



ИД «Академия Естествознания»

**УСПЕХИ
СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Научный журнал

№ 11 2023



**ADVANCES
IN CURRENT
NATURAL SCIENCES**

Scientific journal

No. 11 2023



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентируется на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Корректор

Галенкина Е.С.,

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абилхасимов Х.Б.* (Астана); 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. *Егорина А.В.* (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. *Ерофеев В.И.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Залесов С.В.* (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент *Захарченко А.В.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Зволинский В.П.* (Волгоград); д.х.н., проф. *Ивашикевич А.Н.* (Москва); д.б.н., доцент *Кавецкий 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. *Косыкова 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.* (Миценск); 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., проф. *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. *Шарапов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шнигелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов 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)

ISSN 1681-7494

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

30.11.2023

Дата выхода номера

29.12.2023

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

24,75

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2023/11

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. Certificate – PI No. FS 77-63398.

«Advances in current natural sciences» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (HCC RF). K2.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

Main scientific directions: 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

CHIEF EDITOR

Ledvanov Mikhail Yurievich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

Kurzanov Anatoly Nikolaevich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent *Abdulvaleev R.R.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Abilkhasimov Kh.B.* (Astana); D.Sc., Prof. *Aidosov A.* (Almaty); D.Sc., Prof. *Alekseev S.V.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Andreev S.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Bayrambekov Sh.B.* (Kamyzyak); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Prof. *Belozеров V.V.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., Prof. *Berson G.Z.* (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Ukhta); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocheboksarsk); D.Sc. *Gorbacheva A.G.* (Pyatigorsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Prof. *Gusev A.I.* (Biysk); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent *Dolgov A.V.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Dolyatovsky V.A.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Egorina A.V.* (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. *Erofeev V.I.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zvolinsky V.P.* (Volgograd); D.Sc., Prof. *Ivashkevich A.N.* (Moscow); D.Sc., Docent *Kavtsevich N.N.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Kalyakin S.A.* (Donetsk); D.Sc., Prof. *Karaev M.K.* (Makhachkala); D.Sc., Prof. *Kashaev A.A.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Kobrunov A.I.* (Ukhta); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostitsyn V.I.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc., Prof. *Kosyakova I.V.* (Samara); D.Sc., *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Docent *Kuzakov O.N.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Kucherenko I.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Larionov M.V.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Lebedev V.I.* (Kyzyl); D.Sc., Prof. *Lerer A.M.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Lugovskoy A.M.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Melnikov A.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Musaev V.K.* (Moscow); D.Sc., Docent *Nehorosheva A.V.* (Khanty-Mansiysk); D.Sc. *Nikitin S.N.* (Ulyanovsk); D.Sc. *Okazova Z.P.* (Vladikavkaz); D.Sc., Prof. *Partoev K.* (Dushanbe); D.Sc., Prof. *Petelko A.I.* (Mtsensk); D.Sc., Prof. *Petrov M.N.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. *Pirumyan G.P.* (Yerevan); D.Sc., Prof. *Proezdov P.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Sakiev K.S.* (Bishkek); D.Sc. *Sibikeev S.N.* (Saratov); D.Sc., Docent *Sokolskaya O.B.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Stepanov V.V.* (Saint Petersburg); D.Sc., Prof. *Tarasenko A.A.* (Tyumen); D.Sc. *Teplukhin V.K.* (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. *Titov V.A.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Titov V.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Tikhonovskiy A.N.* (Salekhard); D.Sc., Prof. *Trofimenko S.V.* (Neryungri); D.Sc., Prof. *Ulrich E.V.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Choduraev T.M.* (Bishkek); D.Sc., Prof. *Shamshiev B.N.* (Osh); D.Sc., Prof. *Shantarin V.D.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Shatov A.A.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Shirapov D.Sh.* (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. *Shishelova T.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Shugunov L.Zh.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Yurgenson G.A.* (Chita); D.Sc., Prof. *Yakovenko N.V.* (Voronezh); D.Sc., Prof. *Yamaletdinova K.Sh.* (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

Periodicity	12 issues per year
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5
E-mail	edition@rae.ru
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	30.11.2023
Number issue date	29.12.2023
Format	60x90 1/8
Conditionally printed sheets	24,75
Circulation	1000 copies
Order	YCE 2023/11

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬИ

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТИПОВ САХАРНОЙ КУКУРУЗЫ ПО ФЕНОЛОГИЧЕСКИМ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ <i>Гусева С.А., Носко О.С., Волков Д.П., Маслова Г.А., Каменева О.Б.</i>	10
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ОСНОВЕ РАСТЕНИЙ С ОСОБЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ И ХОЗЯЙСТВЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРА ОМПЛЕКСНОГО БИОЭКОЛОГИЗИРОВАННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ <i>Ларионов М.В., Ломов М.В.</i>	18
ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВЫХ КУЛЬТУР ТРИТИКАЛЕ И ПШЕНИЦЫ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ <i>Лебедев В.Н., Кондрат С.В., Ураев Г.А.</i>	25
СОСТАВ ТРАВЯНОГО ЯРУСА В САНАТОРНОМ ЛЕСНОМ ПАРКЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА С УЧАСТИЕМ ИНВАЗИОННОГО ВИДА <i>ACER NEGUNDO L.</i> <i>Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Целева Н.Д.</i>	31

Сельскохозяйственные науки (4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация)

СТАТЬЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ <i>PINUS SYLVESTRIS L.</i> В НАСАЖДЕНИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ <i>Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.</i>	37
---	----

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕХАНИЗМА СОЗДАНИЯ АТЛАСА ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ <i>Барцыц Л.М.</i>	43
ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВАХ СМАЧИВАТЕЛЕЙ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ КАМЕННОГО УГЛЯ <i>Бортников С.В., Горенкова Г.А., Сумина А.В., Комарова О.В.</i>	48

<hr/>	
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ТУМАННАЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)	
<i>Горбатенко Л.В.</i>	54
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	
<i>Колубаева Ю.В., Иванова И.С., Широкова Л.С.</i>	61
ФОНОВЫЕ ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ	
<i>Корнилов А.Г., Чендев Ю.Г., Дорошенко М.В.</i>	69
ВЫБРОСЫ САЖИ С ТЕРРИТОРИИ ЮЖНО-ХЫЛЬЧУЮСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	
<i>Котова Е.И., Туфанова О.П.</i>	78
ОСОБЕННОСТИ РАЙОНИРОВАНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ	
<i>Кошевая Е.С., Лебединская Ю.С.</i>	83
ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕСУРСНОГО РЕЗЕРВАТА «КУОЛУМА-ЧАППАНДА»	
<i>Николаев А.А.</i>	89
РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОДНИКОВ КРАСНЕНСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Новых Л.Л., Гайденко Е.М., Орехова Г.А.</i>	95
ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ПАРК ПОБЕДЫ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ	
<i>Степаненко Е.Е., Зеленская Т.Г., Безгина Ю.А., Халикова В.А., Окрут С.В., Зверева О.С.</i>	100
ВЫДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН НА ТЕРРИТОРИЯХ ТРАДИЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ «БЕЛЛЁТ» И «АНАМЫ»	
<i>Филиппова В.В., Попова Д.Д.</i>	105
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	
ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ КАК ЭТАП ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ «ВОДА – ПОРОДА»	
<i>Зиппа Е.В., Пургина Д.В., Дребот В.В.</i>	115
РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-МУТНОВСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (КАМЧАТКА)	
<i>Павлова В.Ю.</i>	121

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОЛАНДШАФТОВ
 ВЕРХОВОГО БОРЕАЛЬНОГО БОЛОТА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ
 ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Селянина С.Б., Орлов А.С., Зубов И.Н. 129

ПЛЮМОВАЯ ПРИРОДА И КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
 ПРИЗНАКОВ БАЗИТОВ ЭМСА – ЭЙФЕЛЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ
 ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ

*Семиряков А.С., Гринев О.М., Бестемьянова К.В.,
 Гринев Р.О., Морозова Е.Н., Адылбаев Р.Р.* 138

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

СТАТЬИ

ПРОГНОЗ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКОЙ
 ЗОЛОТОРОССЫПНОЙ ШАХТЫ КРИОЛИТОЗОНЫ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ
 МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ
 НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПЬЮ

Курилко А.С., Соловьёв Д.Е., Киселев В.В., Алексеев К.Н. 147

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ
 ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПНЕВМОСЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ
 ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ И КРУПНОСТИ

Лебедев И.Ф. 155

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
 ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Матвеев А.И., Еремеева Н.Г., Нечаев П.Б. 160

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ
 ВОД В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЬГИНСКОГО УГОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
 (2012–2019 ГГ.)

Ноговицын Д.Д., Никулин К.В., Сергеева Л.П., Пинигин Д.Д. 168

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
 РЕЖИМОВ ОБЖИГА ОКОМКОВАННОГО РУДНОГО СЫРЬЯ,
 ОБОГАЩЕННОГО СВОБОДНЫМ УГЛЕРОДОМ

Орехов В.А., Бобков В.И., Быков А.А. 174

ИЗМЕНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧАСТИЦ ПОЛЕЗНОГО
 КОМПОНЕНТА В ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ КОНУСНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Осипов Д.А. 180

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И
 ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Пимнева Л.А. 186

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ТАЛЫХ ПОРОД В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОМ
 МАССИВЕ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Прудецкий Н.Д. 192

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1. General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

- ECOLOGICAL STUDYING THE PHENOLOGICAL AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF SWEET CORN COLLECTION VARIETIES IN LOWER VOLGA REGION CONDITIONS
Guseva S.A., Nosko O.S., Volkov D.P., Maslova G.A., Kameneva O.B.10
- THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF THE CULTURAL PHYTOCENOSSES BASED ON THE PLANTS WITH THE SPECIAL BIOLOGICAL AND ECONOMIC PROPERTIES AS THE EXAMPLE OF THE INTEGRATED BIOECOLOGICAL LAND USE
Larionov M.V., Lomov M.V.18
- YIELD OF SPRING TRITICALE AND WHEAT CROPS DURING INOCULATION OF SEEDS WITH BIOPREPARATIONS
Lebedev V.N., Kondrat S.V., Uraev G.A.25
- THE COMPOSITION OF THE GRASS TIER IN THE SANATORIUM FOREST PARK OF YEKATERINBURG WITH THE PARTICIPATION OF AN INVASIVE SPECIES *ACER NEGUNDO* L.
Tishkina E.A., Semkina L.A., Tseleva N.D.31

Agricultural sciences (4.1.6. Forestry, forestry, forest crops, agroforestry improvement, greening, forest pyrology and taxation)

ARTICLE

- MODELING OF THE PROBABLE LONGEVITY OF THE COMMON PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. IN PLANTINGS OF THE SOUTH-EAST OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA
Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.37

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

- PROBLEMS OF DEVELOPING A MECHANISM FOR CREATING AN ATLAS OF THE GEOGRAPHICAL LOCATION OF RECREATIONAL ZONES OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA
Bartsyts L.M.43
- APPLICATION OF SURFACTANTS IN WATER-BASED WETTER COMPOSITIONS TO REDUCE DUST POLLUTION IN THE AIR DURING COAL MINING AND TRANSPORTATION
Bortnikov S.V., Gorenkova G.A., Sumina A.V., Komarova O.V.48

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME
OF THE TRANSBOUNDARY TUMEN RIVER (RUSSIAN PART)

<i>Gorbatenko L.V.</i>	54
FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL WATER AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH ON THE NORTH OF WESTERN SIBERIA	
<i>Kolubaeva Yu.V., Ivanova I.S., Shirokova L.S.</i>	61
BACKGROUND SOIL-GEOCHEMICAL STUDIES IN THE STAROOSKOLSKO- GUBKINSKY MINING DISTRICT OF KURSK MAGNETIC ANOMALY	
<i>Kornilov A.G., Chendev Yu.G., Doroshenko M.V.</i>	69
SOOT EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF THE YUZHNO- KHYLCHUYSKOYE FIELD	
<i>Kotova E.I., Tufanova O.P.</i>	78
PECULIARITIES OF ZONING AND TERRITORIAL STRUCTURING OF THE SOUTH OF PRIMORSKY KRAI	
<i>Koshevaya E.S., Lebedinskaya Yu.S.</i>	83
ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF LANDSCAPES OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS ON THE EXAMPLE OF THE RESOURCE RESERVE “KUOLUMA-CHAPPANDA”	
<i>Nikolaev A.A.</i>	89
RECREATIONAL POTENTIAL OF SPRINGS OF KRASNENSKY DISTRICT OF BELGOROD REGION	
<i>Novykh L.L., Gaydenko E.M., Orekhova G.A.</i>	95
ASSESSMENT OF RECREATIONAL LOAD ON PARK POBEDY OF THE CITY OF STAVROPOL	
<i>Stepanenko E.E., Zelenskaya T.G., Bezgina Yu.A., Khalikova V.A., Okrut S.V., Zvereva O.S.</i>	100
ALLOCATION OF FUNCTIONAL ZONES IN THE TERRITORIES OF TRADITIONAL LAND USE “BELLET” AND “ANAMY”	
<i>Filippova V.V., Popova D.D.</i>	105
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	
THE THERMAL WATERS OF BAIKAL FOLD SYSTEM AS THE CERTAIN STAGE OF THE WATER-ROCK INTERACTION GEOLOGICAL EVOLUTION	
<i>Zippa E.V., Purgina D.V., Drebot V.V.</i>	115
RESULTS OF GPR RESEARCH IN THE TERRITORY OF THE NORTH- MUTNOVSKY VOLCAN-TECTONIC ZONE (KAMCHATKA)	
<i>Pavlova V.Yu.</i>	121

PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF A BOREAL BOG SITES
AT DIFFERENT STAGES OF GENETIC DEVELOPMENT

Selyanina S.B., Orlov A.S., Zubov I.N. 129

PLUME COMPONENT AND GEOCHEMICAL CONVERGENCE
FEATURES OF EMSIAN-EIFELIAN MAFIC ROCKS OF THE
NORTHEASTERN RUDNY ALTAI

*Semiryakov A.S., Grinev O.M., Bestemyanova K.V.,
Grinev R.O., Morozova E.N., Adylbaev R.R.* 138

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

ARTICLES

FORECAST OF THERMAL REGIME OF MINING WORKINGS
IN A DEEP GOLD PLACER MINE IN THE CRYOLITHOZONE
SUPPORTED WITH METAL AND COMBINED THERMAL
PROTECTIVE SPRAYED CONCRETE SUPPORT

Kurilko A.S., Solovov D.E., Kiselev V.V., Alekseev K.N. 147

THEORETICAL AND APPLIED FOUNDATIONS OF CREATION
OF CENTRIFUGAL PNEUMUS SEPARATORS FOR ENRICHMENT
OF PRECIOUS METALS BY DENSITY AND SIZE

Lebedev I.F. 155

EXPERIMENTAL WORK TO DETERMINE THE PARAMETERS
OF A LABORATORY MODEL OF A STEEPLY INCLINED CONCENTRATOR

Matveev A.I., Ereemeeva N.G., Nechaev P.B. 160

CHANGES IN THE HYDROCHEMICAL STATE OF SURFACE WATERS
IN THE AREA AFFECTED BY THE ELGA COAL COMPLEX (2012–2019)

Nogovitsyn D.D., Nikulin K.V., Sergeeva L.P., Pinigin D.D. 168

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF HIGH-TEMPERATURE
FIRING MODES OF PELLETIZED ORE RAW MATERIALS
ENRICHED WITH FREE CARBON

Orekhov V.A., Bobkov V.I., Bykov A.A. 174

CHANGE IN THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF USEFUL COMPONENT
PARTICLES IN A TWO-STAGE CONE MILL

Osipov D.A. 180

APPLICATION OF CLAY MINERALS FOR PURIFICATION
OF NATURAL AND INDUSTRIAL WASTEWATER

Pimneva L.A. 186

DETERMINATION OF AREAS OF THAWED ROCKS IN A PERMAFROST
MASSIF BASED ON GPR DATA

Fedorova L.L., Kulyandin G.A., Prudetskiy N.D. 192

СТАТЬИ

УДК 635.67/.072/.012/.015:631.95

DOI 10.17513/use.38136

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТИПОВ САХАРНОЙ КУКУРУЗЫ ПО ФЕНОЛОГИЧЕСКИМ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Гусева С.А., Носко О.С., Волков Д.П., Маслова Г.А., Каменева О.Б.

ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», Саратов, e-mail: s.guseva76@mail.ru

В статье приведены результаты трёхлетних исследований и наблюдений за сроками наступления и продолжительностью фенологических фаз, помогающих охарактеризовать генотипы по скороспелости, а также морфометрических признаков, играющих значимую роль для механизированной уборки. Экспериментальная часть работы проводилась на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2021-2023 гг. Низкий коэффициент вариации все три года опыта установлен по межфазному периоду «всходы – цветение метелки», что указывает на выравнивание сортообразцов по данному признаку, а также, в 2023 году, по периоду «всходы – цветение початка». По продолжительности периода от всходов до цветения початка в 2021 и 2022 гг. и по высоте растений в течение трёх лет опыта генотипы характеризовались средней вариабельностью, а по высоте прикрепления початка – сильной. В условиях 2023 года зафиксировали наиболее низкие показатели морфометрических признаков, а в 2022 г. – наиболее высокие. Тем не менее наибольшую их дисперсию наблюдали в условиях повышенной влажности. Изменчивость высоты растений в наименьшей степени проявлялась в сухом и теплом году, а высоты прикрепления женского соцветия – в сухом и холодном. Выявлены генотипы с относительно стабильными значениями признака в течение трёх лет опыта: по высоте растений (к-3151, к-5811, Алина, к-295, к-4472, к-4456); по высоте прикрепления початка (к-4840, к-5811, к-295). Также была установлена положительная сильная корреляция между высотой растений и высотой прикрепления початка ($r=0,93\pm 0,01$). В результате изучения в двухфакторном опыте вкладов факторов генотипа, окружающей среды и их взаимодействия в общую вариабельность признаков было установлено, что на высоту растений, а также межфазные периоды от всходов до цветения метелки и початка значимое влияние оказывал фактор года (>40%). Изменчивость высоты прикрепления женского соцветия на 43,73% находилась под воздействием фактора сорта.

Ключевые слова: сахарная кукуруза, высота растений, высота прикрепления початка, межфазный период, фактор, сорт, год, окружающая среда, коэффициент вариации

ECOLOGICAL STUDYING THE PHENOLOGICAL AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF SWEET CORN COLLECTION VARIETIES IN LOWER VOLGA REGION CONDITIONS

Guseva S.A., Nosko O.S., Volkov D.P., Maslova G.A., Kameneva O.B.

RosNIISK "Rossorgo", Saratov, e-mail: s.guseva76@mail.ru

The article presents the results of three years of research and observations on the timing and duration of phenological phases, which help characterize genotypes by early maturity, as well as morphometric characters that play a significant role for mechanized harvesting. The experimental part of the work was carried out on the experimental field of the Federal State Budgetary Institution RosNIISK "Rossorgo" in 2021-2023. A low coefficient of variation for all three years of experience was established for the interphase period "sprouting-flowering of the panicle", which indicates the uniformity of the variety samples for this trait, as well as, in 2023, for the period "sprouting-flowering of the cob". According to the duration of the period from germination to flowering of the cob in 2021 and 2022, and in terms of plant height during three years of experiment, the genotypes were characterized by medium variability, and in terms of the height of cob attachment – strong. In the conditions of 2023, the lowest indicators of morphometric characteristics were recorded, and in 2022, the highest. However, their greatest dispersion was observed under conditions of high humidity. The variability in plant height was least evident in the dry and warm year, and the height of attachment of the female inflorescence was least evident in the dry and cold year. Genotypes were identified with relatively stable trait values over three years of experiment: for plant height (k-3151, k-5811, Alina, k-295, k-4472, k-4456); according to the height of attachment of the cob (k-4840, k-5811, k-295). A positive strong correlation was also established between plant height and cob attachment height ($r=0.93\pm 0.01$). As a result of studying in a two-factor experiment the contributions of genotype, environmental factors and their interaction to the overall variability of traits, it was found that the year factor (>40%) had a significant influence on plant height, as well as interphase periods from germination to flowering of the panicle and ear. The variability in the height of attachment of the female inflorescence by 43.73% was influenced by the variety factor.

Keywords: sweet corn, plant, cob attachment height, interphase period, factor, variety, year, environment, coefficient of variation

Экологическое изучение особенно важно для молодых, с эволюционной точки зрения, мутантных форм растений (к ним относится и сахарная кукуруза – мутантная

форма зубовидной и кремнистой форм), которые подвергались отбору в значительно меньшей степени [1]. На развитие большинства количественных признаков сельскохо-

зяйственных культур в течение вегетации значимое влияние оказывают погодные условия. Растения кукурузы гораздо более чувствительны к влаге и теплу в ранний период своего развития, а также во время активного роста и цветения [2; 3].

Для определения сроков хозяйственного использования того или иного сорта (гибрида) большое практическое значение имеет изучение основных фенологических фаз. Период вегетации кукурузы обычно делят на две основные части: от всходов до выбрасывания рылец и от выбрасывания рылец до созревания. Продолжительность первого периода более изменчива. Благоприятные абiotic факторы могут сократить его, а неблагоприятные – увеличить.

Для сахарной кукурузы определяющая роль в установлении продолжительности межфазных периодов тесно связана с изменением температуры: при наблюдении её роста с 18°C до 24°C периоды укорачиваются, а в случае снижения – соответственно начинают увеличиваться [4].

Исследования ряда учёных показали, что даты наступления основных фаз в основном зависят от заложенных генетических особенностей [5; 6]. При экологическом изучении гибридов зерновой кукурузы саратовскими селекционерами был зафиксирован существенный вклад в продолжительность межфазных периодов фактора генотипа (более 50%), а различий по фактору года не выявлено [7].

Установлено, что на формирование тех или иных нужных признаков, и особенно урожайности, влияние оказывает даже срок посева: слишком ранний срок, как и поздний, приводит к значительному их снижению, что в дальнейшем крайне сложно будет исправить даже самыми современными технологическими приёмами [6; 8].

Важным направлением селекции сахарной кукурузы является также пригодность к механизированному возделыванию. Для минимизации потерь при уборке початков комбайном большое значение имеют высота растения и высота прикрепления початка. Для механизированной уборки оптимальная высота находится в пределах 150-170 см, а высота прикрепления початка – около 50 см от поверхности почвы [9]. При анализе литературных данных выявлено, что длина стебля зависит как от генетических особенностей, погодных условий, так и агротехнических приёмов. Очень ранний или поздний срок сева может привести к уменьшению высоты растений на 30 см и более [9; 10].

Считается, что высота прикрепления початка положительно коррелирует с высотой растений. Сибирские ученые при изучении инбредных линий кукурузы обнаружили сильную взаимосвязь между данными признаками ($r = 0,72$) [11]. В наших исследованиях также была установлена сильная положительная корреляция между высотой прикрепления початка генотипов и высотой растения, а также исследуемой коллекции является более изменчивым показателем, чем высота растения [12].

Согласно литературным источникам, высота прикрепления нижнего хозяйственного ценного женского соцветия зависит от биологических особенностей генотипа, однако в большей степени – от условий выращивания [13].

Целью исследования являлось изучение вариабельности межфазных периодов «всходы – цветение метёлки», «всходы – цветение початка», а также морфометрических признаков «высота растений» и «высота прикрепления початка» в зависимости от погодных условий разных лет опыта; выявление в двухфакторном полевом опыте вклада факторов генотипа, года и их взаимодействия в общую изменчивость изучаемых признаков.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть работы проводилась на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2021-2023 гг. Посев проводили во вторую декаду мая, рандомизированно, в трёхкратной повторности, с шириной междурядий 7,7 м и при густоте стояний – 55 тыс. шт./га. Предшественник – чёрный пар.

Модельная популяция сахарной кукурузы включает 48 сортообразцов коллекции различного эколого-географического происхождения, из которых 10 генотипов отечественной селекции: РССК 87-1, РССК 87-5, Забава, Цукерка, Цукерка белозёрная (отбор), Услада, Лакомка, Ранняя Лакомка, Алина, Краснодарский сахарный 250, а также 38 генотипов коллекции ВИГР им. Н.И. Вавилова: Россия (5%), США (49,2%), Канада (15%), Германия (4%), Великобритания (2%), Франция (2%), Румыния (2%).

Оценку продолжительности межфазных периодов (всходы – цветение метёлки и всходы – цветение початка) и морфометрических признаков (высота растений, высота прикрепления початка) выполняли согласно «Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [14].

При изучении изменчивости межфазных периодов от всходов до цветения метелки и початка, а также высоты растений и высоты прикрепления початка (признака, определяющего качество механической уборки) сахарной кукурузы в течение трех лет опыта (2021-2023 гг.) оценивали их основные параметры. Среднее квадратическое отклонение, дисперсия и коэффициент вариации указывают на вариабельность и различную потенциальную возможность изучаемых генотипов.

Статистическую обработку экспериментального материала выполняли в соответствии с методическими указаниями в обработке Доспехова Б.А. [15]. Для оценки влияния факторов генотипа и окружающей среды на изменчивость признаков был проведен двухфакторный анализ, при этом генотип (сорт) учитывался как фактор А, год – фактор В, их взаимодействие – АВ.

Результаты исследования и их обсуждение

Наблюдения за сроками наступления и продолжительности фенологических фаз, помогающих охарактеризовать генотипы по скороспелости, с целью их дальнейшего отбора для селекции линий, гибридов и сортов в условиях определенного региона, всегда имели большое значение как для научных целей, так и для производственных.

Низкая дисперсия признака указывает, что коллекционные образцы мало реагируют на колебания условий выращивания его изменением. Высокий коэффициент вариации означает, что между отдельными образцами существует значимая разница, которую следует оценить более подробно, а низкий коэффициент ($V < 10\%$) обозначает выравнивание генотипов по данному показателю.

В годы исследований, в период интенсивного роста и заложения репродуктивных органов среднее количество осадков в мае 2021 и 2022 гг. составило 17,8 и 18,3 мм, а в июне 2,0 и 11,7 мм, а средняя температура воздуха – 20,4 и 20,8°C; 11,7 и 13,0°C соответственно. То есть в июне 2021 г. отмечены малое количество осадков и оптимальная температура воздуха, а в 2022 г. невысокая температура сочеталась с относительно большим для данной зоны количеством осадков. Погодные условия начала вегетации 2023 г. характеризовались как относительно холодные и засушливые. Средняя температура мая и июня составила 14°C, также отмечались резкие её перепады. Осадки

в июне 2023 г. стали выпадать лишь в конце месяца. В результате было зафиксировано удлинение периода цветения до 10 суток и более. Кроме того, у некоторых образцов значительно увеличился промежуток между цветением метелки и початка и в отдельных случаях составил более 20 суток. То есть низкие температуры воздуха в сочетании с небольшим количеством осадков наиболее сильно повлияли на продолжительность периода «всходы – цветение».

