценки геоэкологического состояния природных комплексов. Моделирование процессов, протекающих в природных комплексах, имеет не только научную ценность, но и может быть применено в управлении состоянием компонентов ландшафта: почв, водных объектов, лесо-

покрытых площадей, как важного направления ландшафтного планирования и ландшафтно-планировочных мероприятий.

Цель исследования – разработать и применить качественные и количественные индексы и индикаторы для моделирования процессов трансформации ландшафтов и дальнейшего прогноза их геоэкологического состояния.

Материалы и методы исследования

Количественные методы в исследовании трансформации ландшафтов применялись такими авторами, как И.А. Байракова, В.В. Удовиченко, и другими исследователями [1, 2]. В отмеченных работах была определена проблема оценки трансформации ландшафтов и антропогенной нагрузки. В настоящее время данная проблематика не теряет своей актуальности и дает глубокое представление о процессах, протекающих в ландшафтных комплексах.

Для отображения количественных и качественных показателей процессов трансформации применены индикаторы и индексы, которые применяются в исследовании многих отраслей науки, в том числе экологической.

«Под индикатором понимается показатель, позволяющий судить о состоянии или изменении экономической, социальной или экологической переменной.

Наряду с индикаторами разрабатываются и применяются на практике индексы. Индекс – это агрегированный или взвешенный индикатор, основанный на нескольких других индикаторах или данных. Использование индексов приемлемо там, где хорошо понятны причинно-следственные связи.

Обычно индикаторы описывают явления или состояния окружающей природной среды и всегда указывают на нечто, находящееся вне прямого рассмотрения. 1. Индикаторы используются для обоснования принимаемого решения посредством количественной оценки и упрощения. 2. Индикаторы помогают интерпретировать изменения. 3. Использование индикаторов позволяет выявлять недостатки в природопользовании. 4. Индикаторы позволяют облегчить доступ к информации для разных категорий пользователей. 5. Индикаторы облегчают обмен научно-технической информацией» [3, с. 42–50].

По определению В.И. Булатова, «трансформация ландшафтов – создание нового качества, их структурное преобразование. Особенности данного процесса определяются межсистемным воздействием разнорядковых и разнокачественных систем (природных, социальных, технических). В отличие от революционной динамики трансформация ландшафтов носит долговременный и постепенный характер. Процесс трансформации есть выражение преобразования природы с определенными целями, специальными дифференцирован-

ными формами воздействия, взаимодействия и регулирования с учетом объективных структурных ограничений природной среды» [4, с. 15].

В настоящее время существуют две причины трансформации ландшафтов – это косвенное влияние изменения климатических показателей в сторону потепления и уменьшения осадков и прямое воздействие – хозяйственная деятельность человека. Основываясь на предыдущих работах автора, на территории Южного Урала можно выделить следующие виды природно-антропогенных ландшафтов: 1) пастбищно-дигрессионно-трансформированные; 2) пирогенно-трансформированные; 3) техногенно-трансформированные; 4) лесохозяйственно-трансформированные; 5) селитебно-трансформированные [5, с. 19].

Разработка, введение способов индексов и индикаторов даст возможность оценить сложившуюся геоэкологическую обстановку и своевременно предпринять меры для защиты от деградации горных ландшафтов. Примером может служить «Индекс совокупного воздействия естественного и антропогенного факторов на компоненты ландшафтов».

Достаточно сложно определить, где в ландшафтах процесс трансформации продолжается как эволюция природных комплексов и их перестройку под влиянием изменения климатических показателей в последние десятилетия. Поэтому внедрение индексов даст возможность интерпретировать данные изменения. Индекс совокупного воздействия естественного и антропогенного факторов на компоненты ландшафтов включает следующие индексы и индикаторы.

Индексы естественного фактора трансформации:

1. Индикатор изменения климатических показателей включает анализ многолетних среднегодовых температур, средних температур января и июля, среднегодового количества осадков, среднемесячных осадков января июля. Для интерпретации результатов исследования необходим отрезок времени не менее 50 лет. На процесс трансформации ландшафтов этот фактор влияет через изменение состава растительности, который быстрее всего реагирует на внешнее воздействие. В долгосрочной перспективе меняется и фауна, свойства почв и почвенный покров, перестраивается ландшафтная структура. В количественном виде выражается следующим образом: 1 балл

соответствует изменению среднегодового показателя на минимальном температурном уровне +0,1–0,4 °С, 2 балла при увеличении температуры на +0,5–0,9 °С, 3 балла при изменениях на +1–1,4 °С, 4 балла соответственно на +1,5–1,9 °С, 5 баллов при изменении значений среднегодовых температур на +2,0 °С или более.

2. Индикатор частоты повторения экстремальных погодных явлений включает аномально низкие и высокие температуры воздуха для данной территории, минимальное и максимальное количество осадков за месяц, засухи, количество осадков свыше 30 мм за сутки, град, сильный ветер, ураган, крайне ранняя осень и поздние заморозки летом. Негативное воздействие могут оказать на флору, фауну и почву: гибель лесных насаждений, лесные пожары в годы засухи, вымывание почвенного слоя во время интенсивных осадков и другие природные катастрофические явления.