Распределение выборки по признаку «всходы – цветение метелки» все три года отличалось от нормального (табл. 1). В 2021 и 2022 годах варьирование значений составило 39,15...54,15 и 40,00...55,00 суток. В 2023 г. межфазный период сдвинулся примерно на десять и более суток, а крайние показатели составили 48,33...65,00 суток.

В результате анализа продолжительности межфазных периодов «всходы – цветение метелки» и «всходы – цветение початка» в 2021 и 2022 годах была отмечена их идентичность (табл. 1, рис. 1). Коэффициент вариации времени от всходов до появления пыльцы в течение трёх лет был низким, т.е. сильных различий между образцами по данному признаку не наблюдалось. Дисперсия периода в 2023 г. увеличилась по сравнению с предыдущими годами. У межфазного периода «всходы – цветение початка» в 2021 и 2022 гг. установлен средний коэффициент вариации, а в 2023 г. – слабый, дисперсия в условиях этого года снизилась в сравнении с предыдущими.

В 2021 и 2022 годах по периоду от всходов до цветения початка показатели были значимо удалены от средней величины, лимиты средних значений составили: $\min = 42,17$, $\max = 61,17$ и $\min = 42,00$, $\max = 61,00$ сут. соответственно. В условиях 2023 года генотипы оказались более выровненными, показатели дисперсии и коэффициента вариации снизились, основное количество показателей находилось в пределах 67,34...75,66 суток. У ряда генотипов значительно увеличился промежуток между цветением метелки и появлением нитей рылец: Лакомка, Краснодарский сахарный 250, к-4472, к-4472 (I2), к-13804. Практически все сортообразцы значимо реагировали на фактор года, тем не менее среди них были выявлены наименее подверженные условиям окружающей среды: Алина. к-4593, Цукерка, Забава, РССК 87-5. Образец к-12631, отмеченный как раннеспелый в 2021 и 2022 гг., в 2023 г. зафиксирован как позднеспелый.

Таблица 1

Статистические параметры коллекционных образцов сахарной кукурузы по фенологическим признакам, 2021-2023 гг.

Параметр	Всходы – цветение метелки, сут.			Всходы – цветение початка, сут.		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Среднее	47,00	48,65	57,94	53,57	53,40	64,58
F _{факт}	4972,33*	4733,24*	195,09*	1497,01*	1411,51*	153,88*
HCP ₀₅	0,17	0,18	3,79	0,13	0,19	1,16
Дисперсия, s ²	17,64	17,53	21,85	32,67	31,60	26,46
Станд. откл., s	4,2	4,5	4,68	5,72	5,71	5,14
Ошибка средней, sx	0,60	0,63	0,68	0,83	0,82	0,74
Коэфф-т вариации, V	8,79	8,58	8,07	10,67	10,80	7,97
Мода, Mo	50,15	51,00	62,00	50,15	54,00	69,33
Медиана, Me	50,15	51,00	58,00	50,15	55,00	65,67
Коэфф-т асимметрии, As	-0,72*	-0,70*	-0,41 ns	-0,55 ns	-0,55 ns	-0,51 ns
Коэфф-т эксцесса, Ex	-0,61 ns	-0,65 ns	-0,81*	-0,80 ns	-0,78 ns	-0,34 ns
χ-квадрат	20,14	24,15	6,29	14,73	13,68	1,60
Мин.	39,15	40,00	48,33	42,17	42,00	52,67
Макс.	54,15	55,00	65,00	61,17	61,00	74,67

Примечания: критическое значение χ-квадрата для уровня значимости 0,05 равно 5,99 (здесь и далее); * – значимо на 5% уровне (здесь и далее).

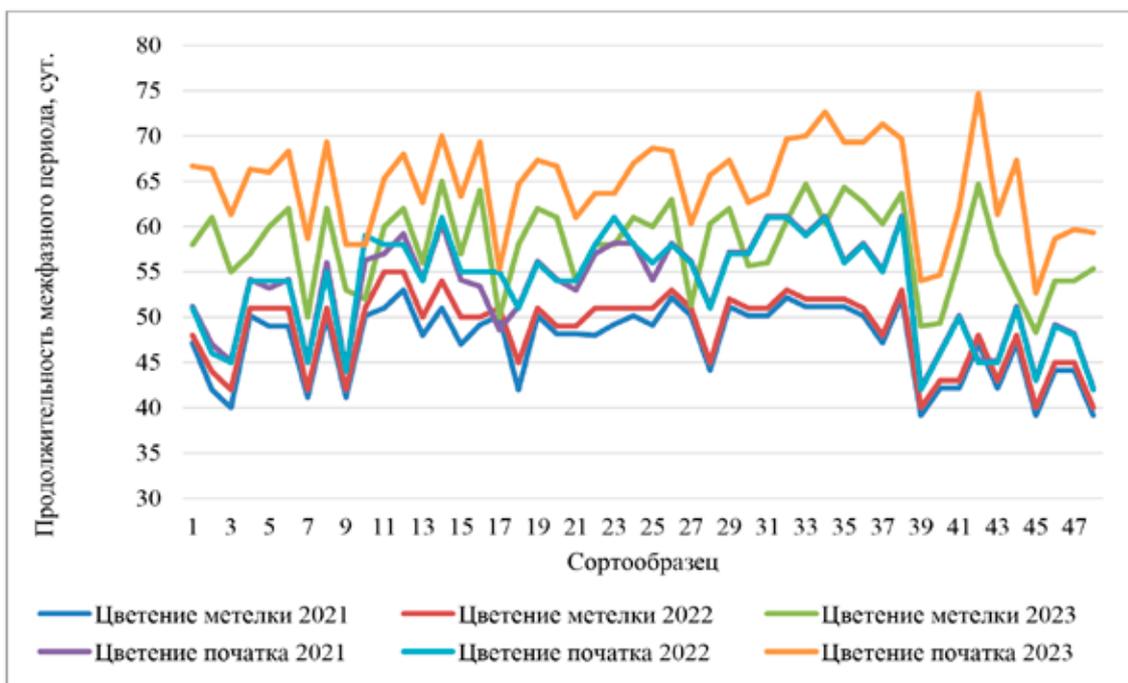


Рис. 1. Оценка межфазных периодов от всходов до цветения метелки и початка сортообразцов коллекционного питомника сахарной кукурузы, 2021-2023 гг.

Примечание: 1.к-3151, 2.к-1585, 3.к-4411, 4.к-4466, 5.к-5768, 6.к-23867, 7.Алина, 8.к-295, 9.к-1115, 10.к-4455, 11.к-4468, 12.к-4471, 13.к-4475, 14.к-4593, 15.к-4604, 16.к-5653, 17.к-5811, 18.к-1976, 19.Забава, 20.Цукерка, 21.Цукерка белозерная (отбор), 22.Услада, 23.Лакомка, 24.Ранняя Лакомка, 25.Краснодарский сахарный 250, 26.к-103, 27.к-104, 28.к-291, 29.к-4452 (I1), 30.к-4442, 31.к-4444, 32.к-4452, 33.к-4456, 34.к-4472, 35.к-295, 36.к-4840, 37.к-4472 (I2), 38.к-5467, 39.к-5691, 40.к-5819, 41.к-5835, 42.к-12631, 43.к-12831, 44.к-13804, 45.РССК 87-5, 46.к-13807, 47.к-23261, 48.РССК 87-1.

Таблица 2

Статистические параметры коллекционных образцов сахарной кукурузы по морфометрическим признакам, 2021-2023 гг.

Параметр	Высота растений, см			Высота крепления початка, см		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Среднее	141,11	164,94	125,36	35,56	43,98	27,35
F _{факт}	18,06*	25,52*	44,05*	19,84*	29,22*	52,41*
НСР ₀₅	10,06	12,50	7,64	5,66	6,57	2,73
Дисперсия	232,01	506,57	290,84	80,60	160,27	47,35
Станд. откл.	15,23	22,51	17,05	8,98	12,66	6,88
Ошибка средней	2,20	3,25	2,46	1,30	1,83	0,99
Коэфф-т вариации, V	10,79	13,65	13,81	25,25	28,79	25,16
Мода, Mo	119,5	-	115,46	-	-	22,16
Медиана, Me	142,55	166,02	118,00	36,93	46,52	26,78
Коэфф-т асимметрии, As	-0,36 ns	-0,29 ns	0,06 ns	-0,40 ns	-0,49 ns	0,39 ns
Коэфф-т эксцесса, Ex	-0,40 ns	-0,52 ns	-0,28 ns	-0,52 ns	-0,33 ns	-0,13 ns
χ-квадрат	3,01	5,06	5,31	4,79	6,12	1,89
Мин.	103,87	111,28	79,75	15,00	14,32	11,66
Макс.	168,60	201,73	158,35	53,57	66,12	43,36

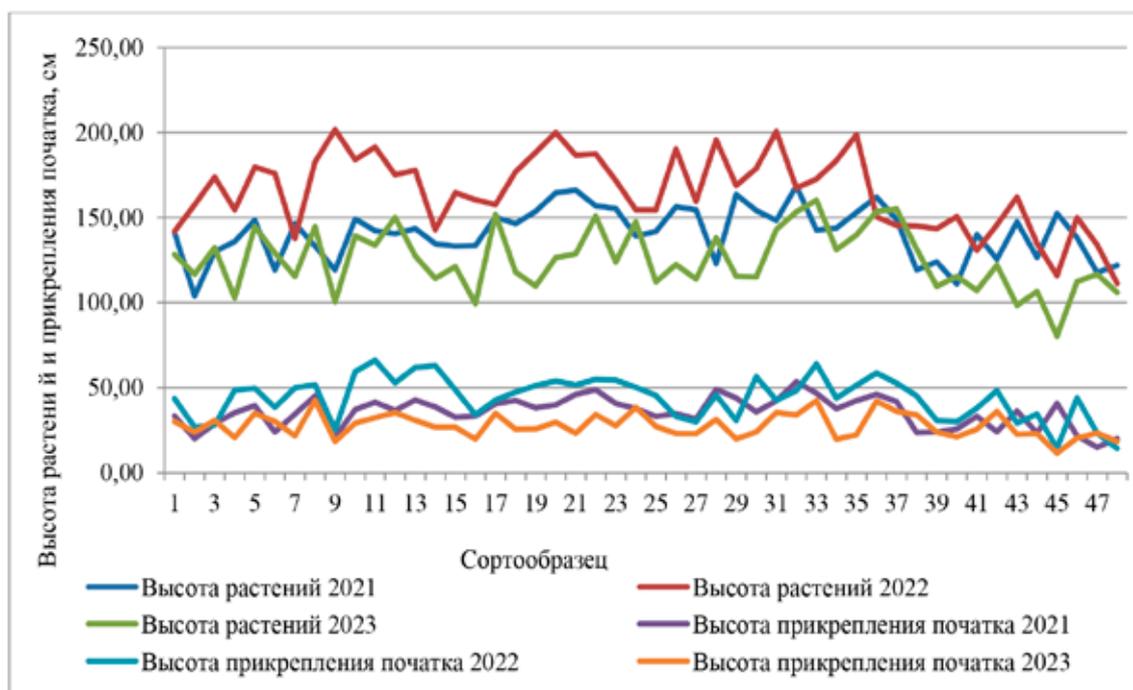


Рис. 2. Оценка высоты растений и высоты прикрепления початка сортообразцов коллекционного питомника сахарной кукурузы, 2021-2023 гг.

Примечание: 1.к-3151, 2.к-1585, 3.к-4411, 4.к-4466, 5.к-5768, 6.к-23867, 7.Алина, 8.к-295, 9.к-1115, 10.к-4455, 11.к-4468, 12.к-4471, 13.к-4475, 14.к-4593, 15.к-4604, 16.к-5653, 17.к-5811, 18.к-1976, 19.Забавка, 20.Цукерка, 21.Цукерка белозерная (отбор), 22.Услава, 23.Лакомка, 24.Ранняя Лакомка, 25.Краснодарский сахарный 250, 26.к-103, 27.к-104, 28.к-291, 29.к-4452 (I1), 30.к-4442, 31.к-4444, 32.к-4452, 33.к-4456, 34.к-4472, 35.к-295, 36.к-4840, 37.к-4472 (I2), 38.к-5467, 39.к-5691, 40.к-5819, 41.к-5835, 42.к-12631, 43.к-12831, 44.к-13804, 45.РССК 87-5, 46.к-13807, 47.к-23261, 48.РССК 87-1.

Морфометрические признаки сахарной кукурузы также значимо варьировали по годам. В условиях дефицита тепла и влаги 2023 года растения оказались низкорослыми с низким прикреплением початка, а при повышенной влажности 2022 г. – наоборот (табл. 2). В течение трёх лет опыта по высоте растений выявлен средний коэффициент вариации, а по высоте прикрепления продуктивного початка – высокий. Тем не менее наибольшую дисперсию у обоих признаков наблюдали в условиях повышенной влажности. Изменчивость высоты растений в наименьшей степени проявлялась в засушливом и теплом году, а высоты прикрепления женского соцветия – в засушливом и холодном.

Экстремумы средних значений высоты растений сахарной кукурузы составили по годам: 2021 г.: min = 103,87 см, max = 168,60 см; 2022 г.: min = 111,28 см, max = 201,73 см; 2023 г.: min = 79,75 см, max = 158,35 см, а высоты прикрепления початка: 2021 г.: min = 15,00 см, max = 53,57 см; 2022 г.: min = 14,32 см, max = 66,12 см; 2023 г.: min = 11,66 см, max = 43,36 см (рис. 2). Выявлены генотипы со стабильными признаками в течение трёх лет исследования по высоте растений: к-3151, к-5811, Алина, к-295, к-4472, к-4456; по высоте прикрепления початка: к-4840, к-5811, к-295.

Распределение выборки морфометрических признаков по критерию согласия Пирсона определялось как нормальное, кроме высоты прикрепления початка в 2022 году.

По данным литературных источников, в том числе и результатов наших исследований, была установлена сильная по-

ложительная взаимосвязь между высотой прикрепления початка и высотой растений. Для подтверждения или отрицания данных сведений был проведен расчет коэффициента корреляции и корреляционного отношения между этими признаками в среднем за три года и были получены следующие результаты: $r = \eta = 0,84 \pm 0,01$ (где r – коэффициент корреляции, η – корреляционное отношение; равенство между ними указывает на линейную связь). Распределение выборки в среднем за три года опыта – нормальное (χ -квадрат = 5,66 и 3,00). Проверку значимости коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha=5\%$ проводили по формуле:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = 10,56,$$

где t – критерий Стьюдента, r – коэффициент корреляции, n – объем выборки. Критическое значение распределения $t = 2,02 < 10,56$, нулевая гипотеза отвергается. По результатам регрессионного анализа видно, что при увеличении высоты растений на 1 см высота крепления початка увеличивается на 0,34 см (рис. 3).

В целях выявления силы влияния факторов генотипа, года, а также их взаимодействия на изменчивость признака был проведен дисперсионный анализ двухфакторного опыта. Влияние факторов соответствует доле факториальной вариации в общей изменчивости, и в нашем опыте их вклад различался по признакам. Проведенные расчеты выявили значимые различия между факторами сорта, года и их взаимодействием (табл. 3).

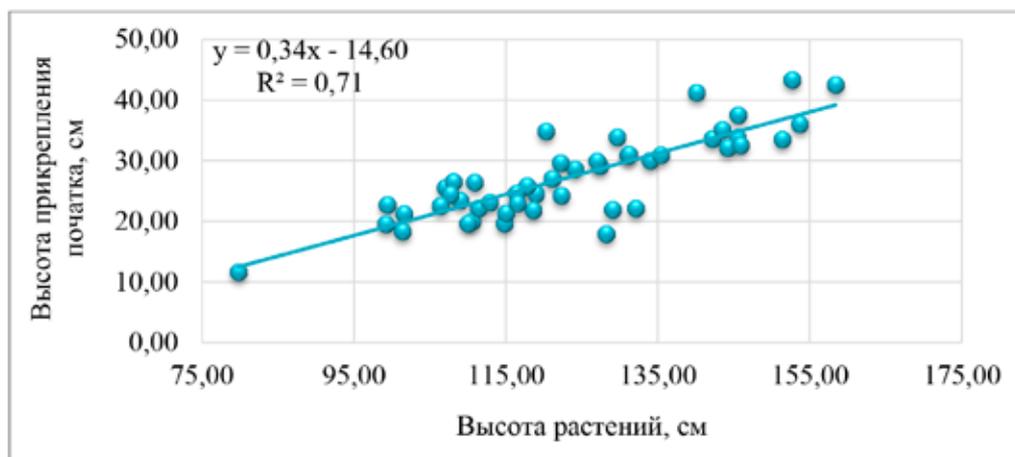


Рис. 3. График линейной корреляции высоты прикрепления початка и высоты растений, 2021-2023 гг.

Таблица 3

Результаты двухфакторного анализа коллекционных сортообразцов сахарной кукурузы по фенологическим и морфометрическим признакам, 2021-2023 гг.

Параметр		Всходы – цветение метелки	Всходы – цветение початка	Высота растений	Высота прикрепления початка
Фактор А	$F_{\text{факт.}}$	136,062*	521,13*	40,40*	54,16*
	HCP_{05}	0,94	0,60	6,11	3,05
Фактор В	$F_{\text{факт.}}$	4451,27*	13963,58*	1317,58*	870,36*
	HCP_{05}	0,24	0,15	1,52	0,76
Фактор АВ	$F_{\text{факт.}}$	15,46*	63,48*	16,62*	13,27*
	HCP_{05}	1,63	1,05	10,57	5,28

Примечание: * – $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$.

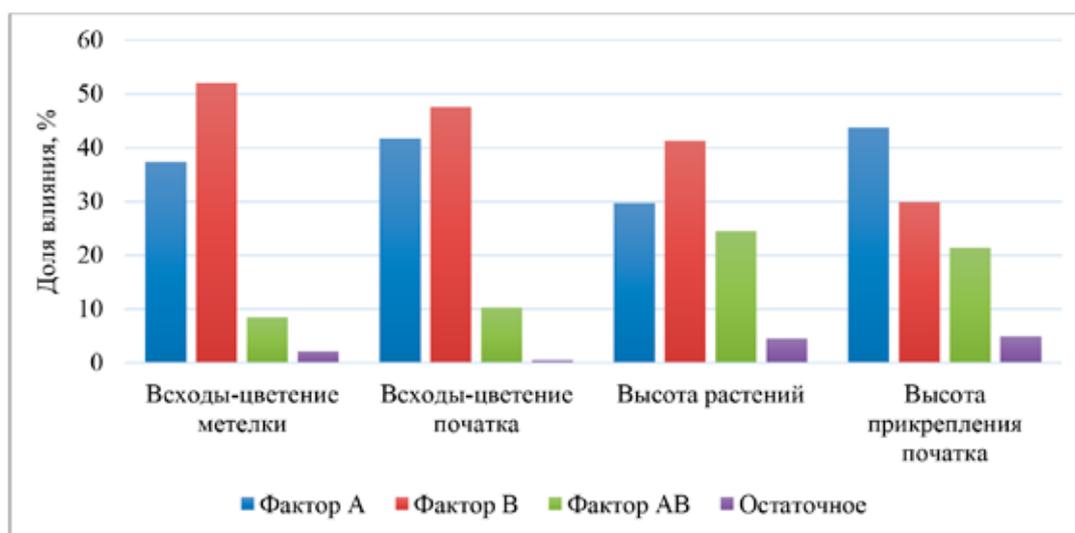


Рис. 4. Влияние факторов генотипа, года, их взаимодействия и остаточного на изменчивость межфазных периодов «всходы – цветение метелки», «всходы – цветение початка», а также морфометрических признаков «высота растений» и «высота прикрепления початка», 2021-2023 гг.

Было установлено, что наибольший вклад в вариабельность изучаемых признаков, кроме высоты прикрепления початка, внёс фактор окружающей среды (рис. 4). При этом на изменчивость межфазного периода «всходы – цветение метелки» его воздействие составило 52%, «всходы – цветение початка» – 47,54%, изменчивость высоты растений – 41,27%, а высоты прикрепления початка – 29,91%.

Фактором генотипа в наибольшей степени определялась вариабельность высоты прикрепления початка – 43,73%, а в наименьшей – высоты растений – 29,73%, а также периодов: от всходов до цветения метелки – 37,35%, до цветения початка – 41,69%.

Доля влияния взаимодействия генотипа и окружающей среды на изменчивость

признаков не превысила 25% и составила: «всходы – цветение метелки» – 8,49%, «всходы – цветение початка» – 10,28%, высота растений и прикрепления початка – 24,47 и 21,44% соответственно.

Наименьший вклад оказал неучтенный фактор (остаточное), а его максимальное влияние отметили у признака «высота прикрепления початка».

При изучении литературных источников было отмечено, что на изменчивость периодов от всходов до цветения метелки и початка фактор года не оказывал влияния и был незначим. По результатам нашего опыта было установлено, что эти признаки варьируют под воздействием фактора года и сорта, а их взаимодействие вносит существенный вклад в дисперсию.

Таблица 4

Множественные сравнения частных средних по фактору В, 2021-2023 гг.

Признак	Среднее по годам		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всходы – цветение метелки	47,79a	48,65b	57,95c
Всходы – цветение початка	53,57a	53,40a	64,58b
Высота растений	141,11b	164,94c	125,36a
Высота прикрепления початка	35,56b	43,98c	27,82a

Примечания: варианты, сопровождаемые разными латинскими буквами, различаются по критерию Дункана.

Сравнение частных средних для фактора года по критерию Дункана также позволило выявить значимые различия (табл. 4).

Заключение

По признаку «всходы – цветение метелки» выявили слабую изменчивость сортообразцов сахарной кукурузы, а по продолжительности периода до цветения початка – среднюю изменчивость в 2021 и 2022 гг. и соответственно слабую – в 2023 г. Тем не менее эти признаки значимо варьировали по годам, под влиянием окружающей среды. Выявили среднюю вариабельность высоты растений и соответственно высокую в параметре высоты прикрепления початка.

В результате расчетов двухфакторного опыта было установлено, что на изменчивость изучаемых признаков, кроме высоты прикрепления початка, наиболее значимое воздействие оказывал фактор года. Выявили, что наибольшее влияние на варьирование высоты прикрепления початка оказывает фактор генотипа. Также было отмечено, что этот признак сильно коррелирует с общей высотой растений ($r = 0,84$), поэтому его селекцию следует вести с учетом этих особенностей.

Выявлены генотипы, наименее подверженные условиям окружающей среды по фенологическим признакам: Алина, к-4593, Цукерка, Забава, РССК 87-5, а также морфометрическим: по высоте растений – к-3151, к-5811, Алина, к-295, к-4472, к-4456; по высоте прикрепления початка – к-4840, к-5811, к-295.

Список литературы

1. Гончаренко А.А. Об экологической пластичности и стабильности урожайности сортов зерновых культур // Пути повышения устойчивости сельскохозяйственного производства в современных условиях: материалы Всерос. научно-практ. конф. Орел, 2005. С. 46-56.
2. Клочков А.В., Соломко О.Б., Клочкова О.С. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник БГСХА. 2019. № 2. С. 101-105.

3. Титов В.Н., Бочкарева Ю.В., Болотова О.И. Урожайность гибридного материала кукурузы // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5 (119). С. 86-89. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.015.

4. Панфилова О.Н., Чугунова Ю.А., Панфилова О.Н., Авилова Е.В. Кукуруза на зерно на богаре и орошении в Волгоградской области // Кукуруза и сорго. 2021. № 2. С. 12-16.

5. Шогенов Ю.М., Шибзухов З.-Г.С., Уянаева З.Э. Влияние уровня минерального питания на урожайность гибридов кукурузы в условиях КБР // Технологии, инструменты и механизмы инновационного развития: материалы международной научно-практической конференции. Самара: НИЦ «Поволжская научная корпорация», 2017. С. 194-197.

6. Ezaov A., Shibzukhov Z.-G., Beslaneev B. et al. Prospects and technology of cultivation of organic vegetable production on open ground in southern Russia conditions // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 222. DOI: 10.1051/e3sconf/202022202003.

7. Зайцев С.А., Волков Д.П., Гудова Л.А., Жужукин В.И. Экологическое изучение гибридов кукурузы в степной зоне Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 13-17. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp13-17.

8. Сидельникова Н.А., Смирнова В.В. Влияние различных условий выращивания на формирование ассимиляционной поверхности кукурузы // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 310-314.

9. Бойко В.Н., Хатевов Э.Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182 (4). С. 27-35.

10. Чилашвили И.М. Оценка нового исходного материала для селекции ранних и среднеранних гибридов кукурузы. Краснодар, 2016. 151 с.

11. Ильин В.С., Гетц Г.В., Губин С.В., Логинова А.М. Изучение корреляционных связей между основными хозяйственно полезными признаками у инбредных линий кукурузы омской селекции // Успехи современного естествознания. 2016. № 11-1. С. 43-48.

12. Гусева С.А., Башинская О.С., Носко О.С., Бычкова В.В., Ерохина А.В. Использование биометрических методов для оценки модельной популяции сахарной кукурузы // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 8 (28). DOI: 10.23649/jae.2022.28.8.006.

13. Гуляничкин А.В., Варламова И.Н., Варламов Д.В. Оценка экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы // Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Белгород, 2016. С. 265-271.

14. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. председателя Госкомиссии по испытанию с.-х. культур при МСХ СССР, доктора с.-х. наук М.А.Федина. М.: 1983, Вып. 3.

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

УДК [633.31+631.1/.527.6]:574.3/.4:911.52
DOI 10.17513/use.38137

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ОСНОВЕ РАСТЕНИЙ С ОСОБЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ И ХОЗЯЙСТВЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРА ОМПЛКСНОГО БИОЭКОЛОГИЗИРОВАННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

¹Ларионов М.В., ²Ломов М.В.

¹ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»,
Москва, e-mail: m.larionow2014@yandex.ru;

²ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В.П. Вильямса»,
Лобня, e-mail: lomoffmix@mail.ru

Экологическая устойчивость культурных фитоценозов основывается прежде всего на биологических и экологических признаках определенных представителей растений. В случае с кормовыми угодьями ценозообразователями являются кормовые растения с требуемыми хозяйственными свойствами. Их биологические и экологические качества определяют структурные и хозяйственно-функциональные параметры таких фитоценозов. Многие эколого-ботанические сведения о строении и образе жизни растений кормового и почвозащитного назначения важны в понимании и модернизации механизмов управления культурными экогеосистемами и ландшафтами. Указывается, что равнинные территории России являются базой для культурного растениеводства. Кормовое растениеводство также во многом ориентируется на относительно выравненные территории. Объясняется это большей пригодностью агротехнических приемов по обработке почв на таких территориях. В нашем случае рассматривается ряд биологических и экологических характеристик культурных растений на примере сортов и гибридов люцерны в условиях центрально-европейской части страны, в умеренном климате. Огромное лимитирующее воздействие оказывают метеорологические факторы в холодный период. Зимостойкость растений в данных ландшафтно-климатических условиях является одним из базовых компонентов формируемого экологического спектра на уровне вида, сорта и гибрида. Анализируются показатели экологической толерантности к комплексу агрессивных факторов холодного периода на примере представителей люцерны. Также рассмотрены обобщенные результаты выполненного фенологического мониторинга. Приведены сроки основных фенофаз. Они показывают на групповой характер развития исследованных представителей люцерны на ранних стадиях в течение вегетации: от отрастания побегов из зон купчения до периода массового цветения. Особое значение представляет вырабатываемая сортами и гибридами люцерны устойчивость к скашиванию. Это показывают результаты. Также большое экологическое значение фитоценозов на основе люцерны изменчивой заключено в депонировании углерода в собственной фитомассе и почвах, в восстановлении и охране почв и ландшафтов на фоне неблагоприятных метеоролого-климатических и антропогенных факторов.

Ключевые слова: биологические и экологические признаки растений, культурные фитоценозы, хозяйственные свойства фитоценозов, зимостойкость растений, фенологический мониторинг, экологическая устойчивость растений и фитоценозов, люцерна, органическое (биоэкологическое) землепользование

THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF THE CULTURAL PHYTOCENOSES BASED ON THE PLANTS WITH THE SPECIAL BIOLOGICAL AND ECONOMIC PROPERTIES AS THE EXAMPLE OF THE INTEGRATED BIOECOLOGICAL LAND USE

¹Larionov M.V., ²Lomov M.V.

¹Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow,
e-mail: m.larionow2014@yandex.ru;

²Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Lobnya,
e-mail: lomoffmix@mail.ru

The ecological sustainability of the cultural phytocenoses is based primarily on the biological and ecological characteristics of the certain plant representatives. In the case of fodder lands, fodder plants with the required economic properties are respectively the cenose generators. Their biological and ecological qualities determine the structural and economic-functional parameters of such phytocenoses. Many ecological and botanical information about the structure and lifestyle of the fodder and soil protection plants are of the great importance in understanding and modernizing the mechanisms for managing cultural ecogeosystems and landscapes. It is indicated that the flat territories of Russia are the base for cultural crop production. Forage crop production is also largely focused on the relatively leveled areas. This is explained by the greater suitability of the agricultural practices for tillage in such areas. In our case, the number of the biological and environmental characteristics of the cultivated plants are taken into account an example of alfalfa varieties and hybrids in the Central European part of the country, in the temperate climate. The meteorological factors in the cold period have of the huge limiting effect. Winter hardiness of the plants in these landscape and climatic conditions is one of the basic components of the ecological spectrum being formed at the level of species, variety and hybrid. The indicators of the ecological tolerance to the complex of the aggressive factors of the cold period are analyzed on the example of the representatives of the alfalfa. The generalized results

of the performed phenological monitoring are also considered. The terms of the main phenophases are given. They show the group nature of the development of the studied representatives of the alfalfa in the early stages during the growing season: from the growth of shoots from the tillering zones to the period of the mass flowering. Of particular importance is the resistance to mowing developed by varieties and hybrids of the alfalfa. The results show this. Also, the great ecological significance of the phytocenoses based on the alfalfa lies in the deposition of carbon in their own phytomass and soils, in the restoration and protection of the soils and landscapes against the background of the unfavorable meteorological, climatic and anthropogenic factors.

Keywords: biological and ecological characteristics of the plants, cultural phytocenoses, economic properties of the phytocenoses, winter hardiness of plants, phenological monitoring, ecological sustainability of the plants and phytocenoses, alfalfa, organic (bioecological) land use

В России сегодня, как и в прошлом, равнинные территории играют первостепенную роль в обеспечении почвенно-земельными ресурсами. Преимущественно равнинные территории служили базисом для земледелия, как в Европейской России, так и в иных районах страны. Это объясняется удобством освоения и обработки земель, максимальной применимостью нормативно-административных мер по территориальному планированию, землеустроительным работам, ведению реестров земель и агрохозяйственных угодий, соответствующему агрохозяйственному зонированию, ирригации, мелиорации, рекультивации, подведению связующих путей транспортно-логистического сообщения и т.п.

Разнообразие погодно-климатических, ландшафтных и экогеосистемных условий на территории России, в том числе в ее центрально-европейской части, позволяет строить и воплощать в жизнь многообразные проекты по планированию и контролю землепользования на значительных площадях. Во многом полезно, если планирование в системе управления и регулирования землепользованием будет ориентироваться на естественный природно-ресурсный базис, основные тренды в ландшафтно-экологической и в метеоролого-климатической динамике, средневзвешенный фон лимитирующих экологических факторов, характер растительности и непосредственно на биоэкологизацию самого земледелия. Ведь многообразные процессы в ландшафтах и экогеосистемах определяют почвообразование и, следовательно, естественные возможности природно-территориальных и природно-хозяйственных (эксплуатационных и учебно-опытных полей, огородов, садов, лесополос, сельскохозяйственных лесов, эколого-защитных, декоративных и плодово-ягодных дендрологических питомников и т.п.) комплексов на землях сельскохозяйственного и иного назначения, на которых предусмотрена сельскохозяйственная деятельность.

Кроме того, территория России в совокупности в настоящее время рассматривается в качестве определенного естественного базиса для охраны и воспроизводства ресурсов биомов и экогеосистем межрегионального и даже глобального масштабов. Об этом определенно свидетельствуют физико-географические характеристики и историческая память народа о развитии нашей страны в разные временные эпохи. Земля и земледелие, в общем, всегда имели решающее значение в обеспечении жизненных потребностей местного населения.

В прошлом, в настоящем и в будущем сельскохозяйственные земли представляют стратегическую ресурсно-экологическую базу и будут являться таковой для обеспечения продовольственной безопасности России. Ввиду ожесточения санкционного давления извне обеспечение продовольственной (для населения), экологической (по отношению к почвам, ландшафтам и агроэкосистемам) и санитарно-гигиенической (применительно к пищевому и кормовому сырью сельскохозяйственного производства) безопасности выходит на первый план. Качество почвенно-земельных ресурсов и, соответственно, санитарно-гигиенические и хозяйственно ценные характеристики возделываемых на них сельскохозяйственных растений тесно взаимосвязаны. Поэтому актуальным является вопрос о создании таких условий, чтобы почвенно-земельные ресурсы сохраняли и продуцировали свои экокачества.

Накопленный практический и научный опыт кормового, пищевого, технического и почвозащитного растениеводства указывает на целесообразность искусственного отбора растений для решения многих хозяйственных задач. В частности, растениеводство применительно к кормовым культурам ориентировано на повышение эффективности землепользования на принципах органического земледелия – устойчивого экохозяйствования. Целенаправленный отбор сортов и гибридов с требуемыми биологическими, экологическими и хозяйственными свой-

ствами позволяет повысить эффективность растениеводства при снижении трудовых и материальных затрат, а также затрат на посадочный материал, агротехнику и т.д. В данном случае именно биоэкологизация на базе такого отбора решает задачи сельскохозяйственного растениеводства. Вопрос раскрывается применительно к сортам и гибридам люцерны – уникальной бобовой культуры для многих ландшафтов России [1].

Важно отметить, что люцерна представляет уникальный ботанический объект и достаточно молодую культуру для агроландшафтов нечерноземной зоны России [2]. Эта культура еще недостаточно изучена, особенно в вопросе экологической толерантности к лимитирующим метеоклиматическим явлениям, к интенсивности потребления кормовых ресурсов, к антропогенно-экологическим факторам и к другим неблагоприятным процессам.

Селекция и тщательный отбор растений для создания культурных фитоценозов с высокими качествами биоэкологической устойчивости и биолого-хозяйственной продуктивности позволяет решать многие насущные задачи. В частности, дикорастущие и подвергнутые планомерному искусственному отбору представители рода люцерны призваны обеспечить, с одной стороны, высокие характеристики культурности самих агрогеоэкосистем. С другой стороны, такие управляемые на основе уникальности биологических и экологических признаков фитоценозы позволяют обеспечить экологическую стабильность и необходимый хозяйственно-ресурсный функционал земель практически на различных территориях. Для современного времени это актуально и важно.

Для исследований возможности применения в кормовом растениеводстве использованы люцерна изменчивая (*Medicago varia* Mart.), люцерна желтая (*M. falcata* L.) и др. представители люцерны. В работе отражены результаты по *M. varia* Mart.

Цель работы состояла в изучении и комплексной оценке биологических, экологических и хозяйственных свойств растений люцерны как базовой культуры для формирования устойчивых фитоценозов с уникальными экологическими и хозяйственными качествами.

Материалы и методы исследования

Для исследований и наблюдений использован исходный материал из генофонда ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». В качестве стандарта выбран сорт люцерны, создан-

ный в этой организации. Полевые наблюдения и вегетационные опыты проведены с использованием общепринятых методов и приемов [1, 2]. Выполнены наблюдения и эколого-ботанические описания, фенологические исследования применительно к люцерне изменчивой и люцерне желтой в качестве перспективного материала для создания культурных фитоценозов с разнообразными ландшафтно-экологическими и хозяйственными признаками. Исследования и анализ результатов приурочены к дерново-подзолистым почвам российской Нечерноземья.

Морфологически кусты люцерны могут иметь существенные различия. Это связано с существенным варьированием особенностей экологии, строения, физиологии, биохимии и самого жизненного цикла у особей этой культуры. Особи данной культуры способны с существенной вариабельности биологических параметров, включительно с существенными отличиями кушения. Особое значение имеют коронка – зона кушения, а также особенности корневой системы. Морфо-анатомические особенности коронки определяют жизнеспособность, фенодаты и специфику развития растений люцерны, с учетом ее специфичных видовых и сортовых признаков. Именно от способности возобновления надземной фитомассы из зоны кушения зависят ботанико-экологические и многие хозяйственные признаки люцерны. От жизненного цикла, общего состояния и устойчивости растений люцерны зависят биозащитные и фитомелиоративные качества ее видов, сортов и гибридов для почв и ландшафтов.

Показана ранее [3–5] экспериментально перспективность гибридов люцерны. Они демонстрируют [5–7] явно лучшие в разных условиях вегетативные и генеративные признаки.

При этом некоторые лимитирующие экологические факторы могут оказывать воздействие на процесс возобновления надземной фитомассы и в целом на развитие растений люцерны. В Нечерноземье одним из ведущих совокупных лимитирующих факторов являются неблагоприятные и агрессивные условия русской зимы и всего холодного периода года [8]. Комплексная способность растений противостоять таким факторам именуется зимостойкостью [9–11]. Именно опасность агрессивных проявлений погоды наиболее ярко проявляется в течение всей зимы и также ранней весной [12, 13].

Как раз размеры и форма розетки стеблей являются наглядным диагностическим признаком биоэкологической устойчивости растений люцерны к неблагоприятным факторам холодного периода (зимы, ранней весны, осени). В весенние периоды и при скашивании в осенние периоды, в частности, развиваются розетки стеблей с укороченными междоузлиями. Малоустойчивые и неустойчивые к неблагоприятным метеоролого-климатическим факторам у сортоотипов синей люцерны розетки формируются в основном прямостоячие. Указывались некоторые сведения ранее, что люцерна изменчивая и люцерна серповидная благодаря особенностям строения их зон кущения характеризуются высокой устойчивостью [14].

Большое значение также имеет форма куста, форма розеток в осенние периоды, а также глубина кущения и особенности прохождения фенофаз развития в весенние периоды (то есть во время наиболее интенсивной вегетации и формирования биомассы растений). В совокупности приведенные и другие биологические и экологические особенности строения и развития определяют экологическую толерантность люцерны к неблагоприятным факторам холодных периодов жизни и к другим лимитирующим условиям (отношение к условиям почвенного увлажнения, питательным веществам и иным агрогеохимическим характеристикам почв, почвенной флоре и фауне, морфологическим качествам почв, параметрам освещенности, фотопериодизму, болезням, сорным растениям, животным-вредителям и др.), а также во временные диапазоны между укосами. Как правило, растения люцерны с образующими прямостоячими кустами отчетливо обладают самым скорым ростом и, соответственно, большей интенсивностью развития надземной биомассы. При этом зимостойкость у растений люцерны с прямостоячими кустами, как показали исследования ряда авторов, оказывалась либо среднего уровня, либо низкого уровня. Наоборот, также указано и на высокий диапазон экологической толерантности к комплексу факторов холодного периода у люцерны [14, 15]. Речь о сортах и гибридах люцерны, формирующих прямостоячие кусты [15–17]. Имеют значение и другие морфологические, анатомические и экологические особенности строения, выявляемые в течение вегетации и всего жизненного цикла. Среди них можно выделить сочетание высокого уровня экологической

толерантности к комплексу лимитирующих экологических факторов холодного периода и медленное отрастание стеблей. То есть наблюдается в итоге медленное формирование надземной и подземной фитомассы у люцерны.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе работы выполнен цикл исследований и последующая комплексная оценка растительных сообществ на базе травосмеси со злаковыми травянистыми растениями (овсяницей луговой, тимофеевкой луговой), четырьмя сложногогибридными популяциями люцерны СГП 387, СГП 76, СГП 79 и СГП 12. В качестве стандарта был использован сорт люцерны Луговая 67. Представлены далее данные на два укоса.

В итоге установлено следующее (табл. 1). Растения в эксперименте показали высокую экологическую толерантность к совокупности неблагоприятных факторов холодного периода (к длительным и кратковременным низким температурам, ветрам, оттепелям, повреждающим воздействиям ледяных корок и т.д.). Зимостойкость определялась визуально. Учитывался процент перезимовавших растений. Она составила от 85–87 (СГП 76) до 95–98% (СГП 12). Это обобщенно отражено в табл. 1. Примечательно, что у растений люцерны сорта Луговая диапазон зимостойкости составил от 67 до 97%.

Таблица 1

Зимостойкость перспективных образцов люцерны

Образец	Зимостойкость, %
СГП 387	97
СГП 79	96
СГП 76	87
СГП 12	98
Луговая 67, стандарт	97

Феномониторинг [18–20] позволяет раскрыть основные тенденции и, главное, сроки прохождения основных фенологических фаз во время вегетационных периодов у растений.

Фиксация данных фенологического мониторинга показала некоторую схожесть в прохождении гибридами люцерны биоэколого-диагностических фенодат. То есть во время вегетации между вариантами существенной разницы не обнаружено.

Таблица 2

Основные фенофазы перспективных образцов люцерны

Образец	отрастание	бутонизация	цветение
СГП 387	21.04	11.06	25.06
СГП 79	22.04	11.06	25.06
СГП 76	21.04	11.06	21.06
СГП 12	21.04	11.06	26.06
Луговая 67, стандарт	21.04	11.06	25.06

Таблица 3

Облиственность перспективных образцов люцерны по укосам

Образец	Облиственность, %	
	1 укос	2 укос
СГП 387	29,2	41,9
СГП 79	33,0	47,4
СГП 76	30,4	48,0
СГП 12	36,7	45,9
Луговая 67, стан.	30,1	45,8

Отметим, что в весенний период наблюдается дружное отрастание у гибридных растений. Небольшие отличия наблюдаются лишь в период начала цветения. Полная схожесть установлена по фенодате бутонизации. Период цветения ознаменовался некоторой вариабельностью исследуемых вариантов растений люцерны, на что указывают данные в табл. 2.

Из теоретической и экспериментальной ботаники, экологии, включительно из теории и опыта фитомониторинга и, в частности, из практики фитоиндикации состояния экосистем и ландшафтов следует, что некоторые надземные органы являются универсальным индикатором в ответ на внешние раздражения, процессы и агрессивные воздействия.

Для исследования и анализа качества образуемой надземной биомассы культурных растений устанавливаемые параметры облиственности также имеют первостепенное значение. Как и в классической фитоиндикации, в сельскохозяйственной биологии, растениеводстве, в селекции и отборе растений анализ показателей облиственности [6, 19–21] имеет значение в вопросах хозяйственной перспективности и экологической устойчивости культур. Ассимиляционные органы и, в частности, совокупный листовой аппарат [21–23] в данном случае имеют

определенный приоритет ввиду их эколого-биологической роли для растений – инженеров соответствующих фитоценозов, значения для обеспечения устойчивости пространственной и экологической структуры фитоценозов, поддержания экологического функционала для почвозащитных и агрохозяйственных целей.

Наблюдения за листовым аппаратом включенных в эксперимент растений показали следующие результаты (табл. 3). На фоне соответствующих неблагоприятных внешних факторов регистрировалось явление усыхания листьев в первом укосе. Листья осыпались при учете. Это важный биоэколого-диагностический признак состояния изучаемых растений.

Облиственность растений люцерны колебалась от 29,2 (СГП 387) до 36,7% (СГП 12) в первом укосе до 41,9 (СГП 387)–48,0% (СГП 76) во втором, у сорта Луговая 67, соответственно 30,1–45,8%. Рост параметров облиственности является естественными. Тем не менее рассмотренные растения демонстрируют тренд на выработку приспособленности к скашиванию. В нашем случае все-таки рост облиственности не так высок, как в проведенных ранее исследованиях (на примерах растений из разных хозяйственных и экологических групп). Наши данные свидетельствуют о приобретении экологической устойчивости анализируемых представителей растений и образующих на их основе фитоценозов.

Способность люцерны формировать полноценный листовой аппарат показывает на активность фотосинтетического аппарата, возобновимость образовательных тканей и на устойчивость метаболизма к такому лимитирующему антропогенному фактору, как скашивание. Это важные сведения и вывод для решения растениеводческих целей в условиях нечерноземной зоны и на соседних территориях. Кроме того, биолого-экологический параметр об-

лиственности, определяемый комплексом внутренних и внешних условий, показывает на эффективность набора фитомассы образцами люцерны в качестве кормовой, почвозащитной, ресурсосберегающей, ресурсопроизводящей культуры по отношению к почвенным ресурсам и как ландшафтно-стабилизирующего растения.

Заключение

По совокупности рассмотренных в данной работе биологических и экологических признаков образцов люцерны можно заключить следующее. Растения обладают относительной дружностью отрастания, бутонизации и отчасти цветения.

Кроме того, рассмотренные образцы люцерны показали высокую зимостойкость, что важно для центрально-европейской части России с умеренным климатом, когда в холодные периоды случаются частые неблагоприятные явления метеорологического и сопутствующего экологического характера. Для данной территории пределы зимостойкости надо учитывать.

Незначительный рост облиственности от укуса к укусу сигнализирует о повышении приспособленности гибридов к условиям произрастания. В совокупности рассмотренные биологические и экологические признаки растений в ответ на внешние раздражители в плане лимитирующих факторов показывают на высокую биоэкологическую устойчивость. Таким образом, констатируем, что образцы люцерны СГП 387, СГП 79, СГП 76 и СГП 12 действительно являются перспективными для использования в кормовом растениеводстве в условиях умеренного климата и, в частности, для центрально-европейской части России.

Ввиду того, что люцерна обладает уникальными ресурсопроизводящими и ресурсовосстанавливающими свойствами по отношению к почвам и к экогеосистемам, создание экологически устойчивых фитоценозов на основе сортов и гибридов люцерны позволяет решать многие задачи применительно к почвенно-земельным ресурсам. Высокая способность к депонированию органического углерода в своей биомассе и в почвенном покрове наделяет эту культуру уникальным биоэкологическими качествами в поддержании и интенсификации процесса почвообразования, в улучшении агрофизических и агробиохимических свойств почв, в обеспечении устойчивости и функциональности биоценологических связей в почвенной биоте.

Поэтому создание искусственных растительных сообществ на основе экологически устойчивых к лимитирующим факторам сортов и гибридов люцерны является ярким примером биоэкологизированного землепользования с трендом на улучшение почвенно-экологических и хозяйственно-экогеосистемных характеристик ландшафтов. Фитоценозы на основе сортов и гибридов люцерны благодаря ее особым биоэкологическим качествам показывают великолепные фитомелиорирующие свойства: в почвах накапливается биологического азота на 12–15% и выше, углерода – на 7–15% и выше. По другим питательным элементам (калию, фосфору, кальцию, магнию, сере и пр.) тоже отмечаются значимые эколого-мелиоративные эффекты. Также посредством высевания данной культуры представляется возможность к освоению малоиспользуемых, отчужденных и бросовых земель, что является довольно болезненным вопросом в контексте землеустройства и управления землями сельскохозяйственного и смежного назначений. То есть это уже вполне реализуемая совокупная задача: повышение плодородия и управление культурностью почв; рационализация землепользования биоэкологизацией на популяционно-экосистемной основе; поддержание структурной целостности, стабильности и экологических качеств экосистем и ландшафтов. Создание фитоценозов на основе устойчивых видов, сортов и гибридов люцерны позволяет реализовывать в полном объеме принцип органического – биоэкологического – землепользования.

Список литературы

1. Растениеводство. Ч. 3: Кормовые культуры / С.Л. Елисеев, Э.Д. Акманаев, М.В. Серегин, А.А. Скрыбин, В.А. Попов. Пермь: Пермская ГСХА, 2014. 82 с.
2. Писковацкий Ю.М., Косолапов В.М., Михалев В.Е., Степанова Г.В., Переправо Н.И., Соложенцева Л.Ф., Ломова М.Г. Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса на семенные и кормовые цели. М.: ФГУ РЦСК, 2008. 39 с.
3. Авдеев Л.Б., Ахтель Т.Н. Урожайность травостоев с участием люцерны гибридной // Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия Т. 1. Минск: ИВЦ Минфина, 2004. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrosbornik.ru/strategiya-i-taktika-zemledeliya/1621-urozhajnost-travostoev-s-uchastiem-lyucerny-gibridnoj-.html> (дата обращения: 03.03.2023).
4. Меремьянина И.А. Повышение семенной продуктивности люцерны путем селекции и совершенствование агроприемов ее возделывания в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Краснодар, 2013. 24 с.
5. Кулькеев Е.Е., Тайчибеков А.У., Аманова К.С., Бейсембаев М.К. Новые сорта люцерны для условий юга Казахстана // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 93–97.

6. Сапрыкин С.В., Золотарев В.Н., Иванов И.С., Степанова Г.В., Сапрыкина Н.В., Лабинская Р.М. Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России. Воронеж: ВОТ, 2020. 496 с.
7. Нагибин А.Е., Тормозин М.А., Зырянцева А.А. Селекционная работа по люцерне на Среднем Урале // Аграрный вестник Урала. 2015. № 7. С. 20–24.
8. Резвякова С.В. Зимостойкость садовых культур различного эколого-географического происхождения (обзор) // Биология в сельском хозяйстве. 2017. № 1. С. 12–19.
9. Ледаева Н.В. Сортоизучение сортов люцерны изменчивой в условиях среднегорной зоны Республики Алтай // Вестник Алтайского ГАУ. 2019. № 12. С. 44–50.
10. Бартев И.И., Гаврин Д.С. Зимостойкость маточных растений сахарной свёклы // Сахар. 2021. № 3. С. 45–49.
11. Горькова И.В., Гагарина И.Н., Горьков А.А., Гаврилова А.Ю., Прудникова Е.Г. Повышение зимостойкости зерновых культур с применением биопрепаратов, индуцирующих иммунитет растений // Вестник Курской ГСХА. 2021. № 9. С. 13–19.
12. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2006. 249 с.
13. Самигуллина Н.С. Практикум по селекции и сортоведению плодовых и ягодных культур. Мичуринск: Мичуринский ГАУ, 2006. 197 с.
14. Денисов Г.В., Осипова В.В. Зависимость зимостойкости сортов люцерны от температуры в зоне корневой шейки // Сибирский вестник сельскохозяйственных наук. 2013. № 2. С. 54–60.
15. Дюкова Н.Н., Логинов Ю.П., Шадрин Н.В. Обоснование параметров модели сортов люцерны для условий Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2013. № 9. С. 9–11.
16. Камасин С.С., Тарануха В.Г. Растениеводство. Кормовые травы полевого травосеяния. Горки: БГСХА, 2015. 64 с.
17. Бородаева Ж.А. Влияние почвенно-климатических условий Центрально-Черноземного региона на проявление адаптивных признаков и свойств люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.): автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Рамонь, 2020. 24 с.
18. Лазарев Н.Н., Пятинский Д.В. Продуктивное долголетие новых сортов люцерны (*Medicago sativa* L.) при интенсивном скашивании // Известия ТСХА. 2016. № 5. С. 39–54.
19. Догузова Н.Н. Селекция люцерны для предгорной зоны РСО – Алалия // Аграрная наука. 2021. № 9. С. 81–85.
20. Догузова Н.Н. Семенная продуктивность различных сортов люцерны для предгорной зоны Северного Кавказа // Аграрная наука. 2020. № 10. С. 64–67.
21. Володина И.А., Абраменко И.С. Результаты селекционной работы с популяциями люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mar.) // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 12-2. С. 33–40.
22. Мельник А.В., Шарапанюк О.С. Рост и облиственность маточных растений подвоев яблони в зависимости от субстрата для окулировки // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 139–143.
23. Харалгина О.С., Шанин И.Д. Облиственность люцерны в условиях Северного Зауралья // Мир инноваций. 2022. № 3. С. 28–30.

УДК 633.11:581.1:631.8
DOI 10.17513/use.38138

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВЫХ КУЛЬТУР ТРИТИКАЛЕ И ПШЕНИЦЫ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ

¹Лебедев В.Н., ¹Кондрат С.В., ²Ураев Г.А.

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В данной статье рассматривается эффективность инокуляции семян некоторых злаковых культур биопрепаратами, содержащими определенные штаммы ассоциативных ризобактерий. Объектами исследования являлись тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) сорт Гребешок и пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт Ленинградская-97. В опыте использовались такие биопрепараты, как: Азоризин (*Azospirillum lipoferum*, штамм 137), Вариоворакс (*Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Ризоагрин (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 204), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5). Исследование проводилось в полевых условиях на опытном поле Агробиостанции Герценовского университета (Ленинградская область). Наблюдения проводились согласно фазам развития растения. Изучение структурных элементов продуктивности осуществлялось в фазу полной зерновой зрелости. Показано, что отобранные биопрепараты повышали всхожесть семян и высоту растений, а также стимулировали накопление сухого вещества в надземных органах и массу колосьев. При обработке Азоризином сухая масса тритикале увеличивалась на 85%, а пшеницы – на 67% относительно контроля. Масса колосьев в этом варианте возрастала на 50% (тритикале) и на 36% (пшеница) в сравнении с вариантом без инокуляции. Урожайные показатели массы зерен в опыте с тритикале максимально отличались от контроля при использовании Азоризина (на 38%) и Ризоагрина (на 26%). Данные биопрепараты также стимулировали увеличение зерновой массы пшеницы на 23% (Азоризин) и на 37% (Ризоагрин). В статье отмечен экономический эффект от использования данных препаратов. На основании комплекса изученных показателей наиболее эффективными на яровых культурах тритикале и пшеницы в условиях Ленинградской области из изученных биопрепаратов определены Азоризин и Ризоагрин.