3. Индикатор частоты повторения экстремальных погодных явлений. К ним относятся крайне низкие и высокие температуры воздуха, минимальное и максимальное количество осадков за месяц, засухи, осадки более 30 мм за сутки, град, сильный ветер, ураган, крайне ранние осенью и поздние заморозки летом. Градация зависит от частоты экстремальных погодных явлений, выраженных в долях абсолютных количеств осадков и температур. Частота экстремальных погодных условий выражается в процентах (в %): а) изменение частоты выпадения осадков более 30 мм в сутки (процент абсолютных величин) – с повторяемостью 0–0,1 % – 1 балл; 0,1–0,2 % – 2 балла; 0,2–0,3 % – 3 балла; 0,4–0,5 % – 4 балла; 0,5–0,6 % – 5 баллов.

4. Баллы присваиваются в зависимости от частоты проявления экстремальных погодных явлений, выражающихся в долях от абсолютных сумм осадков и температур. Частота проявления экстремальных погодных условий выражается в процентах (в %):

а) изменение частоты выпадения осадков более 30 мм в сутки (проценты от абсолютных сумм) – при повторяемости 0–0,1 % – 1 балл; 0,1–0,2 % – 2 балла; 0,2–0,3 % – 3 балла; 0,4–0,5 % – 4 балла; 0,5–0,6 % – 5 баллов.

б) изменение повторяемости аномально жарких и холодных температур воздуха (проценты от абсолютных сумм): при 0–0,1 % – 1 балл; 0,1–0,2 % – 2 балла; 0,2–0,3 % – 3 балла, 0,4–0,5 % – 4 балла; 0,5–0,6 % – 5 баллов.

5. Индикатор трансформации групп растительности. Показатель, характеризующий качественные и количественные изменения в растительном покрове [6, с. 49]. Одним из вариантов является определение на ключевых точках количества адвентивных видов к общему числу видов растений. Адвентивные виды – дикие виды, перенесенные на новую для них территорию (отделенные от исходного диапазона) в результате прямого или косвенного воздействия на человека и встроенные в природные, полустественные и антропогенные сообщества. Отсутствие адвентивных видов является показателем устойчивости компонента ландшафта – растительности. Количественные показатели ранжировались следующим образом: вид встречается редко от 1 до 10 экземпляров на 1 м² (присваивается 1 балл); при встречаемости 11–100 экземпляров – 2 балла, от 101 до 200 – 3 балла, 200 и более – 4 балла.

Более сильное воздействие оказывает хозяйственная деятельность человека, которая может коренным образом трансформировать ландшафты, особенно при добыче полезных ископаемых, в которой ландшафтная структура территории полностью перестраивается, вплоть до литогенной основы. Для выражения данных процессов применяются индикаторы антропогенной трансформации компонентов ландшафтов:

6. Индикатор качественных показателей лесных насаждений:

а) породный состав древостоя. Площади, занимаемые коренными породами деревьев, выражают сохранность естественных ландшафтов в прямо пропорциональном выражении. Чем больше доля коренных пород лесов, тем большая вероятность сохранения природных комплексов. 1 балл присваивается, если коренные породы занимают площадь 80–100 %, 2 балла – 50–79 %, 3 балла – 30–49 %, 4 балла – 10–29 %, 5 баллов – менее 10 %;

б) возрастная структура лесных насаждений – соотношение количества приспевающих деревьев к количеству молодняков. Наиболее оптимальным считается равномерное соотношение разновозрастных пород. При резком увеличении процента подроста можно судить об интенсивных вырубках или лесных пожарах, что является показателем антропогенного воздействия. Преобладание перестойных деревьев – 1 балл, спелых – 2 балла, приспевающих – 3 балла, молодняков, подростов – 4 балла;

в) полнота лесных насаждений – степень использования лесом занятого пространства и выражается в десятых долях единицы для каждого яруса отдельно. За нормальную полноту принимают естественную полноту леса, не затронутого человеческой деятельностью. Согласно данному определению выделяются высокоплотные (1,0–0,9), среднеплотные (0,8–0,6), низкоплотные (0,5–0,3) насаждения и редины (менее 0,3). Чем больше полнота лесных насаждений, тем больше присваивается балл.

7. Индикатор синантропизации растительности. «Синантропизация – процесс приспособления растительного покрова к постоянно нарастающему антропогенному воздействию, сопровождающийся обеднением видового разнообразия, утратой зональных черт, унификацией» [5, с. 35]. Доля синантропных видов определяется как процентное соотношение к общему числу видов на исследуемом участке. Количественные показатели распределяются следующим образом: если рудеральные виды встречаются редко в количестве 7–11 шт./м², их доля составляет менее 10%, в этом случае присваивается 1 балл; при вариации синантропных видов в пределах 10–30%, слабая синантропизация – 2 балла; если доля синантропных видов достигает 30–50%, средняя синантропизация – 3 балла; при проективном покрытии 50–80% синантропных видов, что говорит о деградации растительности – 4 балла.