Ключевые слова: полевой опыт, биопрепараты, инокуляция, ассоциативные ризобактерии, стимуляция роста, продуктивность, тритикале, пшеница, масса растений, масса колосьев, количество семян, масса семян, экономический эффект

YIELD OF SPRING TRITICALE AND WHEAT CROPS DURING INOCULATION OF SEEDS WITH BIOPREPARATIONS

¹Lebedev V.N., ¹Kondrat S.V., ²Uraev G.A.

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg,
e-mail: uraev.ga@yandex.ru

This article discusses the effectiveness of inoculation of seeds of some cereal crops with biologics containing certain strains of associative rhizobacteria. The objects of the study were triticale (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) var. Scallop and wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Leningrad-97. The experiment used such biological products as: Azorizin (*Azospirillum lipoferum*, strain 137), Variovorax (*Variovorax paradoxus*, strain 5C-2), Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7), Rhizoagrin (*Agrobacterium radiobacter*, strain 204), Flavobacterin (*Flavobacterium sp.* strain 30) and Pseudomonas (*Pseudomonas fluorescens* strain PG-5). The research was conducted in the field at the experimental field of the Agrobiostation of the Herzen University (Leningrad region). Observations were carried out according to the phases of plant development. The study of the structural elements of productivity was carried out in the phase of full grain maturity. It was shown that the selected biological preparations increased seed germination and plant height, as well as stimulated the accumulation of dry matter in aboveground organs and the mass of ears. The dry weight of triticale increased by 85% when treated with Azorizin, and wheat by 67%, relative to the control. The weight of the ears in this variant increased by 50% (triticale) and 36% (wheat), in comparison with the variant without inoculation. The yield indicators of grain weight in the triticale experiment differed as much as possible from the control when using Azorizin (by 38%) and Rhizoagrin (by 26%). These biologics also stimulated an increase in wheat grain weight by 23% (Azorizin) and by 37% (Rhizoagrin). The article notes the economic effect of using these biopreparations. Based on the complex of studied indicators, a conclusion is made about the effectiveness of Azorizin and Rhizoagrin biopreparations in stimulating the growth and increasing the productivity of triticale and wheat spring crops in these soil and climatic conditions.

Keywords: field experience, biologics, inoculation, associative rhizobacteria, growth stimulation, productivity, triticale, wheat, plant mass, ear mass, seed mass, number of seeds, economic effect

Интенсификация мирового и отечественного земледелия, которая сопряжена с необходимостью его экологизации, требует незамедлительного решения проблемы повышения продуктивности злаковых культур [1]. В связи с этим самым распространенным агрономическим приемом, который получил широкое распространение в последние годы, является использование микробиологических препаратов [2-4]. Для этого семена в процессе посева инокулируют ассоциативными ризобактериями, которые характеризуются способностью выделять биологически активные вещества. Поэтому растения, выращенные из таких семян, отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [5]: заражению фитопатогенами, засухе, кратковременным заморозкам, тяжелым металлам и т.д.

Кроме того [6, 7], такие растения обычно отличаются высокими показателями ростовых и продукционных процессов по причине улучшения метаболизма растительного организма. Этот факт находит свое отражение в повышении экономического эффекта от полученного таким агрономическим способом урожая [8].

Однако ряд исследователей отмечают [9, 10], что необходим тщательный подбор конкретного микроорганизма и даже штамма для того или иного видового сортообразца. Это связано со специфичностью реакций внесенной микрофлоры на корневые выделения определенного сорта культуры, что каждый раз требует новых исследований.

Яровые культуры тритикале и пшеница являются перспективными и достаточно широко распространенными практически во всех регионах России [11, 12]. Тритикале – амфидиплоидный гибрид, выведенный в результате гибридизации пшеницы и ржи немецким селекционером В. Римпау в конце XIX века. Культура отличается генетической стабильностью при сочетании важнейших продуктивных качеств обоих видов растений, а по некоторым даже превосходит их. Например, засухоустойчивость тритикале выше, чем у ржи, а содержание белка в зерне превышает показатели пшеницы на 1–4% [11]. В настоящее время используется в основном как фуражная и продовольственная культура.

Целью данной работы являлось изучение влияния биопрепаратов на основе ассоциативных ризобактерий на ростовые процессы и продуктивность яровых сортов тритикале и пшеницы.

Материалы и методы исследования

Объектами работы являлись такие яровые культуры, как тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) – сорт Гребешок и пшеница (*Triticum aestivum* L.) – сорт Ленинградская-97. Зернофуражный сорт тритикале Гребешок включен в 2011 г. в Госреестр по Северо-Западу и Центральному регионам как высокопродуктивный образец, устойчивый к полеганию [13]. Пшеница средне-раннего сорта Ленинградская-97 включена в Госреестр по Северо-Западу в 2001 г. и рекомендована к использованию в Ленинградской области для зернофуражных целей. При этом данный сорт характеризуется как один из наиболее устойчивых по отношению к засухе и фитопатогенам [14, 15].

Растения выращивали на протяжении трех лет в 2019, 2021–2022 г. в условиях полевого опыта на опытном поле Агробиостанции Герценовского университета (п. Вырица, Ленинградская область). Почва под опытами характеризовалась как дерново-среднеподзолистая со слабокислой реакцией среды и средней обеспеченностью основными минеральными элементами. Перед проведением опыта на данном участке проводился уравнительный посев злаковой смеси.

Бактериальные препараты для проведения опытов были любезно предоставлены отделом экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ВНИИСХМ. В опытах применяли 6 ассоциативных ризобактериальных штаммов, входящих в основу следующих препаратов: Азоризин (*Azospirillum lipoferum*, штамм 137), Вариоворакс (*Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Ризогрин (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 204), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5).

Согласно стандартной методике [16], бактериализация семян проводилась в процессе посева путем непосредственного нанесения соответствующего биопрепарата на поверхность семян. Повторность каждого варианта опыта – четырехкратная. Наблюдения за культурами проводились согласно их фенологическому развитию. Всхожесть изучалась на 7-й день посева, а ростовые и продуктивные показатели – в фазу полной зерновой спелости. Статистическая обработка экспериментальных результатов осуществлялась методом дисперсионного анализа [17].

Дополнительно был проведен экономический анализ изменений значений дохода от реализации злаковых культур к контролю (без инокуляции). Авторы применили эту величину в качестве критерия экономической эффективности инокуляции злаковых культур:

$$\mathcal{E}_i = (D_i / D_{Ki}) \times 100,$$

где \mathcal{E}_i – экономическая эффективность от инокуляции i -ой злаковой культуры препаратом, %;

D_i – доход от реализации i -й злаковой культуры при инокуляции препаратом, тыс. руб.;

D_{Ki} – доход от реализации i -й злаковой культуры без инокуляции (контроль), тыс. руб.

Данный подход был авторами достаточно подробно описан и применен при изучении результатов проведения микробиологической инокуляции при возделывании других культур [18].

Результаты исследования и их обсуждение

Реакция растительного организма на внесение ассоциативных бактериальных штаммов обычно проявляется уже на ранних этапах органогенеза. Поэтому положительное влияние, если оно возникает, отражается на изменении полевой всхожести. Поэтому для нас представляло практический интерес оценить отзывчивость пшеницы и тритикале по этому показателю.

В результате было установлено (табл. 1), что предпосевная инокуляция стимулировала более активное прорастание. Всхожести семян тритикале и пшеницы увеличивались по отношению к контролю (без инокуляции) при использовании всех шести биопрепаратов.

Наиболее заметно это наблюдалось в вариантах с Азоризином и Ризоагрином – на 16–17% (тритикале) и на 10–12% (пшеница). В целом, показатели полевой всхожести среди опытных вариантов наиболее активно увеличивались в опыте с тритикале.

Действие биопрепаратов на основе ассоциативных ризобактерий прослеживалось и в процессе дальнейшего развития данных культур. Увеличение такого важного для формирования продуктивности показателя, как линейный рост растений к фазе полного созревания пшеницы и тритикале, происходило также во всех опытных вариантах, где была проведена предпосевная бактериализация.

Однако, в отличие от данных по всхожести, здесь наибольшую эффективность проявили другие ризобактериальные штаммы, а увеличение высоты у пшеницы наиболее резко отличалось от контрольного эталона. Высота растений в фазу зерновой зрелости была выше при использовании Ризоагрина, Флавобактерина и Псевдомонаса на 6–7%, что составляло 7–8 см, относительно контроля. При этом растения мягкой пшеницы отличались наибольшей высотой в вариантах с Мизорином, Вариовораксом и Азоризином – на 18–23%, что превышало контрольный показатель в среднем на 18–23 см.

Накопление сухого вещества в надземных органах растений является важным признаком, который не только указывает на интенсификацию метаболических процессов, но и участвует в формировании структурных элементов продуктивности. Такими показателями являются сухая биомасса надземных органов растений, а также изменение массы колосьев по отношению к общей биомассе культуры.

Таблица 1

Влияние биопрепаратов на всхожесть и высоту растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Всхожесть		Высота растения		Всхожесть		Высота растения	
	%	Δ%	см	%	%	Δ%	см	%
Контроль	69	–	115,2	100	73	–	102,0	100
Азоризин	86	+17	117,6	102	83	+10	120,0	118
Вариоворакс	82	+13	120,8	105	74	+1	122,9	120
Мизорин	80	+11	119,6	104	75	+2	125,6	123
Ризоагрин	85	+16	123,5	107	85	+12	108,8	107
Флавобактерин	74	+5	122,9	106	80	+7	111,5	109
Псевдомонас	78	+9	122,2	106	80	+7	108,0	106
НСР ₀₅	3,0	–	2,3	–	2,0	–	5,6	–

Таблица 2

Действие биопрепаратов на сухую массу растений и колосьев тритикале и пшеницы, на 100 растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Сухая масса растений		Масса колосьев		Сухая масса растений		Масса колосьев	
	г	%	г	%	г	%	г	%
Контроль	182	100	99,3	100	131	100	71,9	100
Азоризин	337	185	149,4	150	219	167	97,5	136
Вариоворакс	212	116	103,7	104	184	140	83,0	115
Мизорин	212	116	129,4	130	200	153	83,5	116
Ризоагрин	284	156	127,5	128	211	161	93,8	130
Флавобактерин	196	108	108,9	110	149	114	75,9	106
Псевдомонас	200	110	107,6	108	136	104	73,7	103
НСР ₀₅	8,2	–	3,1	–	9,5	–	2,9	–

Таблица 3

Влияние микробиологических штаммов на урожайные показатели растений яровых культур тритикале и пшеницы, на 100 растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Масса зерен		Количество зерен		Масса зерен		Количество зерен	
	г	%	Шт.	%	г	%	Шт.	%
Контроль	214,1	100	5660	100	166,6	100	4992	100
Азоризин	295,5	138	7560	134	205,2	123	6458	129
Вариоворакс	224,2	105	5550	98	190,5	114	6203	124
Мизорин	240,4	112	4811	89	189,1	114	6199	124
Ризоагрин	270,2	126	6290	110	228,0	137	6589	132
Флавобактерин	224,5	105	5546	103	193,5	116	6225	125
Псевдомонас	183,4	86	5300	94	185,4	111	6130	123
НСР ₀₅	12,4	–	18,2	–	17,3	–	24,8	–

В организованных опытах бактериализация семян Азоризином и Ризоагрином в процессе их посева способствовала увеличению сухой массы растений тритикале на 56–85% относительно контроля (табл. 2). Кроме того, препарат Азоризин также стимулировал в 1,5 раза (149,4 г / 100 раст.) увеличение общей массы колосьев по сравнению с контролем (99,3 г / 100 раст.).

В полевом опыте с пшеницей сразу три биопрепарата продемонстрировали свою эффективность в отношении изменения показателей сухой наземной массы растительных органов: Азоризин (219 г / 100 раст.), Ризоагрин (211 г / 100 раст.) и Мизорин (200 г / 100 раст.), что на 53–67% превышало контрольные данные (131 г / 100 раст.). При этом наибольшая прибавка массы колосьев по сравнению с контролем, где инокуляция

не проводилась, была отмечена в вариантах с применением Азоризина (на 36%) и Ризоагрина (на 30%).

Отмеченные авторами изменения также отразились на формировании итоговой продуктивности обеих сельскохозяйственных культур (табл. 3). В опыте с тритикале наибольшая масса зерен была отмечена во всех опытных вариантах по отношению к контролю (214,1 г / 100 раст.), кроме того, где использовался и биопрепарат Псевдомонас (183,4 г / 100 раст.). Наиболее эффективными оказались ризобактериальные штаммы в основе препаратов Азоризин (295,5 г/100 раст.) и Ризоагрин (270,2 г/100 раст.), что превышало контрольные показатели на 26–38%. Именно в этих опытных вариантах у растений тритикале было отмечено максимальное число семян.

Таблица 4

Оценка дохода от реализации злаковых культур с 1 га

Варианты	Тритикале		Пшеница	
	тыс. руб.	прирост, %	тыс. руб.	прирост, %
Контроль	51 384	0,0	8 330	0,00
Азоризин	70 920	38,0	10 260	23,2
Вариоворакс	53 808	4,7	9 525	14,3
Мизорин	57 696	12,3	9 455	13,5
Ризоагрин	64 848	26,2	11 400	36,9
Флавобактерин	53 880	4,9	9 675	16,1
Псевдомонас	44 016	-14,3	9 270	11,3

Эффективнее всех оказался биопрепарат Азоризин, способствовавший увеличению количества семян на 34% по сравнению с контролем.

Аналогичные результаты наблюдались в опыте с пшеницей, где наибольшее увеличение массы зерен отмечено при инокуляции семян Ризоагрином – на 37% (228 г / 100 раст.) в сравнении с контролем (166,6 г / 100 раст.). Сравнительно ниже были показатели при бактеризации семенного материала Азоризином, который способствовал повышению зерновой массы на 23% (205,2 г / 100 раст.).

Именно эти же биопрепараты способствовали увеличению количества зерен. В среднем максимальное увеличение числа семян наблюдалось на 32% (Ризоагрин) и на 29% (Азоризин) относительно контрольного варианта.

Рассмотренная ранее биологическая эффективность инокуляции злаковых культур находит свое отражение и при оценке экономического эффекта (табл. 4).

Доход от реализации зерновых культур при инокуляции в сравнении с контролем возрастает. По проведенным оценкам, среднее увеличение дохода по тритикале при реализации дохода относительно контрольной группы составит 12,0%.

Аналогичный эффект наблюдается и по пшенице – среднее увеличение дохода достигает в других опытах 19,2%.

Набольшая экономическая эффективность может быть достигнута по сравнению с контролем:

- по тритикале с применением Азоризина – 38,0%;
- по пшенице с применением Ризоагрина – 36,9%.

Заключение

Таким образом, бактеризация семян яровой тритикале и яровой пшеницы в процессе посева благоприятно отражается на всхожести (до 17%) и увеличении линейного роста (на 18–23%) растений по сравнению с неинокулированными вариантами.

Кроме того, ассоциативные ризобактериальные штаммы в составе биопрепаратов способствовали повышению сухой массы растений и колосьев. По этим показателям в опыте с тритикале наиболее эффективным оказывается биопрепарат Азоризин, стимулировавший увеличение биомассы надземных органов на 85%, а колосьев в 1,5 раза. Для растений пшеницы самыми эффективными оказались биопрепараты Азоризин и Ризоагрин. В этих опытных вариантах сухая масса целых растений возрастала на 67% и 61%, а масса колосьев на 36% и 30% соответственно.

Именно эти два биопрепарата самым положительным образом отличались в отношении формирования продуктивности (массы и количества зерен) обеих исследованных авторами культур. Масса зерен яровой тритикале увеличивалась на 38% (Азоризин), а яровой пшеницы – на 37% (Ризоагрин). Количество зерен возрастало на 34% у растений тритикале в вариантах с обработкой семян Азоризином и на 32% – Ризоагрином в опыте с пшеницей в сравнении с контролем.

В результате оценки экономического эффекта установлена возможность увеличения доходов от реализации исследуемых культур при условии проведения перед посевом инокулирования посадочного материала.

Таким образом, наиболее эффективными по исследованному авторами комплек-

су параметров для яровых культур тритикале и пшеницы являются ризосферные бактерии *Azospirillum lipoferum*, штамм 137, и *Agrobacterium radiobacter*, штамм 204, в основе биопрепаратов Азоризин и Ризоагрин.

Список литературы

1. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. 219 с.
2. Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В., Попова Т.А., Орлова А.Г., Кокорина А.Л., Вайшляз О.Б., Агафонов Е.В., Гужвин С.А., Чураков А.А., Яковлева М.Т. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50, № 3. С. 369-376.
3. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрехимия. 2019. № 8. С. 83-96.
4. Лебедев В.Н. Ассоциативные штаммы бактерий как современный элемент экологизации выращивания капустных растений // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 168. С. 49-53.
5. Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S., Sayyed R.Z., Reddy M.S., Enshasy H.E. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects // Sustainability. 2021. Vol. 13. № 3. P. 1-20.
6. Лебедев В.Н. Влияние инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на изменение численности бутонов и цветков у горчицы белой // Инновации в развитии экологического образования населения. Кластерный подход: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции 23-24 октября 2013 года. Курган, 2013. С. 166-168.
7. 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.
8. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Оценка эффективности инокуляции семян четырех видов горчиц ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-25. С. 5594-5598.
9. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Оценка эффективности обработки семян капустных культур ассоциативными ризобактериями в условиях нормального увлажнения и почвенной засухи // Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 13-18.
9. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. Саратов: Амирит, 2019. 252 с.
10. Ha Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.H., Huang C.C., Huang E. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, № 6. P. 1-38.
11. Тритикале: Материалы заседания секции тритикале ОСХН РАН онлайн, Ростов-на-Дону, 09 июня 2020 года. Том 9. Ростов-на-Дону: Юг, 2021. 280 с.
12. Kandrov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale* L.) grain into graded flour // Foods and Raw Materials. 2019. Vol. 7, No. 1. P. 107-117.
13. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество яровой тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 47. С. 183-187.
14. Лосева В.А., Темирбекова С.К., Л.Ю. Новикова Л.Ю., Брыкова А.Н., Кудрявцева Е.Ю., Зуев Е.В. Результаты полевого изучения образцов яровой мягкой пшеницы из новейших поступлений в коллекцию ВИР в условиях Центрально-Черноземного региона РФ // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 5. С. 4-10.
15. Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 217-232.
16. Лактионов Ю.В., Косульников Ю.В., Кожемяков А.П. Технологичность микробиологических препаратов в растениеводстве // Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего: сборник тезисов докладов PLAMIC2022, Санкт-Петербург, 03-08 октября 2022 года. СПб., 2022. 143 с.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 350 с.
18. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Роль ассоциативных ризобактерий в повышении сохранения продуктивности горчицы белой к почвенной засухе // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 29-34.

УДК 632.5:581.55
DOI 10.17513/use.38139

СОСТАВ ТРАВЯНОГО ЯРУСА В САНАТОРНОМ ЛЕСНОМ ПАРКЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА С УЧАСТИЕМ ИНВАЗИОННОГО ВИДА *ACER NEGUNDO* L.

^{1,2}Тишкина Е.А., ¹Семкина Л.А., ²Целева Н.Д.

¹ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург,
e-mail: elena.mlob1@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: elena.mlob1@yandex.ru

Клен ясенелистный по данным лесоустроительных материалов внедрился в 13 из 15 лесных парков Екатеринбурга и формирует вторичный ареал. Травяной покров обследован в Санаторном лесном парке, находящемся в г. Екатеринбурге Свердловской области, в котором выбраны 10 площадок по стандартным методам с кленом ясенелистным и контрольный участок без клена. На каждом участке проведен сплошной пересчет древесно-кустарниковых растений и описан живой напочвенный покров. Выделено 4 ценопита – лесной, лесолуговой, луговой и синантропный, различающиеся по соотношению семейств и видов. Установлено 37 видов из 17 семейств. В лесном ценопите на участках без клена преобладают *Ericaceae*, *Rosaceae*, в лесолуговом – *Poaceae*, *Rosaceae*, *Equisetaceae*, в луговом – *Poa pratensis* L. В лесном фитоценозе с кленом обнаружены синантропные растения, занимающие 4,73% площади (*Vicia cracca* L. и *Potentilla anserina* L.). Появление синантропных растений является показателем ухудшения фитоценоза. Проективное покрытие живого напочвенного покрова не зависит от присутствия клена в лесном ценозе – 46,38% в контроле и 43,62% на участках с кленом. Наибольшее количество растений установлено из семейства *Rosaceae* – *Fragaria vesca* L., *Rubus saxatilis* L., *Poaceae* – *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Poa pratensis* L., *Ericaceae* – *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L. В настоящее время *Acer negundo* L. не оказывает прямого воздействия на количество видов, так как он внедрился в сформированный фитоценоз. С возрастом клен быстро превращается в крупные деревья, притенение становится значительным, и из фитоценоза могут исчезнуть многие светолюбивые виды растений.

Ключевые слова: *Acer negundo* L., клен ясенелистный, лесной парк, травянистый ярус, ценопит

THE COMPOSITION OF THE GRASS TIER IN THE SANATORIUM FOREST PARK OF YEKATERINBURG WITH THE PARTICIPATION OF AN INVASIVE SPECIES *ACER NEGUNDO* L.

^{1,2}Tishkina E.A., ¹Semkina L.A., ²Tseleva N.D.

¹Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg,
e-mail: elena.mlob1@yandex.ru;

²Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: elena.mlob1@yandex.ru

Acer negundo L. according to forest management materials, has been introduced into 13 of the 15 forest parks of Yekaterinburg and forms a secondary area. The grass cover was examined in a Sanatorium forest park located in Yekaterinburg, Sverdlovsk region, in which 10 sites were selected according to standard methods, with ash-leaved maple and a control site without *Acer negundo* L. At each site, a continuous recalculation of woody and shrubby plants was carried out and a living ground cover was described. There are 4 types of cenotype – forest, forest-meadow, meadow and synatropic, differing in the ratio of families and species. 37 species from 17 families have been identified. In the forest cenotype, *Ericaceae*, *Rosaceae* predominate in areas without maple, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Equisetaceae* predominate in the forest meadow, *Poa pratensis* L. Synantropic plants occupying 4,73% of the area were found in the forest phytocenosis with maple (*Vicia cracca* L. and *Potentilla anserina* L.). The appearance of synatropic plants is an indicator of the deterioration of phytocenosis. The projective coverage of the living ground cover does not depend on the presence of maple in the forest cenosis – 46,38% in the control and 43,62% in areas with maple. The largest number of plants were found from the *Rosaceae* family – *Fragaria vesca* L., *Rubus saxatilis* L., *Poaceae* – *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Poa pratensis* L., *Ericaceae* – *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L. Currently *Acer negundo* L. it does not have a direct effect on the number of species, since it has penetrated into the formed phytocenosis. With age, maple quickly turns into large trees, shading becomes significant and many light-loving plant species can disappear from the phytocenosis.

Keywords: *Acer negundo* L., forest park, grass tier, cenotype

Биологические инвазии, или расселение видов растений и животных во вторичных ареалах, – один из глобальных факторов трансформации естественных экосистем [1]. На уровне сообществ чаще всего дискутиру-

ются последствия инвазий растений – снижение разнообразия аборигенных видов в сообществах [2]. Инвазивный клен ясенелистный *Acer negundo* L. активно расселяется в Евразии на нарушенных и полунарушенных тер-

риториях. В частности, *A. negundo* активно возобновляется в урбанизированных лесах Среднего Урала [3]. По литературным данным в сообществах с доминированием *A. negundo* разнообразие аборигенных растений снижается [4]. Поэтому изучение динамики растительности при внедрении инвазивных видов является актуальным.

Целью работы явилось определение влияния растений *A. negundo* L. на разнообразие видового состава травяного яруса в Санаторном лесном парке г. Екатеринбург.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в 2021 г. в Санаторном лесном парке (56°82'12" N, 60°76'32" E) на 10 пробных площадях (ПП). Были отобраны площади на двух участках: контрольный участок (без клена) и участок с доминированием особой клена. Пробные площади размером 20x20 м и 30x30 м закладывались по стандартным методикам. На каждой пробной площади был сделан сплошной пересчет древесно-кустарниковых растений и описан живой напочвенный покров (ЖНП). При описании использовался метод учетных площадок (УП). Учетные

площадки размером 50x50 см в количестве 20–25 шт. размещались на пробной площади так, чтобы были отражены особенности размещения видов на территории и охвачены все типы фитоценозов. На каждой УП был определен видовой состав травянистой растительности, проективное покрытие, тип размещения и выделены ценоотические группы [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Клен ясенелистный по данным лесостроительных материалов внедрился в 13 из 15 лесных парков Екатеринбурга и формирует вторичный ареал. В результате исследований на всех участках вне зависимости от присутствия или отсутствия клена ясенелистного, преобладают лесные и лесолуговые виды (брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.)) (таблица).

Видовое разнообразие травяного яруса и проективное покрытие на учетных площадках в Санаторном лесном парке

№	Ценотип	Семейство	Видовое название	ПП на УП, %	ПП на га, %
Контрольные участки (без клена)					
1	Лесной	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	Чина весенняя (<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.)	28	1,87
2		Вересковые (<i>Ericaceae</i>)	Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	165	11,00
3		Грушанковые (<i>Pyrolaceae</i>)	Ортилия однобокая (<i>Orthilia secunda</i> (L.) House)	5	0,33
4		Жимолостные (<i>Caprifoliaceae</i>)	Линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.)	20	1,33
5		Ландышевые (<i>Convallariaceae</i>)	Купена душистая (<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce)	10	0,67
6			Майник двулистный (<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)	10	0,67
7		Норичниковые (<i>Scrophulariaceae</i>)	Медуница мягкая (<i>Pulmonaria mollis</i> Wolff ex F.Heller)	78	5,20
8		Первоцветные (<i>Primulaceae</i>)	Седмичник европейский (<i>Trientalis europaea</i> L. = <i>Lisimachia europaea</i> (L.) U. Manns et Anderb.)	7	0,47
9		Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	Земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.)	212	14,13
10			Костяника каменистая (<i>Rubus saxatilis</i> L.)	100	6,67
11		Сельдерейные (<i>Apiaceae</i>)	Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)	10	0,67
12		Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>)	Буквица лекарственная (<i>Betonica officinalis</i> L.)	10	0,67

Продолжение табл.

№	Ценотип	Семейство	Видовое название	ПП на УП, %	ПП на га, %
13	Лесолуговой	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	Золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i> L.)	10	0,67
14		Гераниевые (<i>Geraniaceae</i>)	Герань лесная (<i>Geranium pratense</i> L.)	13	0,87
15		Мареновые (<i>Rubiaceae</i>)	Подмаренник северный (<i>Galium boreale</i> L.)	10	0,67
16		Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	Вейник тростниковый (<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth)	305	20,33
17		Норичниковые (<i>Scrophulariaceae</i>)	Вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i> L.)	28	1,87
18		Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	Гравилат городской (<i>Geum urbanum</i> L.)	40	2,67
19			Манжетка обыкновенная (<i>Alchemilla vulgaris</i> L.)	20	1,33
20			Репешок лекарственный (<i>Agrimonia eupatoria</i> L.)	15	1,00
21		Сельдерейные (<i>Apiaceae</i>)	Бедренец камнеломка (<i>Pimpinella saxifraga</i> L.)	5	0,33
22		Фиалковые (<i>Violaceae</i>)	Фиалка собачья (<i>Viola canina</i> L.)	14	0,93
23	Луговой	Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	5	0,33
24	Синантропный	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	Вика мышиная (<i>Vicia cracca</i> L.)	68	4,53
25		Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	Лапчатка гусиная (<i>Potentilla anserina</i> L.)	3	0,20
Участки с кленом					
1	Лесной	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	Чина весеня (<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.)	37	2,31
2		Вересковые (<i>Ericaceae</i>)	Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	10	0,63
3			Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	70	4,38
4		Грушанковые (<i>Pyrolaceae</i>)	Грушанка круглолистная (<i>Pyrola rotundifolia</i> L.)	90	5,63
5		Жимолостные (<i>Caprifoliaceae</i>)	Линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.)	10	0,63
6		Кочедыжниковые (<i>Athyriaceae</i>)	Кочедыжник женский (<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth)	40	2,50
7		Ландышевые (<i>Convallariaceae</i>)	Майник двулистный (<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)	13	0,81
8		Лютиковые (<i>Ranunculaceae</i>)	Борец северный (<i>Aconitum lycoctonum</i> L.)	120	7,50
9			Воронец колосистый (<i>Actaea spicata</i> L.)	40	2,50
10		Норичниковые (<i>Scrophulariaceae</i>)	Медуница мягкая (<i>Pulmonaria mollis</i> Wolff ex F.Heller)	37	2,31
11		Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	Земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.)	40	2,50
12			Костяника каменистая (<i>Rubus saxatilis</i> L.)	155	9,69
13			Лабазник вязолистный (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.)	40	2,50
14		Сельдерейные (<i>Apiaceae</i>)	Дудник лесной (<i>Angelica sylvestris</i> L.)	20	1,25
15			Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)	20	1,25

Окончание табл.

№	Ценотип	Семейство	Видовое название	ПП на УП, %	ПП на га, %
16	Лесолуговой	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	Бодяк разнолистный (<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill)	50	3,13
17			Золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i> L.)	7	0,44
18		Гераниевые (<i>Geraniaceae</i>)	Герань луговая (<i>Geranium pratense</i> L.)	55	3,44
19		Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	Вейник тростниковый (<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth)	77	4,81
20		Норичниковые (<i>Scrophulariaceae</i>)	Вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i> L.)	30	1,88
21		Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	Гравилат городской (<i>Geum urbanum</i> L.)	119	7,44
22			Репешок лекарственный (<i>Agrimonia eupatoria</i> L.)	10	0,63
23		Хвощовые (<i>Equisetaceae</i>)	Хвощ луговой (<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.)	100	6,25
24		Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>)	Будра плющевидная (<i>Glechoma hederacea</i> L.)	30	1,88
25			Черноголовка обыкновенная (<i>Prunella vulgaris</i> L.)	5	0,31
26		Луговой	Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	90
27	Синантропный	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	Вика мышиная (<i>Vicia cracca</i> L.)	25	1,56

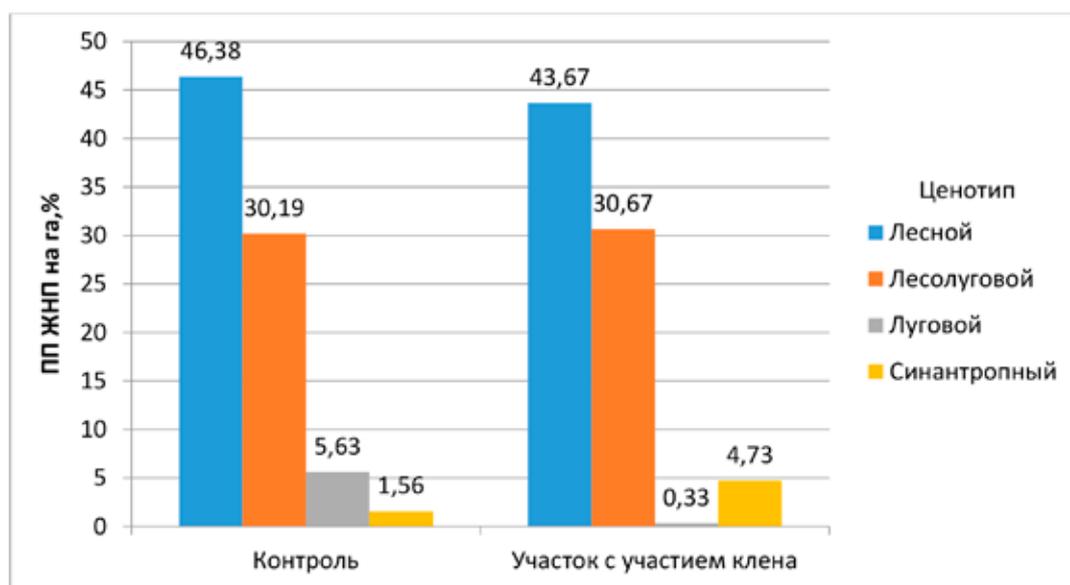


Рис. 1. Соотношение проективного покрытия живого напочвенного покрова на пробных площадях по ценотипам в Санаторном лесном парке

Значительный процент площади (4,73 %) занимают синантропные виды на участках с участием клена на пробных площадях лесного парка (вика мышиная (*Vicia cracca* L.)

и лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.)) (рис. 1). Появление синантропных видов является показателем влияния клена на травяной покров.

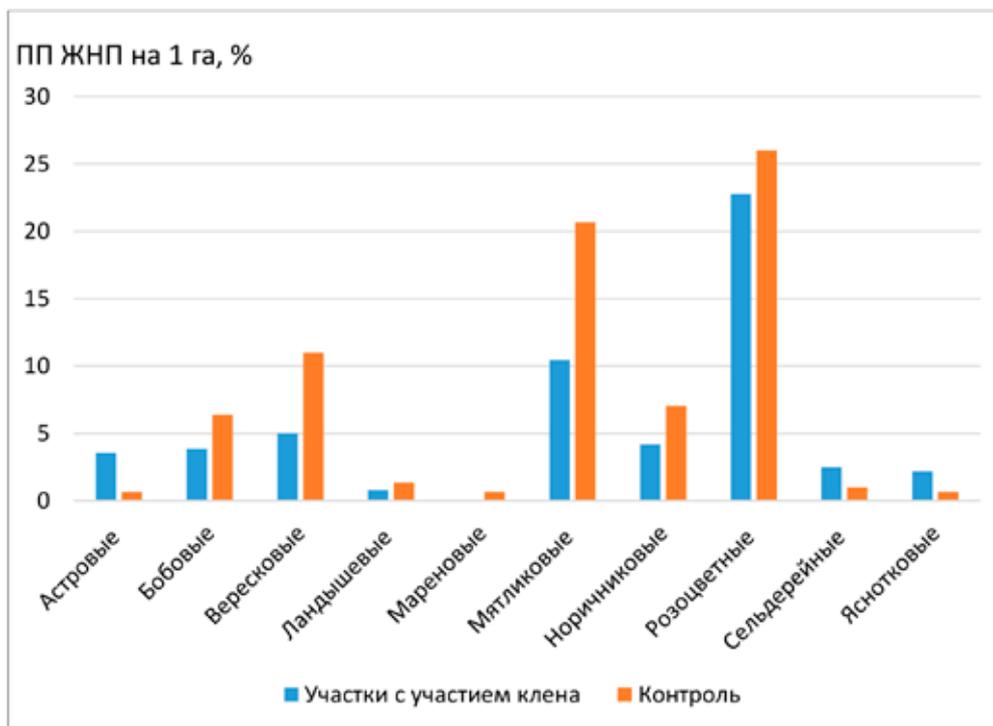


Рис. 2. Соотношение видов по семействам в проективном покрытии живого напочвенного покрова на контрольных участках и участках с кленом

Клен ясенелистный пока не оказывает прямого воздействия на сформировавшиеся фитоценозы, но с возрастом клен будет затенять травяной покров и многие виды могут исчезнуть, поэтому необходимы комплексные мероприятия борьбы с данным видом (мониторинг за состояние экосистемы, вырубка деревьев путем механического и химического удаления прегенеративных особей, формирование кроны у виргинильных растений). Видовое разнообразие травяного яруса на пробных площадях представлено 37 видами. Не найдено различий по количеству видов на контрольных участках и участках с кленом. Наибольшее количество видов встречается в следующих семействах, они ранжированы по уменьшению – розоцветные, мятликовые, норичниковые, вересковые, бобовые, астровые, сельдерейные, яснотковые, ландышевые, мареновые (рис. 2).

По количеству растений в лесном парке установлено доминирование розоцветных (земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.), мятликовых (вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.)

Roth), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), вересковых (брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.)), и норичниковых (медуница мягкая (*Pulmonaria mollis* Wolff ex F.Heller), вероника дубравная (*Veronica chamaedrys* L.)) семейств вне зависимости от участка. Виды из семейства мареновых произрастают только на контрольных участках.

Заключение

Выделено 4 ценотипа – лесной, лесолуговой, луговой и синантропный, различающиеся по соотношению семейств и видов. Количество семейств и видов почти сходное. По проективному покрытию также не отмечается большого различия. Доминируют лесные и лесолуговые виды из вересковых, мятликовых, розоцветных и норичниковых. Не найдено прямого воздействия *A. negundo* на состав растений в фитоценозах. На участках с кленом уменьшается количество растений, но количество видов сохраняется. Таким образом, установить влияние его на разнообразие, общее обилие, структуру доминирования в сообществах не удалось. Влияние *A. negundo* проявилось в увеличении доли синантропных видов, так

как влияние клена может привести к росту открытости сообществ для внедрения других чужеродных растений. Наши данные хорошо согласуются и с другими исследователями. Следовательно, в целом влияние на структуру травяного яруса, связанное с инвазией *A. negundo* в Санаторном лесном парке, невелико.

Список литературы

1. Gioria M., Jarosik V., Pyšek P. Impact of invasions by alien plants on soil seed bank communities: emerging patterns // *Perspect. Plant Ecol.* 2014. Vol. 16, Is. 3. P. 132–142.
2. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
3. Веселкин Д.В., Коржиневская А.А. Пространственные факторы адвентизации подлеска в лесопарках крупного города // *Известия РАН. Серия географическая.* 2018. № 4. С. 54–64.
4. Гусев А.П. Чужеродные виды-трансформеры как причина блокировки восстановительных процессов (на примере юго-востока Беларуси) // *Российский журнал прикладной экологии.* 2016. № 3 (7). С. 10–14.
5. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга: учеб. пособие. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. 90 с.

УДК 630*161
DOI 10.17513/use.38140

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. В НАСАЖДЕНИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.

*Камышинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Камышин, e-mail: ttp@kti.ru*

В тяжелых лесорастительных условиях сухой степи Нижнего Поволжья, когда часто повторяются засухи, сопровождающиеся усыханием древостоя и лесными пожарами, необходимо разработать прогноз долговечности сосновых насаждений. В регионе имеются созданные в 1903–1905 гг. насаждения сосны на территории Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНЦ РАН. В данных насаждениях на протяжении века проводились наблюдения за их ростом, состоянием, сохранностью, которые позволили установить, что причиной усыхания и отпада в насаждениях является комплекс факторов: засухи, лесные пожары, вторичные вредители и лесная растительность под пологом насаждения. Моделирование процессов распада и выбор наиболее удачных трендов позволили предположить, что уже к 2030 г. в условиях повторяющихся при глобальном потеплении засух исследуемое насаждение полностью перестанет существовать. После 80–100 лет сосновые насаждения в регионе нуждаются в коренной реконструкции. Необходимо разработать концепцию существования сосновых насаждений сухой степи с учетом выявленного авторами биологического ресурса породы и основных негативных факторов: засух, пожаров, вредителей и конкурирующей степной растительности. Представляется целесообразным создание гетерогенных насаждений сосны с введением гибридов, потомства плюсовых деревьев. В противопожарном отношении нужно активно внедрять лиственные породы в виде полос.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, песчаный нанос, засухи, лесные пожары, математические модели, долговечность

MODELING OF THE PROBABLE LONGEVITY OF THE COMMON PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. IN PLANTINGS OF THE SOUTH-EAST OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University,
Kamyshin, e-mail: ttp@kti.ru*

In severe forest growing conditions in the dry steppe of the Lower Volga region, when droughts are often repeated, accompanied by drying of the stands of trees and forest fires, it is necessary to develop a forecast of the longevity of pine plantations. In the region there are pine plantations created in 1903–1905 on the territory of the Nizhnevolzhskaya station for the selection of tree species of the Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. Observations of their growth, condition, and preservation have been carried out in these plantings for a century, which allowed us to establish that the cause of drying and falling off in plantings is a complex of factors: droughts, forest fires, secondary pests and forest vegetation under the canopy of the plantings. Modeling of decay processes and the selection of the most successful trends allowed us to assume that by 2030, in conditions repeated with global warming droughts, the studied plantation will completely cease to exist. After 80–100 years, pine plantations in the region need radical reconstruction. It is necessary to develop a concept for the existence of pine plantations in the dry steppe, taking into account the biological resource of the species identified by the authors and the main negative factors: droughts, fires, pests and competing steppe vegetation. It seems expedient to create heterogeneous pine plantations with the introduction of hybrids, offspring of plus trees. In terms of fire protection, it is necessary to actively introduce deciduous trees in the form of strips.

Keywords: Scots pine, sand drift, droughts, forest fires, mathematical models, durability

Волгоградская область находится в тяжелейших лесорастительных условиях в сухостепной зоне на юго-востоке европейской территории России, которая характеризуется частыми засухами, суховеями. Количество осадков здесь варьирует от 280 мм в засушливые годы до 400 мм в благоприятные. В результате глобального потепления в области происходит снижение количества осадков, так, 2009–2012 гг. были самыми за-

сушливыми за последние 150 лет, и количество осадков устойчиво снижается до критических значений.

Однако усилиями нескольких поколений лесоводов с 1948 по 2023 г. лесистость этой территории была повышена с 1,1 до 6,1%. Созданные насаждения постоянно испытывают стрессовые ситуации из-за природных катаклизмов. В этих условиях важно проанализировать состояние ранее созданных

насаждений и дать достоверный прогноз их роста, состояния и долговечности в связи с требованиями федеральной программы «Сохранение лесов» [1; 2] и национально-го проекта «Экология» [1;2] и уточнения баланса выбытия и воспроизводства лесов в рамках этих программ. В 1960–1980-е гг. и до настоящего времени основной породой создаваемых насаждений была сосна. Она отличалась хорошим ростом, сохранностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам. Таким образом, к 2023 г. площадь сосновых насаждений в области достигла 107,88 тыс. га из 696,8 тыс. га всех видов лесных насаждений Волгоградской области. Однако сосна подвергалась нападению соснового пилильщика и массовым пожарам после продолжительных засух, что привело к тому, что доля сосны в восстановительных посадках сократилась с 80 до 60%. Тем не менее сосняки в области продолжают занимать значительную площадь, и прогноз их долговечности имеет большую практическую значимость. Для решения этой задачи в 2023 г. авторами были продолжены мониторинговые исследования одного из типичных древостоев Волгоградской области, Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНИЦ РАН, которые были начаты в 1991–1992 гг. после значительного ускорения усыхания и отпада после засух старовозрастных сосновых насаждений посадки 1903–1914 гг. общей площадью 87 га.

Цель исследования – провести исследование и проанализировать результаты более чем векового опыта роста сосновых насаждений в сухой степи Нижнего Поволжья и создание по результатам исследования достоверной прогнозной модели для сосновых насаждений области.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являются сосновые насаждения, заложенные в 1903–1905 гг. на площади 3,5 га квартала 13 Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНИЦ РАН. Закладка насаждений производилась под «меч Колесова», размещение растений 1,5x0,5 м. Сеянцы для посадки были получены первоначально из Тамбовской и Воронежской губерний, а с 1905 г. выращивались на Камышинском питомнике, примыкающем к насаждению с востока. На площади квартала в период с 1991 по 2023 г. производился сплошной пересчет, и по общепринятым в таксации методикам измерялись высоты и диаметры, закладывались почвенные разрезы, брались

модельные деревья. Полученные результаты обрабатывались методами математической статистики. Данные, полученные в результате наблюдения, послужили исходными материалами для построения регрессионных моделей и выделения основных трендов, наглядно показывающих основную тенденцию их развития [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые насаждения сосны обыкновенной находятся на зональных каштановых почвах в квартале 13. Почвы погребены эоловым наносом глубиной 30–40 см в восточной части и 60–80 см в западной. Это неоднократно привлекало внимание ученых. В 1926 г. было проведено первое детальное обследование участка С.М. Зепаловым [6]. Были даны рекомендации по проведению рубок ухода. В 1950 и 1957 гг. также С.М. Зепаловым после обследования были предложены таблицы по таксации древостоев сосны в сухой степи [6]. В 1964 г. Н.Ф. Куликом [7] изучались вопросы суховершинности сосны в насаждении, анализировалось влияние толщины песчаного наноса на состояние деревьев. В 1973 г. в процессе лесоустроительных работ насаждения были обследованы экспедицией «Леспроекта» [8]. После исключительно засушливых 1991–1992 гг. были отмечены массовая суховершинность и усыхание деревьев. Поэтому авторами был организован и проведен комплекс исследований, включающий в себя сплошной пересчет деревьев, изучение развития травянистой растительности с определением видового состава и течения сукцессионных процессов [9; 10, с. 44].

Результаты многолетних наблюдений были объединены в таблицу. По данным таблицы видно, как процессы деградации древостоя насаждения протекали в течение долгого времени с 1950 до 2023 г. За эти 70 лет были отмечены очень сильные засухи в 1972, 1975, 1998 и 2010 гг. После них насаждение было пройдено низовыми пожарами. Так, после засух 1972 и 1975 гг. процесс активного отпада шел еще несколько лет. После чего отпад значительно уменьшился, сократилось и число суховершинных деревьев, и к 1991 г., когда началось комплексное изучение состояния древостоя, насаждение имело приближенное к климаксному состояние. В основном процессы усыхания в этот период происходили очагово и были приурочены к краю поляны, которая образовалась еще в 1950-х гг. [9].

Итоги мониторинга насаждений сосны обыкновенной 1903–1905 гг. посадки кв. 13 (площадь выдела 3,5 га)

Год учета	Возраст культур, лет	Общее число деревьев, шт.	Распределение деревьев по состоянию, шт.			Высота, м	Диаметр, см	Полнота
			здоровые	суховершинные	сухие			
1950	47	3385	2614	438	333	14,2	18,10	0,8
1957	52	2930	2593	245	92	14,2	21,00	0,8
1964	61	2834	2191	631	12	15,4	21,10	0,8
1973	70	2533	2001	151	381	16,2	21,00	0,7
1992	89	1410	1341	1	68	16,7	27,4	0,7
1993	90	1272	1254	1	17	16,6	27,6	0,7
1999	96	580	472	1	107	16,6	33,10	0,3
2003	100	388	381	1	6	16,7	33,14	0,3
2004	101	388	379	3	1	16,7	33,15	0,3
2010	107	264	239	4	21	16,7	33,41	0,2
2014	111	181	166	8	7	17,3	34,50	0,1
2023	120	142	136	2	4	17,0	36,1	0,1

Примерно в этот период на поляне пошли сукцессионные процессы возобновления коренной степной растительности, которая явилась мощным конкурентом древостоя в борьбе за влагу и питательные вещества.

В 1998 г. имела место сильнейшая засуха, когда за год выпало всего 280 мм осадков. В этот же год часть насаждения (примерно 1 га) была пройдена низовым пожаром, что уже в 1999 г. вызвало активизацию усыхания древостоя. Число засохших деревьев составило 107 шт., на них фиксировалось массовое заселение вторичными вредителями. Сохранилось всего 472 здоровых дерева, полнота составила 0,3, что вызвало массовое проникновение под полог сорной степной растительности. Следующим засушливым годом был 2010 г., после которого насаждение также было пройдено низовым лесным пожаром, что вызвало снижение числа здоровых деревьев до 239 и полноты до 0,2.

Если проанализировать изменение полноты в течение всего периода жизни древостоя, то можно отметить, что в период с 1950 по 1993 г. полнота снизилась незначительно до 0,7, и насаждение полностью сохраняло свое лесоводственное, средообразующее и рекреационное значение, так как оно находится в пределах городской черты. Таким образом, в возрасте 90 лет насаждение сосны в сухой степи практически полностью сохраняет свою функцию. Резкое снижение полноты до 0,3 произошло в возрасте 96 лет после засухи 2010 г. Следовательно, состояние древостоя в этом

возрасте биологически нестабильно и уже не может считаться климаксным. По мере уменьшения числа деревьев произошло небольшое возрастание таксационных показателей, что можно объяснить выпадением в первую очередь отстающих в росте деревьев. Как уже отмечалось [6; 9; 10, с. 44; 11], таксация сосновых древостоев в сухой степи отличается от общепринятых в лесной таксации, в ареале естественного распространения сосны обыкновенной. Так, объемы деревьев, выбранных осенью 1950 г. при санитарной рубке, позволили С.М. Зепалову составить предварительную таблицу высот и объемов для таксации древостоев сосны в условиях сухой степи [6].

Как видно из рис. 1, в 2023 г. восточная часть насаждения почти полностью выпала, лучше всего сохранилась западная часть квартала, там, где толщина песчаного наноса была наибольшей 60–80 см (рис. 1).

Под пологом ослабленного древостоя, а особенно в восточной его части, где деревья почти полностью выпали (рис. 1), активно пошли сукцессионные процессы возобновления естественной травянистой растительности. Участки бывшей поляны, на которой сукцессионные процессы идут около 40 лет, перешли в коренную, типчакowo-ковыльную стадию. Таким образом, наличие оставшихся куртинных насаждений оказывает значительное влияние на сукцессионные процессы, и на одном участке одновременно можно наблюдать разные стадии зарастания по К.Н. Кулику [12].

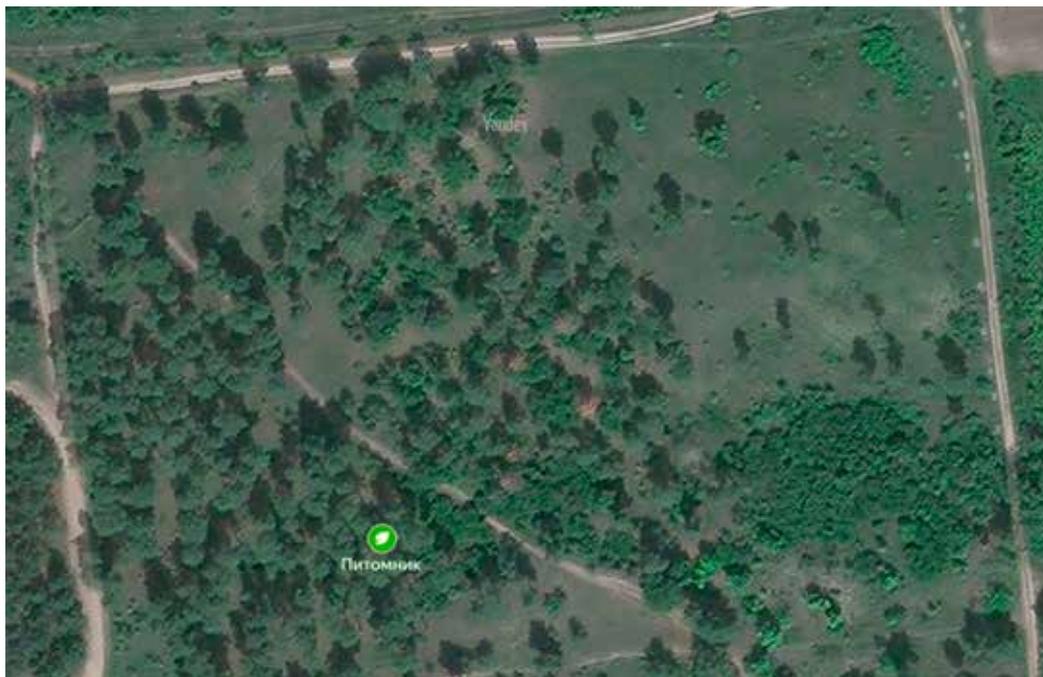


Рис. 1. Расположение сохранившихся 120-летних деревьев сосны обыкновенной в кв. 13 Нижневолжской станции по селекции древесных пород ФНЦ РАН

Квартал 13, в котором проводились исследования, является частью участка сосны площадью 87 га, созданного по такой же агротехнике с 1905 по 1914 г. Предполагаем, что к 2030 г. по перечисленным выше причинам насаждение в целом вступит в период активного распада и гибели, что может быть спровоцировано засухами, участвовавшими и усилившимися из-за процессов глобального потепления на территории региона [2].

После математико-статистической обработки стали рассматривать насаждение как неустойчивую систему, в которой постоянно происходят процессы изменения численности. Установлено, что в возрасте до 50 лет колебания числа деревьев незначительны, в возрасте от 50 до 90 лет не критичны, после 90 лет становятся уже критическими, толерантность древостоя значительно падает, и он уже не представляет целостного ценоза (рис. 1). Если рассматривать насаждение как систему, то после 90 лет она не имеет устойчивого состояния, неустойчивость значительно увеличивается и стремится в конце к единице. Воздействие на систему экстремальных факторов, в первую очередь засух и пожаров, приводит с высокой долей вероятности к полной гибели не только изучаемого насаждения, но и других старовозрастных насаждений вида, находящихся в сходных лесорастительных условиях.