Результаты исследования и их обсуждение

Алгебраическая сумма показателей индикаторов представлена в таблице. Под

цифрами обозначены индексы, указанные выше в тексте. Анализ происходит следующим образом: чем меньше сумма баллов в ландшафтном районе среднегорий Южного Урала, тем менее подвержены процессам трансформации природные комплексы, и аналогичная ситуация с максимальными баллами – чем выше результат, тем больше ландшафты испытывают трансформацию.

Таким образом, с помощью применения индикаторов и индексов получены следующие результаты: меньше всего процессам трансформации подвержены ландшафты Белягушско-Машакско-Иремельского среднегорья (сумма индексов – 15). На данной территории климатические изменения средние, а антропогенное воздействие минимально по причине того, что природные комплексы находятся в режиме ООПТ. Малые показатели трансформации (15–17) характерны для природных комплексов Зильмердакско-Базальского среднегорья, что объясняется сложным рельефом и низкой плотностью населения, затрудняющего хозяйственное освоение территории, а изменения климатических показателей варьируются в средних значениях.

Средние показатели индекса – характерны для природных комплексов Юрматаско-Баштауского среднегорья (21 балл), в которых зафиксированы высокие индикаторы климатических изменений, по причине географического положения на границе разных высотных поясов, антропогенное воздействие среднее, местами значительное. Выше среднего – индексы Уралтауского среднегорного хребта (25 баллов).

Индексы факторов трансформации ландшафтов среднегорий Южного Урала

Ландшафтные районы среднегорий Южного Урала	Индексы естественного фактора				Индексы антропогенного фактора				Сумма индексов / воздействие
	1	2а	2б	3	4а	4б	4в	5	
1. Ландшафтные комплексы Зильмердакско-Базальского среднегорья	2	2	2	2	2	2	3	2	17 среднее
2. Ландшафтные комплексы Юрматаско-Баштауского среднегорья	4	3	1	3	2	2	3	3	21 среднее
3. Ландшафтные комплексы Белягушско-Машакско-Иремельского среднегорья	3	2	1	1	2	1	3	2	15 слабое
4. Ландшафтные комплексы Кракинского среднегорного хребта	5	5	2	3	3	2	2	4	26 очень сильное
5. Ландшафтные комплексы Приуралтауско-Кракинского межгорного понижения	5	5	2	4	3	2	2	4	27 очень сильное
6. Ландшафтные комплексы Уралтауского среднегорного хребта	5	4	1	3	3	2	3	4	25 сильное

Ландшафты подвержены относительно высоким показателям изменения климата – +1,6 °С, антропогенное воздействие значительное, особенно в центральной части ландшафтного района. Высокими показателями индекса процессов трансформации характеризуются ландшафты Кракинско-среднегорного хребта и Приуралтауско-Кракинского межгорного понижения. На данных ландшафтных районах высокие показатели индексов естественного и антропогенного фактора. Антропогенное воздействие классифицируется как сильное, в связи с высокой хозяйственной и селитебной освоенностью территории.

Заключение

Использование описанного методического приема позволило автору выявить внутренние региональные отличия процессов трансформации ландшафтов, выделить территории с благоприятной обстановкой и ландшафтные районы с неблагоприятным геоэкологическим состоянием, которые требуют дальнейшего исследования для разработки путей предотвращения неблагоприятной геоэкологической ситуации. Таким образом, исследования показали,

что наибольшей антропогенной нагрузке подвержены и к категории «очень сильное и сильное воздействие факторов трансформации» относятся около 22% территории. На категорию «среднее» приходится около 30% исследуемой территории. Примерно на 48% территории воздействие оценивается как слабое.

Список литературы

1. Байраков И.А. Ландшафтно-экологическая диагностика геосистем Северо-Восточного Кавказа (на примере Чеченской Республики): автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Пермь, 2012. 38 с.
2. Удовиченко В.В. Моделирование трансформационных процессов смешаннолесных ландшафтных комплексов левобережной Украины // Вестник ВГУ. Серия: География. 2016. № 3. С. 5–14.
3. Павликова О.В., Ферару Г.С. Методология определения экологических возможностей устойчивого развития региона // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2012. № 1–1 (120). Т. 21. С. 42–50.
4. Булатов В.И. Антропогенная трансформация ландшафтов и решение региональных проблем природопользования (на примере юга Западной Сибири): автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск, 1996. 63 с.
5. Хасанова Г.Ф. Современное состояние и особенности трансформации ландшафтов среднегорий Южного Урала: дис. ... канд. геогр. наук. Уфа, 2018. 230 с.
6. Шауло Д.Н., Зыкова Е.Ю., Шмаков А.И., Тупицына Н.Н., Сонникова А.Е., Шанмак Р.Б., Халбы М.О.-о., Самбуу А.Д., Анкипович Е.С. Адвентивные виды во флоре Верхнего Енисея // Turczaninowia. 2020. Т. 23. № 2. С. 49–58.