На выстроенные временные ряды действует целый ряд факторов. Одни из них являются трендами и действуют постоянно, стабильно и определяют основное направление временного ряда. Другая группа факторов является циклической и периодически влияет на уровни выстроенного ряда [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48].

Есть еще стохастические факторы, которые могут быть вызваны случайными причинами, изучить которые невозможно. Был составлен и проанализирован временной ряд по изменению в течение длительного периода числа деревьев в насаждении сосны обыкновенной квартала 13. На основании этого были выявлены как основные факторы, имеющие систематический характер, где тренды являются циклической составляющей, так и группы случайных стохастических факторов. При этом по биологическим законам основной тренд – это нелинейная тенденция к уменьшению с возрастом числа здоровых деревьев на опытном участке и возрастание количества погибших и усыхающих. Часто повторяющиеся в регионе засухи и обычно сопутствующие им низовые лесные пожары критически ослабляют древостой, особенно в возрасте 80–90 лет и выше, являются и трендом, и основной циклической составляющей.

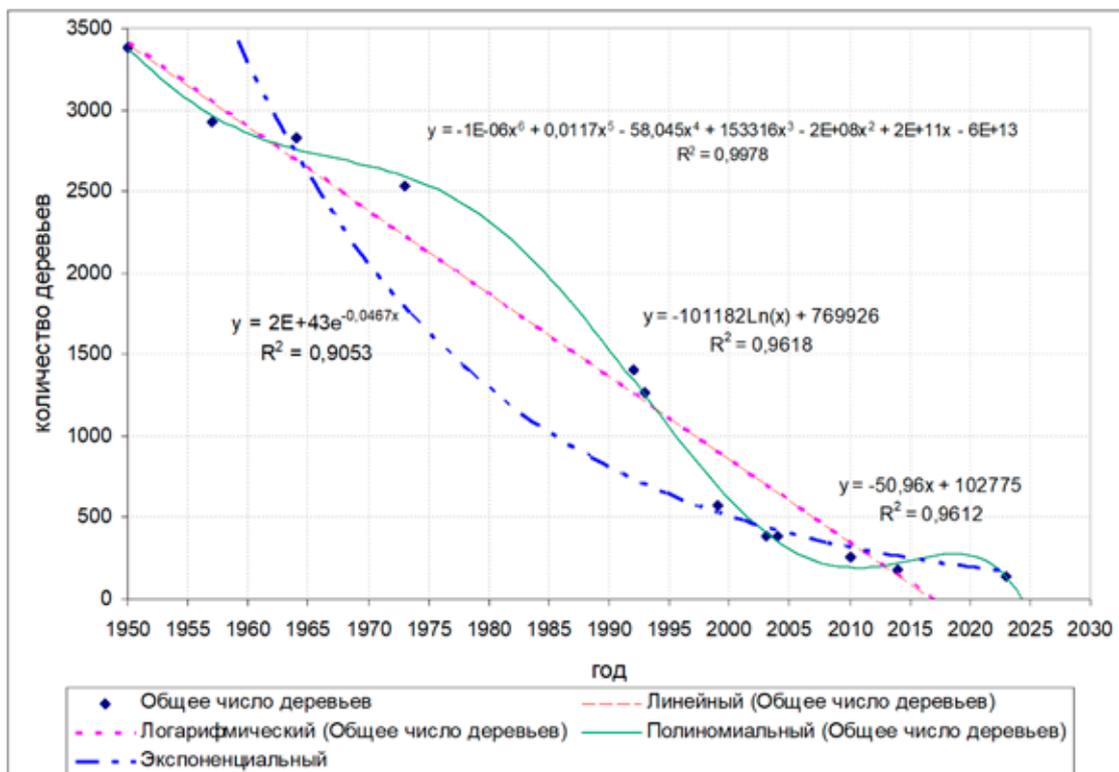


Рис. 2. Корреляционное поле и тренд (основные виды моделей нелинейной регрессии)

На основании данных, полученных в результате более чем векового мониторинга насаждений сосны в квартале 13, проводилось определение трендов временного ряда. Оптимальными для этого являются простейшие регрессионные модели [3, с. 55; 4, с. 36; 5, с. 48]. Модели, которые лучше всего отображают процессы, происходящие в насаждениях, подразделяются на две основные группы: линейные, выражающие прямую зависимость, и более адекватные – нелинейные модели регрессии, включающие в первую очередь логарифмическую, которая обычно достаточно достоверно отражает биологические процессы, а также полиномиальную 6-й степени и экспоненциальную модели (рис. 2).

Индексы детерминации всех построенных моделей (рис. 2) достаточно высоки и стремятся к 1. Основное влияние на модель оказывает фактор времени. Составленные модели прогнозируют, что к 2030 г. насаждение как единый биоценоз перестанет существовать, сохранятся только единичные деревья на фоне активно идущих сукцессионных процессов восстановления коренной степной растительности.

Схожую картину показывают и другие прогнозные модели (рис. 2). Это еще раз

подтверждает высказанные ранее предположения, что биологический ресурс вида сосна обыкновенная на погребенных каштановых почвах в зоне сухой степи составляет 100–120 лет, а лесоводственную ценность она начинает утрачивать уже в 80–90 лет, после чего целесообразно проводить коренную реконструкцию.

Выводы

1. Изучение роста и состояния 120-летнего насаждения сосны обыкновенной на погребенных каштановых почвах в сухой степи Нижнего Поволжья показывает, что после возраста 80–100 лет под воздействием экстремальных факторов значительно усиливаются процессы распада насаждения и оно в большей мере утрачивает свою научную, лесоводственную и рекреационную ценность.

2. Все построенные авторами модели тренда по уменьшению количества деревьев с возрастом, в первую очередь полиномиальная, имеющая очень высокий индекс детерминации $R^2 = 0,998$, показывают, что биологический ресурс сосны обыкновенной в данных лесорастительных условиях в возрасте 120 лет почти полностью исчерпан. Через 10 лет насаждение может прекратить свое существование.

3. В сухой степи Нижнего Поволжья вне ареала естественного распространения сосны обыкновенной биологической ресурс вида с учетом постоянных действующих на насаждение экстремальных факторов: засух, лесных пожаров, вредителей, степной растительности под пологом – составляет примерно 120 лет. Но уже в 80–90 лет целесообразно проводить коренную реконструкцию насаждения. Вновь создаваемые сосновые насаждения должны быть гетерогенны и включать потомство селекционных семенных плантаций региона, разные виды, гибриды и формы сосны, а также листовенные породы, что значительно повысит устойчивость насаждения к пожарам.

Список литературы

1. Постановление Губернатора Волгоградской области от 20.02.2019 № 81 «Об утверждении Лесного плана Волгоградской области» [Электронный ресурс]. URL: // <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (дата обращения: 20.10.2023).
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: // https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021 (дата обращения: 20.10.2023).
3. Трошина Л.П. Биометрия: учебник. Краснодар: КубГАУ, 2018. 161 с.
4. Берикашвили В.Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учебное пособие. М.: Юрайт, 2023. 165 с.
5. Калинин А.Г. Обработка данных методами математической статистики: монография. Чита: ЗИП СибУПК, 2015. 106 с.
6. Зепалов С.М. О старейшей культуре сосны обыкновенной на Камышинском опытном пункте ВНИАЛМИ. Облесение и сельскохозяйственное освоение песчаных земель Юго-Востока: сборник статей. М., 1959. С. 69–76.
7. Кулик Н.Ф. Работы по укреплению и облесению песков на Камышинском опорном пункте: материалы выездной сессии ученого совета ВНИАЛМИ, посвященной 65-летию Камышинского опорного пункта. Волгоград, 1969. С. 68–74.
8. Проект организации и развития лесного хозяйства Камышинского опорного пункта ВНИАЛМИ Волгоградского управления лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства РСФСР. Вторая Воронежская экспедиция. Т. 2. Воронеж, 1976. С. 102–110.
9. Морозова Е.В., Иозус А.П. Прогноз долговечности сосновых насаждений в аридном регионе Нижнего Поволжья на основе математико-статистических методов // Фундаментальные исследования. 2015. № 7-1. С. 43–47.
10. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекционное семеноводство древесных пород на юго-востоке европейской России: монография. Волгоград: ВолГГУ, 2016. 184 с.
11. Семенютина А.В., Костюков С.М., Кашенко Е.В. Методы выявления механизмов адаптации древесных видов в связи с их интродукцией в засушливые регионы // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 103–109.
12. Кулик К.Н., Пугачева А.М. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22, № 1 (66). С. 77–85.

СТАТЬИ

УДК 911:338.48

DOI 10.17513/use.38141

**ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕХАНИЗМА СОЗДАНИЯ
АТЛАСА ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ
РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ**

Барцыц Л.М.

ГНУ «Институт экономики и права Академии наук Абхазии», Сухум, e-mail: shal-57@mail.ru

Проведенный автором анализ свидетельствует о положительной динамике в развитии туристско-рекреационного комплекса в Республике Абхазия. Становится актуальным вопрос применения научного подхода к исследованию проблемы разработки механизма создания атласа географического положения рекреационных зон в регионах Республики Абхазия, необходимость расширения исследований по актуальным вопросам, связанным с эффективным использованием различных типов природной среды, выявлению оптимальных и критических норм рекреантов для посещения тех или иных туристско-рекреационных объектов. Данное исследование посвящено проблеме построения картографического отображения территорий рекреационных ресурсов Республики Абхазия, на основе построения логистической цепи решения проблемы, заключающейся в комплексном подходе к разработке полного циклического механизма взаимодействия структур и ведомств в области стратегического рекреационно-хозяйственного планирования. Автор акцентирует свое внимание на целесообразности законодательного закрепления границ природных территориальных рекреационных комплексов. В целях прогнозирования и решения социально-экономических проблем государства и ее регионов автором разработан пошаговый алгоритм учета ресурсных возможностей в развитии рекреационных территорий. В качестве практического материала автором использованы методы полевых исследований, по итогам которого дано наглядное представление в виде географических карт, картосхем, атласов, получивших широкое применение в рекреационно-хозяйственной деятельности страны, что подтверждает рекреационную значимость Черноморского Приморья Республики Абхазия.

Ключевые слова: рекреационная деятельность, окружающая среда, рекреационный объект, рекреант

**PROBLEMS OF DEVELOPING A MECHANISM FOR CREATING
AN ATLAS OF THE GEOGRAPHICAL LOCATION
OF RECREATIONAL ZONES OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA**

Bartsyts L.M.

*Institute of Economics and Law of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum,
e-mail: shal-57@mail.ru*

The analysis carried out by the author testifies to the positive dynamics in the development of the tourist and recreational complex of the Republic of Abkhazia. The question of applying a scientific approach to the study of the problem of developing a mechanism for creating an atlas of the geographical location of recreational zones in the regions of the Republic of Abkhazia, the need to expand research on topical issues related to the effective use of various types of natural environment, identifying optimal and critical standards of recreation for visiting certain tourist and recreational sites becomes relevant. This study is devoted to the problem of building a cartographic display of the territories of recreational resources of the Republic of Abkhazia, based on the construction of a logistics chain for solving the problem, which consists in an integrated approach to the development of a complete cyclical mechanism of interaction between structures and departments in the field of strategic recreational and economic planning. The author focuses on the expediency of legislative consolidation of the boundaries of natural territorial recreational complexes. In order to predict and solve the socio-economic problems of the state and its regions, the author has developed a step-by-step algorithm for taking into account resource opportunities in the development of recreational areas. As a practical material, the author used the methods of field research, the results of which gave a visual representation in the form of geographical maps, map charts, atlases, which are widely used in the recreational and economic activities of the country, which confirms the recreational significance of the Black Sea Primorye of the Republic of Abkhazia.

Keywords: recreational activity, environment, recreational facility, recreationist

Научное исследование построено на изучении проблем по моделированию карт-атласов географического рекреационного ресурса, так как назревшие вопросы по развитию Республики Абхазия все больше касается территориального учета не только в зонах месторасположения, но и оценки границ таких площадей. Особое внимание уделено вопросам актуализации данной проблемы, условиям размещения хозяй-

ствующих субъектов с привязкой их к территориальному делению административных территорий в Республике Абхазия.

В научной литературе сформирован определенный объем знаний, отражающий уровень разработки различных аспектов рассматриваемой проблемы. В последние годы автор провел научное исследование географического положения рекреационных зон Республики Абхазия, из которого

следует, что значительные преобразования испытывают не только ландшафтные условия, но и растительность и животный мир [1]. Дело в том, что Республика Абхазия во все времена привлекала своими рекреационными ресурсами рекреантов, а в настоящее время тем более наблюдается их рост. В связи с этим интерес в исследовании рекреационного ресурса территории Республики Абхазия растет.

Целью данного исследования является построение механизма комплексного подхода в разработке атласного отображения размещения рекреационных ресурсов, на основании алгоритмического подхода с учетом картографического метода изучения в оценочной структуре ресурсных возможностей.

Материалы и методы исследования

В научной статье использованы наиболее известные в науке способы анализа и сравнения рекреационных зон и их роли в экономической деятельности, которые свидетельствуют о том, что земли рекреационного назначения нужно рассматривать в качестве важнейшего фактора хозяйствования, наряду с землями, используемыми в сельскохозяйственном производстве, в лесном хозяйстве, а также землями природоохранного назначения.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ и оценка географического положения рекреационных зон Республики Абхазия проводились автором в определенной логической последовательности.

Первоначально был осуществлен анализ потенциальных рекреационных возможностей географического рекреационного ресурса, имеющегося в различных регионах страны. При этом проведенная автором работа охватывала не только выявление рекреационного потенциала Республики Абхазия, но определение экономической эффективности рекреационных ресурсов при их использовании для экономических нужд. Для этого необходимо было определить экономические издержки рекреационных ресурсов в различных регионах республики для их включения в стоимость этих ресурсов.

В процессе исследования особое внимание автором уделялось факторам, загрязняющим природную среду, в том числе от негативного воздействия человека.

Автором выявлено, что развитие рекреации в горной Абхазии сдерживается мало-

численностью рекреационных учреждений, благоустроенных гостиниц и соответствующей инфраструктуры [2].

На следующем этапе автором определены:

- роль территориальной организации в использовании природных ресурсов;
- экономические условия, обеспечивающие хозяйственную эффективность благодаря правильному подбору и сочетанию производств.

В целях разработки атласа географического положения рекреационных зон автор предлагает распределить природные участки Республики Абхазия на пять зон.

К первой зоне отнесены территории с благоприятными природно-климатическими условиями для круглогодичного отдыха, в которых сохранены естественные природные условия, разнообразные по породному составу лесов и березовых насаждений.

Ко второй зоне отнесены природные участки, также благоприятные для круглогодичного отдыха, природные ресурсы по объему и цветовой гамме уступают первой зоне.

Третья зона включает природные участки, разделенные водными пространствами, покрытые отдельными видами лесов и пригодные для отдельных видов отдыха.

Четвертая зона охватывает природные участки с менее благоприятными условиями для отдельных видов отдыха.

Пятая зона включает холмистые труднодоступные территории, которые по природным условиям благоприятны только для экстремальных видов отдыха.

Атлас географического положения рекреационных зон должен содержать информацию о приближенно допустимых рекреационных нагрузках на природные комплексы.

В целях определения рекреационной емкости природных зон автором в результате многолетнего наблюдения установлены нагрузочные нормы поправок, связанные со спецификой территории для использования в рекреационных целях. Причем нагрузочные нормы поправок установлены путем сравнительного анализа возможностей использования территории, с учетом природных и архитектурно-технических факторов. Максимально допустимая емкость природных зон автором определена как умножение различных значений оптимальных нагрузок на площадь туристского объекта.

Оптимальное значение нагрузок природно-рекреационных комплексов – эта нагрузка, при которой природные территориальные комплексы находятся в устой-

чивом состоянии при наличии возможности их естественного развития.

При оценке границ природных территориальных рекреационных комплексов особое значение автор придает их утверждению и закреплению в законодательных и нормативных актах государства, без чего невозможно осуществлять рациональное географическое размещение и развитие рекреационных ресурсов. Учет ресурсных возможностей в развитии рекреационных территорий является научным обоснованием для прогнозирования и решения социально-экономических проблем государства и регионов.

В свете вышеизложенного разработанный алгоритм в авторском представлении может быть построен в пошаговом режиме следующим образом:

Первый шаг – географическое определение границ территорий административного деления Республики Абхазия.

Второй шаг – определение потенциала рекреационных ресурсов территорий, выяснения возможностей организации рекреации для всех рекреантов (включая местное население).

Третий шаг – определение степени воздействия рекреационных ресурсов на человеческий организм.

Исследования автора, проведенные в различных регионах Абхазии в целях определения географических и экономических условий, связанных с наличием природно-климатической комфортности, свидетельствуют о том, что при выборе мест отдыха рекреантам следует учитывать следующие факторы:

- соблюдение правил экологической безопасности использования рекреационных ресурсов;
- наличие транспортной или пешеходной доступности;
- удаленность от центра региона прохождения туристского маршрута;
- наличие условий, обеспечивающих их безопасное путешествие по неосвоенным территориям.

При экономической оценке природно-рекреационных комплексов автор предлагает использовать во взаимосвязи атрибутивные параметры, дающие описательное представление об инженерных сооружениях страны, памятниках архитектуры, отражающих этнокультуру народа, проживающего в данном регионе, с количественными показателями. Важным при этом остается соблюдение этно-архитектурных норм,

закрепленных в государственных правовых документах.

В горных территориях Республики Абхазия при строительстве рекреационных комплексов автор предлагает учитывать рельефообразующие факторы, такие как, например, высокий уровень сейсмичности. При этом строительство подобных комплексов в горных районах целесообразно при наличии возможностей высокого уровня прогнозирования погодно-климатических условий Абхазии. Только в этом случае возможно безопасное функционирование туристских комплексов, которые можно использовать как для длительного стационарного лечения отдыхающих в курортных объектах, так и для туристских целей.

В Республике Абхазия можно осуществлять различные виды рекреационной деятельности. Так, в предгорных районах с менее благоприятными климатическими условиями можно заниматься лыжным спортом, рыболовством, спелеологией.

Для организации кратковременного отдыха в Абхазии необходимо выбирать территории не только с наиболее пригодными природными социально-экономическими факторами, но и безопасные для рекреантов, а также с благоприятными лечебно-терапевтическими условиями.

Комплексная оценка природно-ресурсного и рекреационного потенциала Республики Абхазия автором осуществлена с учетом следующих факторов:

- выявления природных характеристик регионов;
- соблюдения норм и правил охраны окружающей среды;
- наличия возможностей благоприятного воздействия на природную среду;
- проведения анализа эффективного взаимодействия природно-туристических комплексов и этнокультурных ценностей;
- сравнения функционирующих и проектируемых природных территорий для хозяйственного использования в рекреационных целях.

Автор поддерживает точку зрения российского ученого Н.Н. Гировка, по мнению которого в целях определения туристско-рекреационного потенциала территории можно использовать различные методы. При этом предпочтение отдается методике балльных оценок, наиболее приемлемой для практического применения. Содержание методики Н.Н. Гировка, состоящей из пяти оценочных категорий природных участков, подробно изложено в монографии автора [3].

Автор также согласен с мнениями ученых В.С. Боголюбова и Е.А. Джанджугазова, которые рассматривают проблему туристско-рекреационного проектирования как необходимой предпосылки для осуществления инвестиционной деятельности в туристско-рекреационной сфере и достижения экономической эффективности функционирования туристских объектов [4, 5].

Важнейшей проблемой функционирования природно-рекреационных комплексов в условиях Республики Абхазия в современных условиях становится организация эффективной индустрии туризма с учетом необходимых издержек туристской деятельности хозяйствующих субъектов. В этом процессе на первый план выдвигается проблема охраны окружающей среды и минимизация негативного воздействия человека на природу, так как загрязнение природной среды приводит к потере уникальных качеств природных ресурсов.

Оценке экономических возможностей региона в территориальной структуре субъектов Российской Федерации посвящена статья российских ученых [6].

Автор еще раз подтверждает в своем исследовании необходимость в комплексном, подходе к выявлению и анализу роли конкретных регионов Республики Абхазия в ходе становления и развития природных туристско-рекреационных комплексов, ранее упомянутых в своих трудах [2].

Необходимость создания научно-теоретической основы национальной рекреационной географии Абхазии назрела уже давно, тем более сегодня рекреация относится к самым высокодоходным отраслям отечественной экономики Республики Абхазии.

Однако при этом в Абхазии еще недостаточно исследований в этом направлении, отсутствуют научные труды, дающие целостное представление о рекреационной географии Абхазии, а изданные учебные пособия для студентов и специалистов лишь частично затрагивают вопросы в области рекреации.

Республика Абхазия и ее регионы обладают огромным туристско-рекреационным потенциалом, с ярко выраженными ландшафтными территориальными зонами, от приморских, влажно-субтропических до нивальных альпийских лугов. Однако до сих пор не разработана методика количественного учета особенностей природных ландшафтов, что негативно сказывается на эффективности их использования в туристско-рекреационной деятельности страны.

Значительный рост количества рекреантов в перспективе окажет мультипликативный эффект на развитие других секторов национальной экономики Абхазии, таких как торговля, сельское хозяйство, транспорт, сфера услуг и др. Значительная часть территории горной Абхазии покрыта лесами, которые находятся в эксплуатации как государственных, так и коммерческих структур. Часть этих территории используется как пастбища, а другая – как заповедные территории.

Заключение

В результате проведенных автором полевых исследований по проблемам рекреации автором составлены и изданы географические карты, картосхемы, атласы, получившие практическое использование в рекреационной деятельности в Абхазии.

Автор хотел бы добавить к пониманию системы территориального рекреационного построения географии, состоящей из взаимосвязанных элементов: группы отдыхающих, природных и историко-культурных комплексов, инженерных сооружений, обслуживающего персонала и органа управления, еще и элементы коммуникационной системы.

Весь комплекс рекреационных и обслуживающих предприятий формирует рекреационную инфраструктуру, а их географическое местоположение играет ключевую роль, и прежде всего в целях доступности таких территорий для рекреантов.

Под доступностью автор понимает не только территориальное расположение, но и ценовой параметр, так как особая роль отводится финансовым вопросам рекреантов, их доходность и располагаемый денежный ресурс, выделенный для отдыха, становится ключевым в исследовании рекреационных потоков.

Проведенные полевые исследования доказали необходимость разработки крупномасштабных карт, учитывающих природно-рекреационные условия деятельности регионов и необходимые для выделения перспективных рекреационных территорий, основанных на ландшафтном анализе.

Рекреационная направленность Черноморского Приморья Республики Абхазия с ее мультипликативным эффектом в перспективе может представить особый экономический интерес в целом для всей России. При этом в перспективе следует учесть значительную перегруженность западных регионов Абхазии рекреантами и неосвоенный рекреационный потенциал восточной ее части.

Таким образом, автор приходит к выводу, что рекреационная география исследует территориальную систему, рассматривает ее как целостный механизм, при этом выявляет закономерности формирования, развития и размещения хозяйствующих субъектов, прогнозирует их изменения, разрабатывает предложения по их рациональному функционированию.

Список литературы

1. Барцыц Л.М. Национальная география Абхазии. Современное состояние, проблемы и перспективы ее развития. Сухум, 2004. 212 с.
2. Барцыц Л.М. Роль природно-географической среды в развитии хозяйственных комплексов региона (на примере Республики Абхазия) // Сборник трудов по материалам международной научно-практической конференции «Государство в международной 3 трансформации экономики: безопасность, региональные возможности и реалии». Невномысский государственный гуманитарно-технический институт (г. Невномысск, 02–05 апреля 2020 г.). Ставрополь, 2020. С. 22–32.
3. Гировка Н.Н. Туристско-рекреационные ресурсы территорий: предпосылки формирования: монография. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. 294 с.
4. Боголюбов В.С., Быстров С.А., Боголюбова С.А. Туристско-рекреационное проектирование. Оценка инвестиций: учебник и практикум для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2020. 256 с.
5. Джанджугазова Е.А. Туристско-рекреационное проектирование: учебное пособие для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2020. 257 с.
6. Воробьев Н.Н., Васюкова В.А., Денисов В.А., Оразбаева Е.М. Оценка экономических возможностей региона в территориальной структуре субъектов Российской Федерации // Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях: национальная с международным участием научно-практическая конференция (Ставрополь, 18–20 мая 2021 г.): сборник статей. Ставрополь: Ставролит; ДГТУ в г. Ставрополе, 2021. С. 183–190.

УДК 504.3.054:57.042:54.03
DOI 10.17513/use.38142

ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВАХ СМАЧИВАТЕЛЕЙ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ КАМЕННОГО УГЛЯ

Бортников С.В., Горенкова Г.А., Сумина А.В., Комарова О.В.

*ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: alenasumina@list.ru*

Исследование посвящено разработке научных основ рационального использования воздушных ресурсов в части совершенствования технологий снижения пылевого загрязнения воздушной среды в районах угледобычи. В настоящей работе исследовалось взаимодействие угольной пыли с поверхностно-активными веществами (ПАВ) разной химической природы для проектирования составов эффективных смачивателей поверхности пылевых частиц. В качестве количественных характеристик использовали изменение поверхностного натяжения рабочих составов и величину адсорбции молекул ПАВ на поверхности частиц угля. В качестве катионного поверхностно-активного вещества был использован катамин, анионного – олеат натрия. Установлено, что оба исследуемых ПАВ существенно снижают поверхностное натяжение воды. Показано, что уже при малых концентрациях (0,03% для олеата натрия, 0,06% для катамина) наблюдается поверхностное натяжение, критическое для эффективного смачивания частиц угля. Несмотря на различия в химической природе катионных и анионных ПАВ, наблюдается лишь небольшое различие в степени их адсорбции на поверхности угольной пыли. Это свидетельствует о том, что выбор типа ПАВ для пылеподавления может быть основан на других факторах, таких как их токсичность или биоразлагаемость. Результаты данного исследования могут быть использованы в качестве ориентира для дальнейших исследований по проектированию и созданию смачивающих составов с лучшим пылеподавляющим эффектом для их применения в технологиях снижения пылевого загрязнения воздушной среды в районах угледобычи.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, пылеподавление, поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение, угледобыча, Хакасия

Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 93 от 13.12.2022).

APPLICATION OF SURFACTANTS IN WATER-BASED WETTER COMPOSITIONS TO REDUCE DUST POLLUTION IN THE AIR DURING COAL MINING AND TRANSPORTATION

Bortnikov S.V., Gorenkova G.A., Sumina A.V., Komarova O.V.

Khakass State University named N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru

The study is devoted to the development of scientific foundations for the rational use of air resources, in terms of improving technologies for reducing dust pollution in the air in coal mining areas. In this work, we studied the interaction of coal dust with surfactants of different chemical natures to design compositions of effective wetting agents for the surface of dust particles. The change in surface tension of the working compositions and the amount of adsorption of surfactant molecules on the surface of coal particles were used as quantitative characteristics. Catamine was used as a cationic surfactant, and sodium oleate was used as an anionic surfactant. It was found that both surfactants under study significantly reduce the surface tension of water. It has been shown that even at low concentrations (0.03% for sodium oleate, 0.06% for catamine), surface tension is observed, which is critical for effective wetting of coal particles. Despite the differences in the chemical nature of cationic and anionic surfactants, there is only a slight difference in the degree of their adsorption on the surface of coal dust. This suggests that the choice of surfactant type for dust suppression may be based on other factors, such as toxicity or biodegradability. The results of this study can be used as a guide for further research on the design and creation of wetting compositions with a better dust suppression effect for their use in technologies for reducing dust pollution in the air in coal mining areas.

Keywords: air pollution, dust suppression, surfactants, surface tension, coal mining, Khakassia

The research was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement No. 93 of 13.12.2022).

Как известно, в зависимости от классификационной характеристики разнятся и подходы к рациональному использованию природных ресурсов. Так, если это исчерпаемое сырьё (каменный уголь, железная руда и т.д.), то важным моментом является поиск

альтернативных источников и (или) максимальное комплексное их использование при извлечении. Рациональностью при использовании неисчерпаемых ресурсов, к которым относятся, например, воздушные, является минимизация их загрязнений.

Угольная пыль образуется и значительно распространяется во время добычи или транспортировки угля. Из-за ее летучих свойств она легко взвешивается в воздушной среде, продолжительное время остаётся в аэрозольном состоянии, в ограниченных пространствах формирует пожароопасную среду, негативно отражается на здоровье человека и животных.

В настоящее время распыление воды является одним из наиболее часто используемых методов подавления угольной пыли из-за его простоты в эксплуатации и низкой стоимости. Однако капли воды с трудом улавливают угольную пыль из-за её гидрофобного характера и относительно высокого поверхностного натяжения воды, что препятствует смачиванию поверхности пылевых частиц, и в целом снижает эффективность процесса гидрообеспыливания [1]. Анализ результатов разработок пылеподавляющих составов как российских, так и зарубежных авторов, представленный в работе [2], показал отсутствие единых принципов проектирования пылеподавляющих составов.

Большое количество исследований связано с использованием в качестве основных компонентов пылеподавляющих составов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Показано, что добавление ПАВ может значительно повысить смачиваемость и адсорбируемость угольной пыли, тем самым оказать положительное влияние на эффективность пылеподавления [3]. Например, в исследовании Wang et al. для полевых испытаний в забое угольной шахты применялось сложное поверхностно-активное вещество [1]. Результат показал, что эффективность подавления угольной пыли была увеличена с 50% (при использовании неочищенной воды) до 90% (с помощью ПАВ). Аналогичным образом в исследовании Zhang et al. эффективность подавления с помощью сложного ПАВ составила 85% по сравнению с 65% при использовании воды в полевых испытаниях. В других исследованиях Zhao Z. общая эффективность пылеподавления додецилбензолсульфонатом натрия составила 76% по сравнению с 54% при использовании неочищенной воды [4].

Существует два типа методов оценки эффективности пылеподавления поверхностно-активных веществ: статические и динамические испытания [5]. В первом варианте изучают такие физико-химические характеристики, как адсорбция и смачиваемость, характеризующие эффективность

действия поверхностно-активных веществ. Наиболее частым исследуемым свойством для пылеподавляющих растворов является поверхностное натяжение. При этом основное действие ПАВ направлено на снижение поверхностного натяжения воды, что достигается за счет их способности адсорбироваться на поверхности раздела фаз. Такая способность обусловлена особым строением молекулы ПАВ, одна часть которой представлена полярной группой ($-\text{OH}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$), а другая – неполярной (углеводородный радикал) [6].

Динамические испытания позволяют оценить эффективность пылеподавления с помощью ПАВ, которая рассчитывается по концентрациям пыли, измеренным до и после распыления ПАВ, используются гораздо реже из-за более высоких временных затрат и стоимости.

На эффективность пылеподавляющих свойств ПАВ могут оказывать влияние различные факторы и условия, такие как сорт угля, концентрация пыли и скорость ветра. При этом они могут быть неконтролируемыми и не иметь аналогов на других угольных карьерах, что может существенно сказаться на снижении концентрации угольной пыли в воздухе [7].

В зависимости от строения полярной части среди ПАВ выделяют анионные (диссоциирующие в воде с образованием поверхностно-активного аниона) и катионные (с образованием поверхностно-активного катиона). Не существует единого вывода о том, какой тип поверхностно-активного вещества более подходит для пылеподавления. Некоторые исследования показали, что катионные поверхностно-активные вещества легко адсорбируются на поверхности угля, что приводит к гидрофобности, которая не способствует смачиванию закачиваемой водой [8]. Другие, напротив, показали, что анионные поверхностно-активные вещества склонны к образованию осадков с другими ионами в воде и препятствуют закачке воды в угольный пласт, в то время как катионные поверхностно-активные вещества не требуют высокого качества воды, и их нелегко осаждают с другими ионами в воде [9].

Цель работы заключалась в разработке научных основ рационального использования воздушных ресурсов в части совершенствования технологий снижения пылевого загрязнения воздушной среды в районах угледобычи. Исследовалось взаимодействие угольной пыли с поверхностно-ак-

тивными веществами разной химической природы для проектирования составов эффективных смачивателей поверхности угольных частиц.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись мелкие частицы каменного угля с Черногорского каменноугольного месторождения разреза «Степной», расположенного в Республике Хакасия. В качестве катионного поверхностно-активного вещества был использован катамин, который представляет собой четвертичную аммониевую соль – смесь алкилдиметилбензиламмоний хлоридов. Анионное поверхностно-активное вещество – олеат натрия. Концентрацию водных растворов ПАВ варьировали от 0,0075 до 1%. Адсорбцию ПАВ проводили из 50 мл раствора 1 граммом угольной пыли. О концентрации ПАВ в процессе адсорбции судили по изменению поверхностного натяжения растворов катамина и олеата натрия до и после контакта с углем сталагмометрическим методом.

Для сравнения адсорбирующей способности (Γ) угольной пыли по отношению к растворам катамина и олеата натрия была изучена зависимость массы адсорбированного ПАВ, приходящаяся на навеску

угля массой 1 г. Расчет производился по формуле:

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}}) \cdot V}{m},$$

где m – навеска угля, V – объем раствора, из которого идет адсорбция.

Результаты исследования и их обсуждение

Как было отмечено выше, одним из наиболее часто используемых, относительно простых и информативных показателей в оценке пылеподавляющих способностей ПАВ является поверхностное натяжение. Поэтому на первом этапе было произведено измерение данного показателя у исследуемых растворов поверхностно-активных веществ. Результаты измерения поверхностного натяжения растворов катионных и анионных ПАВ представлены в таблице и на рисунках 1, 2.

Из рисунков 1 и 2 следует, что катамин и олеат натрия существенно снижают поверхностное натяжение воды. Это согласуется с общепринятым механизмом действия ПАВ, который заключается в их способности адсорбироваться на границах раздела различных фаз и тем самым снижать поверхностное натяжение.

Результаты измерения поверхностного натяжения образцов анионного и катионного ПАВ

№ образца	Исходная концентрация раствора ПАВ, %	Поверхностное натяжение, Н/м	Концентрация раствора ПАВ после контакта с углем, %	Поверхностное натяжение, Н/м
Катамин				
1	0,0075	56,4	0,0025	66,7
2	0,015	52,6	0,006	58,0
3	0,03	46,3	0,0095	54,9
4	0,06	43,4	0,022	48,0
5	0,13	43,1	0,04	46,0
6	0,25	38,5	0,04	46,0
7	0,5	38,5	0,12	41,93
8	1	34,9	0,16	40,3
Олеат натрия				
1	0,0075	69,2	0	72,2
2	0,015	56,0	0	72,1
3	0,03	45,4	0	72,2
4	0,06	40,3	0	72,1
5	0,13	35,8	0	71,1
6	0,25	30,9	0,19	31,7
7	0,5	30,6	0,23	30,4
8	1	30,9	0,17	33,3

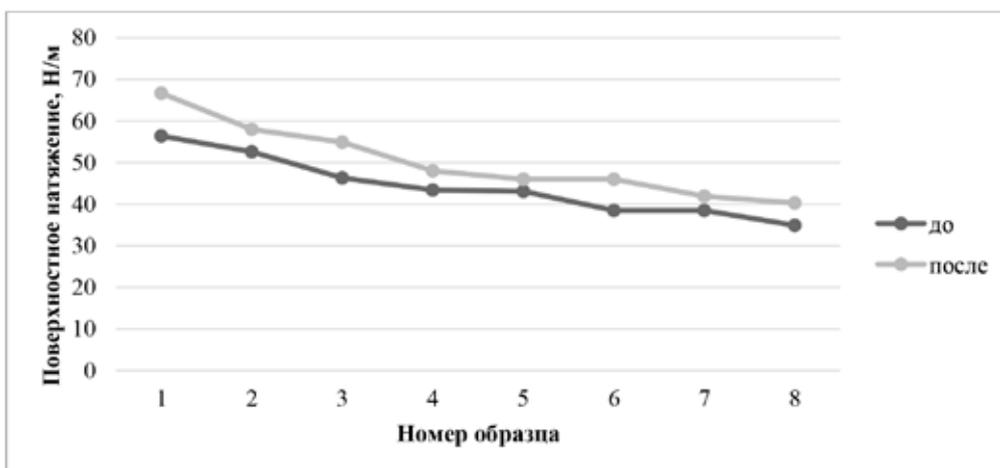


Рис. 1. Поверхностное натяжение растворов катамина различной концентрации до и после контакта с угольной пылью

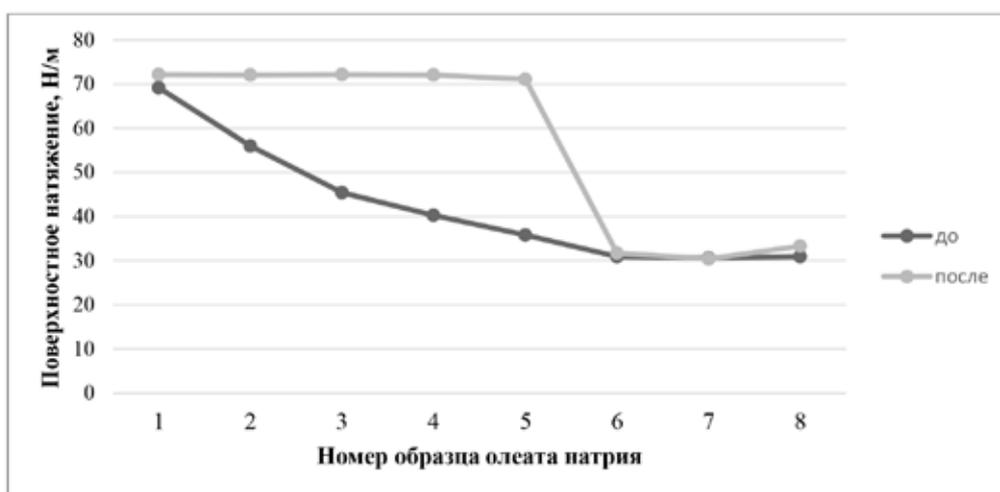


Рис. 2. Поверхностное натяжение растворов олеата натрия различной концентрации до и после контакта с угольной пылью

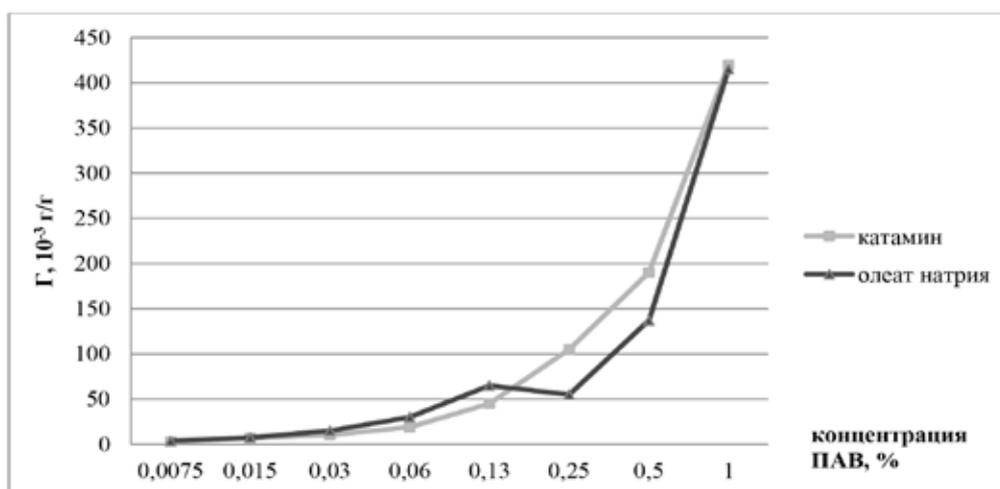


Рис. 3. Масса адсорбированного ПАВ в расчете на 1 г угольной пыли

Можно предположить, что адсорбция исследуемых ПАВ на поверхности угля уменьшает силы внутренней когезии воды и позволяет ей легче смачивать поверхность угольной пыли. Следует отметить, что в литературных источниках поверхностное натяжение раствора около 45 Н/м оценивается как критическое для эффективного смачивания частиц угля [5]. В случае катамина и олеата натрия такое поверхностное натяжение наблюдается для растворов с концентрацией катамина 0,06%, для олеата натрия – 0,03%.

В ходе эксперимента обнаружено, что после контакта с углем поверхностное натяжение растворов возрастает. Это может быть интерпретировано как следствие уменьшения концентрации ПАВ в растворе вследствие поглощения молекул ПАВ угольной пылью. Полученные в результате исследования данные представлены на рисунке 3.

Анализ зависимости массы адсорбированного ПАВ на угольной пыли позволяет выявить влияние концентрации поверхностно-активных веществ на степень их адсорбции на поверхности угольной пыли. При низких концентрациях ПАВ наблюдается небольшая величина адсорбции, по мере увеличения концентрации адсорбция резко возрастает. Причем резкое возрастание адсорбции наблюдается при критической концентрации ПАВ, необходимой для эффективного смачивания частиц угля.

Угольная поверхность гидрофобна, и поверхностно-активные вещества адсорбируются на ней своими гидрофобными частями. В молекуле катамина гидрофобен катион, а в олеате натрия – анион. Следует подчеркнуть, что адсорбция олеата натрия на поверхности угля в диапазоне концентраций от 0,015% до 0,06% превосходит адсорбцию катамина. С другой стороны, адсорбция катамина при концентрациях от 0,13% до 1% оказывается немного выше, чем у олеата натрия. Можно предположить, что это различие связано с влиянием молекулярной массы и химической природы углеводородных радикалов на процесс адсорбции поверхностно-активных веществ на угольной поверхности [10]. Катамин обладает большей молекулярной массой по сравнению с олеатом натрия. Кроме того, в случае алкилдиметилбензиламмоний хлорида, помимо молекулярной массы, стоит учесть и наличие ароматических углеводородных радикалов в его составе. Эти ароматические группы могут играть важную роль во взаимодействии этого соединения с по-

верхностью угля. Молекулы ПАВ, содержащие ароматические углеводородные радикалы, могут обладать преимуществом в процессе адсорбции на гидрофобной угольной поверхности. Гидрофильные части ПАВ взаимодействуют с водой, обуславливая лучшее смачивание частиц угольной пыли, тем самым ускоряя процесс ее оседания.

Выводы

На основе проведенного анализа и экспериментов можно сделать следующие ключевые выводы.

1. Исследовано взаимодействие катионного и анионного поверхностно-активных веществ с угольной пылью. Установлено, что катамин (катионное ПАВ) и олеат натрия (анионное ПАВ) существенно снижают поверхностное натяжение воды уже при малых концентрациях (0,03% для олеата натрия, 0,06% для катамина). Причем концентрация олеата натрия, при которой достигается поверхностное натяжение раствора около 45 Н/м (критическое для эффективного смачивания частиц угля), в два раза меньше, чем для катамина. Данный факт имеет важное значение для разработки рациональных подходов использования воздушных ресурсов и минимизации влияния химических составов смачивателей (посредством использования смесей реагентов с низкой концентрацией) на окружающую среду.

2. Несмотря на различия в химической природе катионных и анионных ПАВ, наблюдается лишь небольшое различие в степени их адсорбции на поверхности угольной пыли. Это свидетельствует о том, что выбор типа ПАВ для пылеподавления может быть основан на других факторах, таких как их токсичность или биоразлагаемость.

Исследование имеет важное значение для разработки эффективных методов подавления угольной пыли, что может сократить риски для окружающей среды и здоровья человека в угольной промышленности. Эти результаты также могут привести к разработке улучшенных технологий, связанных с добычей, транспортировкой и переработкой каменного угля, и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

На практике поверхностно-активные вещества обладают хорошей смачиваемостью, снижают поверхностное натяжение водных растворов и могут способствовать адсорбции воды на частицах угля, поэтому распыление растворов поверхностно-активных веществ на угольную пыль, находящуюся в воздухе, снижает запыленность. Ка-

чество поверхностно-активного вещества оказывает прямое влияние на эффективность пылеподавления.

Результаты этого исследования могут быть использованы в качестве ориентира для дальнейшего выбора поверхностно-активных веществ с лучшим пылеподавляющим эффектом при добыче угля.

Список литературы

1. Zhao Z., Chang P., Xu G., Xie Q., Ghosh A. Comparison of static tests and dynamic tests for coal dust surfactants evaluation: A review // *Fuel*. 2022. Vol. 330. P. 125625.
2. Строкова В.В., Ишмухаметов Э.М., Есина А.Ю., Маркова И.Ю., Губарева Е.Н., Абзалилова А.В., Шаповалов Н.А. Пылеподавляющие составы на водной основе: анализ состояния и перспективы развития // *Вестник Технологического университета*. 2021. Т. 24. № 12. С. 5-38.
3. Бортников С.В., Горенкова Г.А. Смачиватель для подавления угольной пыли // Патент РФ № 2689469. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова». 2019. Бюл. № 16.
4. Zhao Z., Chang P., Xu G., Ghosh A., Li D., Huang J. Comparison of the coal dust suppression performance of surfactants using static test and dynamic test // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 328. P. 129633. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129633.
5. Гаврилова Д.И. Изучение взаимодействия углей с полимерными эмульсиями различного состава // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. № 12. С. 86–101. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-86-101.
6. Коршунов Г.И., Мазаник Е.В., Ерзин А.Х., Корнев А.В. Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 3. С. 55-61.
7. Chang P., Zhao Z., Xu G., Ghosh A., Huang J., Yang T. Evaluation of the coal dust suppression efficiency of different surfactants: A factorial experiment // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020. Vol. 595. P. 124686. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2020.124686.
8. Zhou Q., Qin B. Coal dust suppression based on water mediums: A review of technologies and influencing factors // *Fuel*. 2021. Vol. 302. P. 121196. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121196.
9. Xu G., Chen Y., Eksteen J., Xu J. Surfactant-aided coal dust suppression: A review of evaluation methods and influencing factors // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 639. P. 1060-1076. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2028.05.182.
10. Муллина Э.Р., Мишурина О.А. Исследование адсорбции сложных эфиров линейного строения на поверхности газовых углей // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 12. С. 26-30.

УДК 911.9
DOI 10.17513/use.38143

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ТУМАННАЯ (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)

Горбатенко Л.В.

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

Рассматривается гидрологический режим трансграничной реки Туманная за 1960–2020 гг. Практически вся часть водосбора реки находится на территории КНР и КНДР, створ наблюдений за уровнями воды расположен в 17 км от устья. Оценивалась динамика среднегодовых, максимальных и минимальных в году, а также среднемесячных значений уровней воды. Пропущенные значения данных наблюдений заполнены с использованием средних значений, методов линейной регрессии и интерполяции. Анализ данных показал, что многолетним рядом большинства рассматриваемых уровней характеристик свойственно наличие отрицательного тренда. Исключение составляют ряды максимальных в году уровней и средних уровней мая. Согласно критерию Фишера неоднородными по дисперсии являются ряды среднегодовых и минимальных в году уровней воды и уровней за отдельные месяцы. Применение статистических критериев Стьюдента и Манна – Уитни выявило, что ряды значений среднегодовых, минимальных в году и среднемесячных за март, апрель и октябрь – декабрь уровней воды реки в створе п. Хасан не являются однородными (стационарными), после 1985 г. достоверно изменились их средние значения. Достоверный тренд среднемесячных уровней по критерию Стьюдента подтвержден для апреля, июня и октября. В последние 10 лет (2010–2020 гг.) участились случаи превышения уровнем воды отметки опасного явления. Максимальное превышение имело место в 2016 г. во время тайфуна Лайонрок, при этом был размыв берег реки на ширину от 3 до 10 м, а построенное в 2008 г. берегоукрепление было частично разрушено.

Ключевые слова: река Туманная, гидрологический режим, статистические критерии, неоднородность рядов, уровни воды, отрицательный тренд

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE TRANSBOUNDARY TUMEN RIVER (RUSSIAN PART)

Gorbatenko L.V.

*Pacific Geographical Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, e-mail: glv@tigdvo.ru*

The hydrological regime of the transboundary basin of the Tumen River in 1960–2020 is considered. Most of the river watershed is located on the territory of the PRC and the DPRK. The water level gauging station is placed in 17 km from the mouth. The dynamics of average annual, maximum and minimum per year, as well as average monthly water levels were assessed. Missing values in observational data are imputed using means, linear regression and interpolation methods. Analysis of the data showed that the long-term series of most of the considered parameters are characterized by the presence of a negative trend. The exception is the series of the year maximum levels and average levels in May. According to the Fisher criterion, the series of average annual and minimum annual water levels and levels for certain months are not homogeneous in dispersion. The application of the Student and Mann-Whitney statistical tests revealed that the series of values of the average annual, year minimum and average monthly for March, April and October-December river water levels at the Khasan station are not homogeneous; after 1985 their average values significantly changed. In the last 10 years (2010–2020), cases of water levels exceeding the marks of a dangerous phenomenon have become more frequent. The maximum excess occurred in 2016 during Lionroc Typhoon, when the river bank was washed away to a width from 3 to 10 m, and the bank protection built in 2008 was partially destroyed.

Keywords: Tumen River, hydrological regime, water levels, statistical criteria, non-homogeneous of data series, negative trend

Изменения режима рек вследствие климатических, а также нередко и антропогенных причин происходят во многих регионах мира, в частности на территории РФ. У динамики различных гидрологических характеристик водотоков территории России нет единых закономерностей. Так, например, для европейской части страны прослежена тенденция небольшого увеличения годового стока; в то же время установлено снижение максимального стока для рек бассейнов нижней Волги, Дона, Днепра, южной части бассейна Оки, для

большинства из них значительное. Сток рек Сибири и Дальнего Востока, впадающих в северные моря, растет, сток рек восточнее р. Колыма, включая реки полуострова Камчатка, рек южных частей водосборов Оби, Енисея и Лены, крупных притоков р. Селенга снижается. Рост годовых расходов воды отмечен для рек южного Приморья [1]. Минимальный сток (зимний и периода открытого русла) значимо увеличился на большинстве створов в бассейнах р. Ангары и Лены [2]. Снижился годовой сток одного из главных притоков трансграничной

р. Амур – р. Сунгари. Отмечено снижение после 1985 г. и стока р. Туманная, второй по площади водосбора после р. Амур трансграничной реки на территории Дальнего Востока [3]. Часто наряду с изменениями режима рек отмечается повышение частоты катастрофических гидрологических событий. Предполагается, что в ближайшие десятилетия рост повторяемости максимальных паводков согласно модельным прогнозам можно ожидать на реках Сибири и Дальнего Востока [1].

Исток р. Туманная находится на восточном склоне г. Чанбайшань, общая длина реки составляет 549 км, площадь водосбора 33,8 тыс. км² [4], основные притоки на китайской стороне – р. Гайя и Хуньчунь. На российской территории площадью 26 км² находится всего 17 км устьевое участка реки, по фарватеру которой проходит государственная граница между РФ и КНДР. Основная часть бассейна реки

(70%) расположена в Яньбэнь-Корейском автономном округе провинции Цзилинь КНР, 30% – в провинции Хамген КНДР. Среднегодовой сток реки по данным китайской станции Цюаньхэ (площадь водосбора 31 800 км²), расположенной на расстоянии 40 км от устья, равен 215 м³/с [5].

Российская часть бассейна реки составляет около 0,1%, но она испытывает серьезные последствия от наводнений, формирующихся выше по течению на территории КНР и КНДР. На пограничном участке реки во время крупных паводков происходят значительные русловые деформации, разрушение российского берега, что приводит к прямым территориальным потерям РФ. На отдельных участках русла с 1950 г. уже произошло смещение берега на 250–300 м. В 2008 г. для предотвращения сдвига фарватера реки были построены берегоукрепительные сооружения длиной более 13 км.

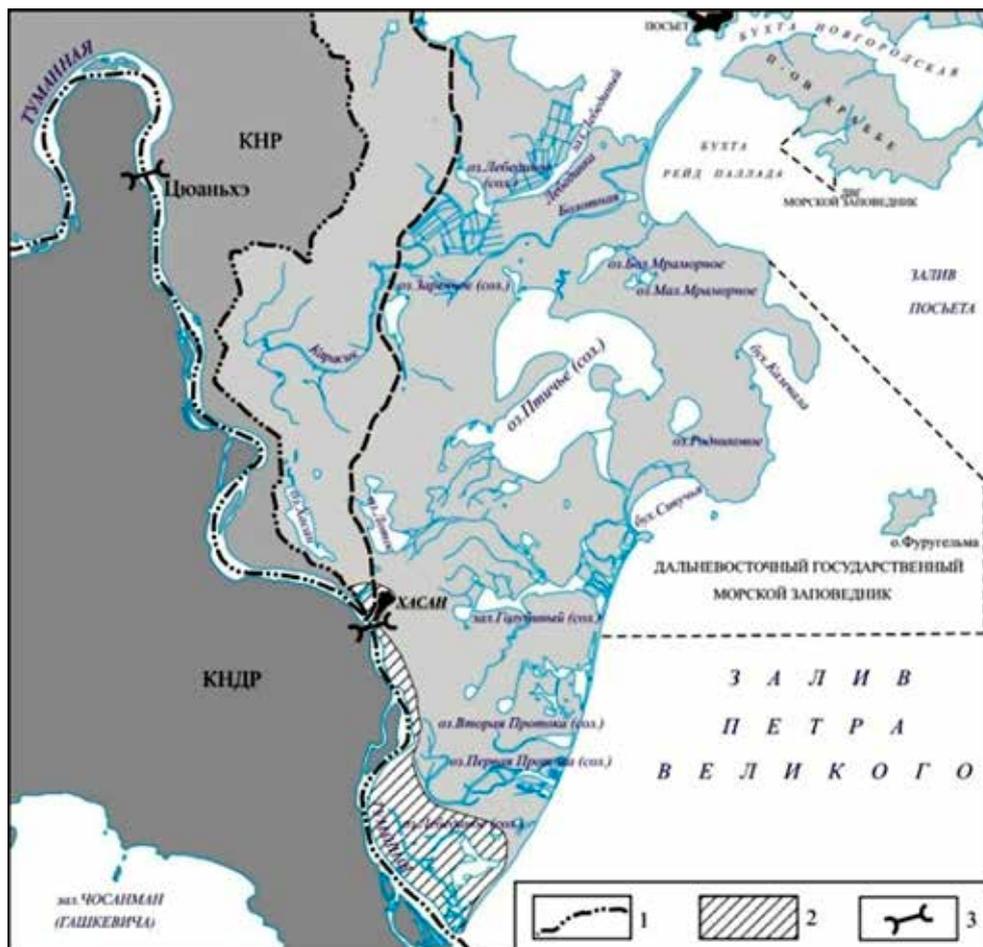


Рис. 1. Российская часть бассейна р. Туманная и прилегающие территории:
1 – граница бассейна реки; 2 – российская часть бассейна; 3 – гидрологические посты наблюдений

В связи с этим актуально проанализировать гидрологический режим реки, его особенности, приводящие к негативному воздействию вод. Цель исследования заключается в оценке многолетних колебаний различных характеристик уровня режима р. Туманная и их изменений. До настоящего времени подобные оценки для российской части бассейна реки не проводились.

Материалы и методы исследования

Гидрологический режим р. Туманная в устьевой части (рис. 1) проанализирован на основе данных об уровнях воды (среднегодовых, минимальных и максимальных среднесуточных в году, среднемесячных), так как российский пост наблюдений только уровень. Он находится на западной окраине железнодорожной станции Хасан. На участке поста долина реки резко расширяется, пойма имеет ширину 6 км, затапливается при уровне 700 см, отметка опасного явления – 750 см. Поскольку до 15 октября 1959 г. створ находился в 200 м выше, использованы данные об уровнях воды за 1960–2020 гг.

Ряды данных наблюдений не являются непрерывными, слабо коррелированы между собой, за исключением среднемесячных уровней ноября – декабря и января – марта, автокорреляция среднегодовых значений уровней в многолетнем ряду слабая. Для зимних месяцев пропуски в рядах среднемесячных значений уровней заполнены с использованием метода линейной регрессии. Для остальных месяцев, а также для средних за год значений для этой цели использовались осредненные величины уровней воды, а также интерполяция. Проверка рядов наблюдений на однородность при уровне значимости 0,05 проводилась с использованием широко применяемых статистических критериев Фишера, Стьюдента и Манна – Уитни [6–8], на значимость трендов – критерия Стьюдента по отношению к коэффициенту регрессии. Общий ряд наблюдений, с учетом данных, изложенных в [3], был разбит на подпериоды: 1960–1985 и 1986–2020 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

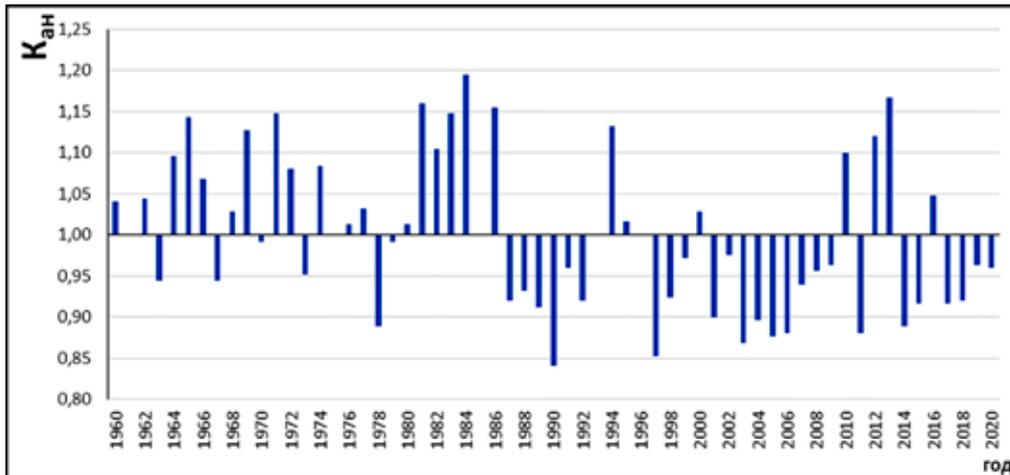
Диапазон колебаний среднегодовых и минимальных в году зимних уровней воды р. Туманная у п. Хасан в целом за 1960–2020 гг. не очень значителен: 212–301 см и 162–265 см соответственно. Наибольшим он был у многолетних колебаний макси-

мальных в году среднесуточных уровней (299–863 см), в среднем они превышали меженные зимние почти в 3 раза (2,8), в отдельные годы это превышение достигало 3,5–4 раз. Наибольшее превышение максимального уровня (863 см, 2016 г.) над уровнем зимней межени (162 см, 1968 г.) за весь анализируемый период составило более 7 м.

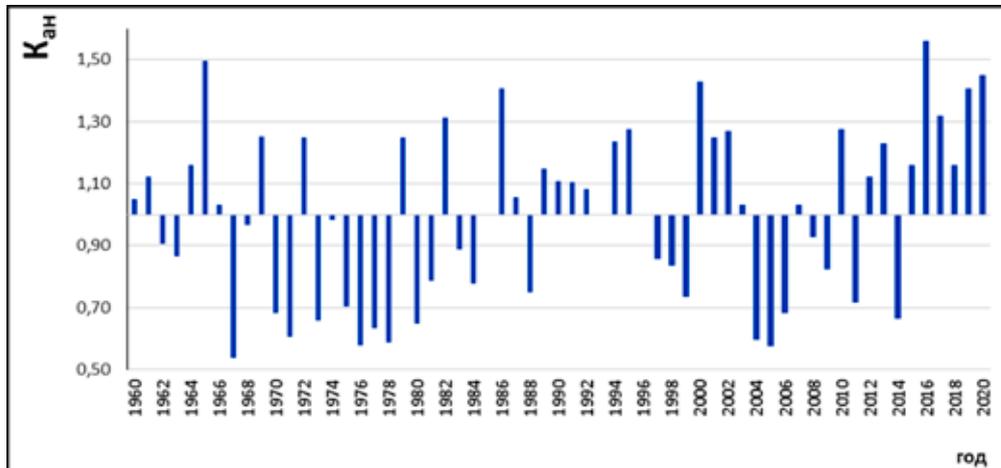
Анализ характера чередования многоводных и маловодных лет в многолетней динамике среднегодовых уровней воды р. Туманная, проведенный с помощью коэффициентов аномалий их значений (отношение значения уровня i -го года к среднему за период), показал, что выделяются два периода с четкими различиями в величинах уровней (рис. 2, а). После 1986 г. фиксируется маловодный период, характеризующийся преобладанием значений годовых уровней ниже среднемноголетних величин (71%). До 1986 г. включительно в ряду годовых уровней преобладали значения выше среднемноголетних, их количество составляет 65%. Рассчитанные коэффициенты аномалий максимальных в году уровней свидетельствуют, что с 2010 г. наблюдается почти непрерывная группировка лет с их повышенными значениями, превышающими среднемноголетние (553 см) на 12–56% в зависимости от года. Исключение составляют 2011 и 2014 гг., когда значения максимальных уровней были ниже средних за рассматриваемый период (рис. 2, б).

Визуальный анализ графического отображения многолетней динамики данных характеристик дает основания предположить, что ряды их значений не являются однородными (рис. 3, а и б).

Проверка многолетних рядов годовых значений, среднесуточных минимальных и максимальных в году уровней воды на однородность по критериям Фишера и Стьюдента показала, что неоднородными по дисперсии являются ряды значений среднегодовых и минимальных в году уровней, а неоднородными по среднему являются ряды всех трех характеристик. В 1986–2020 гг. (второй интервал разбиения исходного ряда) размах колебаний среднегодовых уровней незначительно увеличился по отношению к значениям за 1960–1985 гг., минимальных и максимальных в году уровней снизился. Средние значения годовых и минимальных в году уровней снизились с 264 до 243 и с 209 до 188 (на 8 и 10% соответственно); значения максимальных в году уровней увеличились с 505 до 589 см (на 17%).



а) среднегодовые уровни



б) максимальные в году уровни

Рис. 2. Коэффициенты аномалий значений уровней воды р. Туманная (ст. Хасан)

Таблица 1

Многолетние характеристики уровней воды по месяцам, см

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
среднее (I)	217	217	225	245	260	293	301	336	315	258	244	241
среднее (II)	201	200	204	222	251	265	288	309	292	229	214	207
снижение, см (%)	16 (7)	17 (8)	21 (9)	23 (9)	9 (3)	28 (10)	13 (4)	27 (8)	23 (7)	29 (11)	30 (12)	34 (14)
SD (I)	26	28	25	25	33	60	52	61	59	29	29	34
SD (II)	35	30	23	25	44	47	55	74	74	39	45	40
изменение, см/%	9 (35)	2 (7)	-2 (-8)	0 (0)	11 (33)	-13 (-22)	3 (6)	13 (21)	15 (25)	10 (34)	16 (55)	6 (18)

Примечание. I, II – подпериоды (1960–1985, 1986–2020 гг.); SD – стандартное отклонение.

Использование критерия Манна – Уитни не подтвердило неоднородности рядов значений только максимальных в году уровней

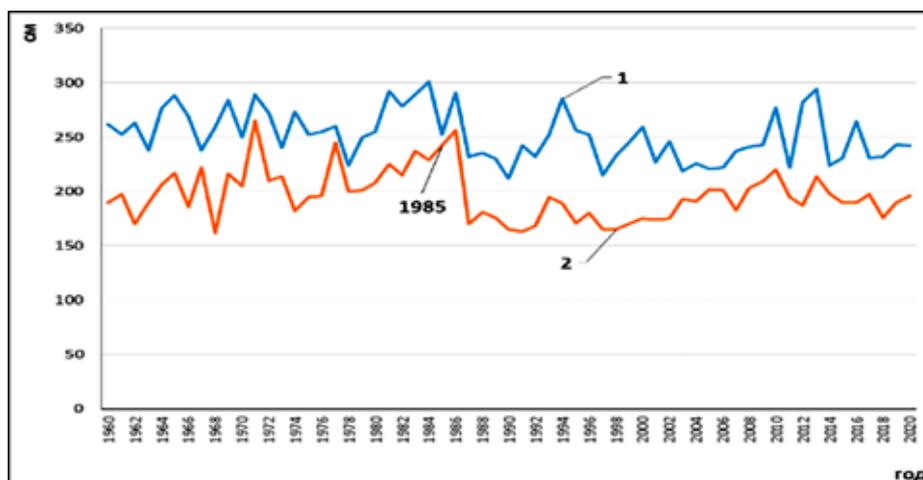
воды. Достоверным по критерию Стьюдента является линейный тренд на снижение для годовых уровней.

Режим уровней внутри года по месяцам. Многолетние колебания среднемесячных уровней значительно различаются. Коэффициенты вариации рядов значений изменяются от 0,11 (март, апрель) до 0,21–0,23 (август, сентябрь). Рассчитанные уравнения линейного тренда показывают, что для всех месяцев, за исключением мая, тренд отрицательный. Наиболее всего среднемесячные уровни воды снизились в октябре – декабре (более чем на 10%) (табл. 1).

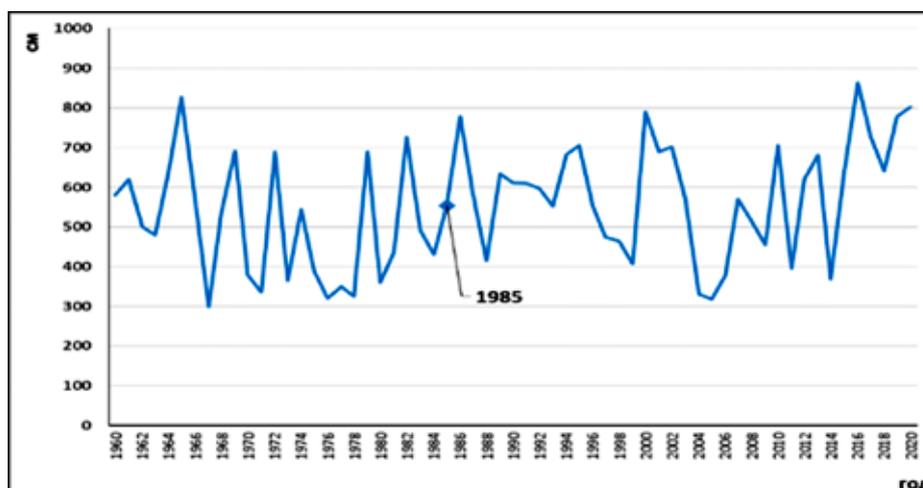
Проверка рядов среднемесячных значений уровней воды по критериям Стьюдента (с учетом разности дисперсий) и Манна – Уитни показала, что неоднородными по среднему значению являются ряды уровней в марте, апреле и октябре – декабре, для этих месяцев результаты применения критериев совпадают. Значимость тренда по критерию Стьюдента подтверждена

только для апреля, июня и октября (табл. 2). Наибольшими темпами значения уровней воды в р. Туманная за период с 1960 по 2020 г. снижались в июне и августе, в среднем на 0,82 и 0,96 см в год (рис. 4).

Опасность наводнений. За период с 1960 по 2020 г. вода р. Туманная выходила на пойму 11 раз, при этом отметки опасного явления (750 см) за рассматриваемый период были превышены в 1965, 1986, 2000, 2016, 2019 и 2020 гг. на величину от 28 до 113 см, т.е. половина случаев наводнений на российской части бассейна наблюдалась в период с 2010 по 2020 г. Максимальное за 61-летний период наблюдений превышение имело место в 2016 г. во время тайфуна Лайонрок, когда уровень воды достигал 863 см (обеспеченность 1,64%) и был размыв берег реки на ширину от 3 до 10 м, построенное берегоукрепление частично разрушено.



а) среднегодовые (1) и минимальные в году (2) уровни воды



б) максимальные в году уровни воды

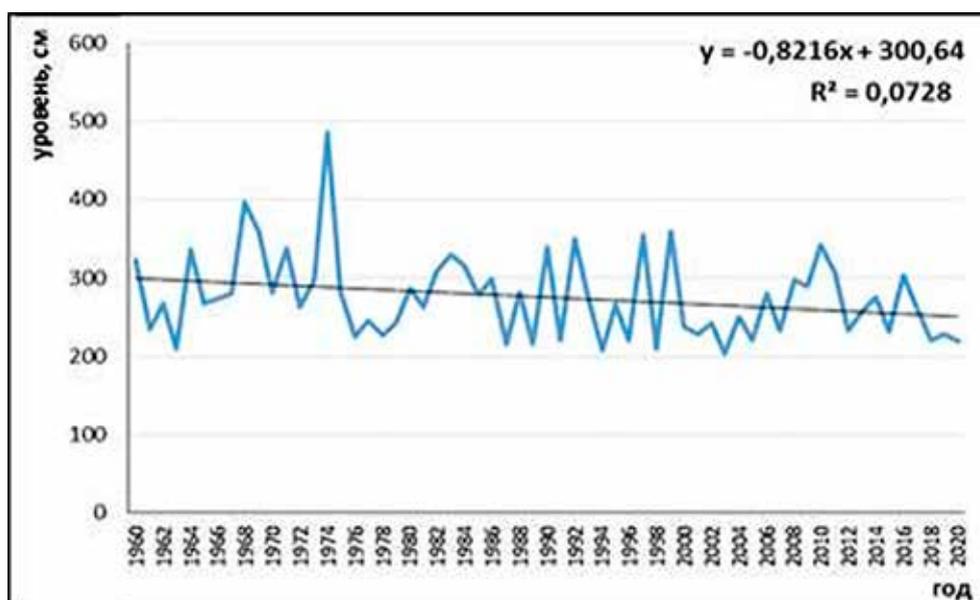
Рис. 3. Характеристики гидрологического режима р. Туманная, 1960–2020 гг.

Таблица 2

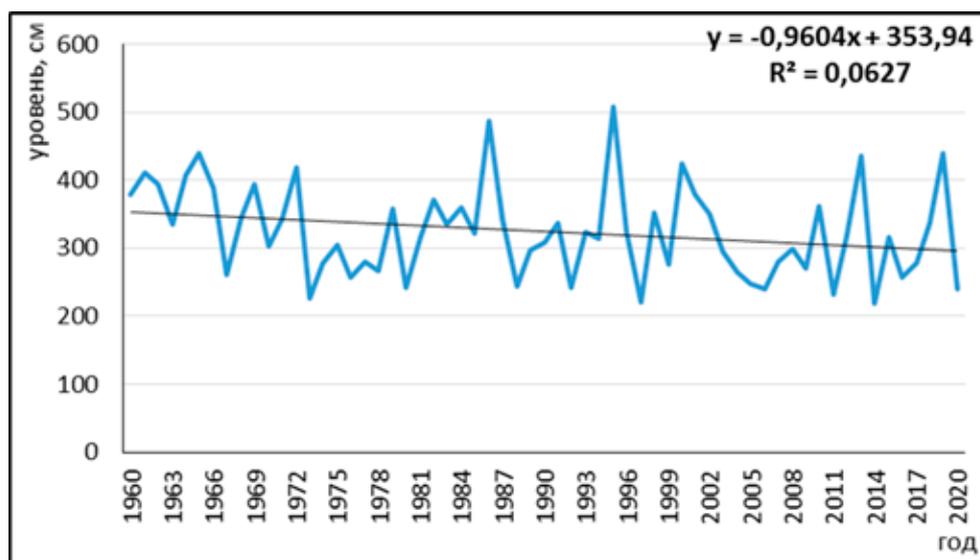
Оценка однородности и значимости трендов рядов наблюдений за уровнями воды по месяцам воды на р. Туманная – п. Хасан

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Оценка однородности													
Критерий Фишера ($p = 0,05$)	О	О	О	Н	Н	О	Н	Н	Н	Н	О	Н	
Критерий Стью-дента ($p = 0,05$)	О	Н	Н	Н	О	Н	О	О	О	Н	Н	Н	
Критерий Манна – Уитни	О	О	Н	Н	О	О	О	О	О	Н	Н	Н	
Оценка значи-мости трендов	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-

Примечание. О – однородный; Н – неоднородный; «+» – тренд значимый; «-» – незначимый.



а) июнь, 1960–2020 гг.



б) август, 1960–2020 гг.

Рис. 4. Многолетняя динамика уровней воды р. Туманная – п. Хасан по отдельным месяцам

Заключение

Полученные оценки хорошо согласуются с данными о снижении водности р. Туманная, опубликованными ранее китайскими исследователями, но касающимися только годового стока (по данным станции наблюдений Цюаньхэ за 1959–2011 гг.). В результате проведенной работы выявлены изменения различных характеристик гидрологического режима реки, общей закономерностью которых является отрицательный линейный тренд рядов почти всех проанализированных характеристик уровней с темпами их снижения в целом за 1960–2020 гг. от 0,1 до 1 см в год. Исключения составляют максимальные в году уровни, увеличивавшиеся в течение 61 года согласно рассчитанному уравнению регрессии на 2 см в год, и уровни мая с условным ростом 0,05 см в год. Достоверность тренда подтверждена по критерию Стьюдента для средних уровней за год, а также за апрель и октябрь. Размах межгодовых колебаний характеристик, напротив, увеличился, за исключением максимальных и минимальных в году суточных уровней и средних уровней марта и июня. Половина случаев превышения уровней отметки опасного явления (3 из 6) наблюдалась в 2010–2020 гг., что свидетельствует об увеличении их повторяемости. Исторический максимум уровня наблюдался в 2016 г. во время тайфуна Лайонрок, когда во время наводнения при отметке уровня в 863 см (обеспеченность 1,64%) берегоукрепление на российском берегу реки было частично разрушено. Таким образом, максимальные в году суточные уровни – это единственная характеристика, значения которой увеличивались с середины 1980-х гг., при этом выросла частота случаев превышения уровней отметки опасного явления. Все это свидетельствует о возможности в дальнейшем усилении катастрофичности опасных гидрологических событий.

Для подобного рода оценок важно определение предположительной «точки перелома», года, после которого изменяется тенденция динамики гидрологического режима. Практически все исследованные характеристики имели локальные пиковые значения в 1986 г., что расходится с данными по ст. Цюаньхэ, возможно потому, что из-за отсутствия в 1985 г. наблюдений на ст. Хасан пропущенные значения были заменены средними.

Возможно, на формирование неоднородности исследуемых характеристик уровня режима р. Туманная у п. Хасан помимо климатического оказывает влияние и антропогенный фактор, т.е. характер использования территории водосбора реки, а также большое количество построенных на китайской части водохранилищ различной емкости. Зарегулирование притоков реки привело к значительному снижению размаха колебаний минимальных в году (зимних) уровней воды, в меньшей степени оказало влияние на межгодовые вариации максимальных в году их значений из-за небольших размеров водохранилищ и, возможно, отсутствия в них противопаводочной емкости.

Полученные результаты дают определенное понимание закономерностей изменений гидрологического режима р. Туманная и могут быть использованы для прогноза различных характеристик водности реки, а также для обоснования проектов реконструкции защитных берегоукрепительных сооружений.

Список литературы

1. Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021. Т. 7, № 1. С. 36–79. DOI: 10.21513/2410_8758_2021_1_36_79.
2. Кичигина Н.В., Воропай Н.Н. Современные гидроклиматические изменения в Байкальском регионе // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2021. Т. 3. Вып. 4. С. 373–390. DOI: 10.34753/HS.2021.3.4.373.
3. Liu Lu-Liu, Du Jian-Junb. Documented changes in annual runoff and attribution since the 1950s within selected rivers in China // *Advances in Climate Change Research*. 2017. Vol. 8, Is. 1. P. 37–47.
4. Drainage basins of the sea of Okhotsk and sea of Japan [Электронный ресурс]. URL: https://unece.org/DAM/env/water/blanks/assessment/okhotsk_japan.pdf (дата обращения: 07.07.2023).
5. Tian Wei, Yu Muqing, Wang Guoping. Pollution trend in the tumen river and its influence on regional development // *Chinese Geographical Science*. 1999. Vol. 9. № 2. P. 146–150.
6. Наумов В.А. Методы обработки гидрологической информации // *Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования*. 2015. № 7. С. 144–150.
7. Наумов В.А. Результаты статистического анализа региональных гидрологических и климатических рядов // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2016. Т. 2, № 3. С. 1–6.
8. Лепихин А.П., Возняк А.А., Тиунов А.А., Богомолов А.В. К проблеме корректности методов расчетов и задания исходной гидрологической и гидрохимической информации при регламентации техногенных воздействий на водные объекты // *Водное хозяйство России*. 2017. № 1. С. 58–77.

УДК 556.314:504.064.2
DOI 10.17513/use.38144

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹Колубаева Ю.В., ^{1,2}Иванова И.С., ^{2,3}Широкова Л.С.

¹ФГБУН Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: Kolubaeva@inbox.ru;

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск;

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаврова» Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск

В работе приведены результаты исследований химического состава природных вод (подземных, речных и озерных) Ямало-Ненецкого автономного округа. Вода является жизненно важным ресурсом, качество и доступность которого влияют на здоровье и благополучие человека. Как правило, население крупных городов использует подземные воды централизованных систем водоснабжения, вместе с тем население отдаленных районов, а также и коренные жители, ведущие кочевой образ жизни, пьют воду непосредственно из рек и водоемов без какой-либо водоподготовки. Природные воды территории исследований подвержены влиянию как природных, так и антропогенных факторов, что может отражаться на их химическом составе. Анализ результатов химического состава природных вод на несоответствие гигиеническим нормативам показал, что по обобщенным показателям качества вод и элементам макрокомпонентного состава, как правило, превышений относительно ПДК не обнаружено. Исключением является органический углерод, содержания которого максимальны в озерных водах и минимальны в более глубоких подземных водах. Среди элементов микрокомпонентного состава вод обнаружены превышения относительно установленных нормативов для железа и марганца. Данные по содержанию в водах железа и марганца использовались для оценки неканцерогенного риска для детской (до 6 лет) и взрослой возрастных групп, при этом рассматривался только пероральный путь поступления химических веществ в организм с питьевой водой. Установлено, что основной неканцерогенный риск для здоровья человека создает железо, для которого определены для обеих возрастных групп настораживающий уровень и для детской возрастной группы высокий уровень риска. При употреблении вод с высоким содержанием железа существует опасность возникновения заболеваний неинфекционного характера. Употребление речных и тем более озерных вод, содержащих высокие концентрации органических веществ, влияющих на органолептические свойства воды, может способствовать ухудшению здоровья людей.

Ключевые слова: водоснабжение, химический состав, общее железо, растворенное органическое вещество, здоровье населения, неканцерогенный риск

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки России 13.2251.21.0130 (номер соглашения в Государственной интегрированной информационной системе управления общественными финансами «Электронный бюджет» 075-15-2022-241/2).

FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL WATER AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH ON THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

¹Kolubaeva Yu.V., ^{1,2}Ivanova I.S., ^{2,3}Shirokova L.S.

¹Tomsk branch of the A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: Kolubaeva@inbox.ru;

²National Research Tomsk State University, Tomsk;

³N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk

The results of studies of the chemical composition of natural waters (ground, river and lake waters) of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug are presented in the article. Water is a vital resource, the quality and availability of which affects human health and well-being. As a rule, the population of large cities uses groundwater from centralized water supply systems; however, the population of rural areas, as well as indigenous nomadic populations, drink water directly from rivers and water bodies without any water treatment. The natural water of the study area is affected by environmental and anthropogenic factors, which may be affected by their chemical composition. Analysis of the results of the chemical composition of natural waters for non-compliance with hygienic standards demonstrated that, as a rule, no exceedances of threshold limit value (TLV) were found for generalized water quality indicators and elements of macro-component composition. The exception is organic carbon, the content of which is maximum in lake waters and minimum in deeper groundwater. Among the elements of microcomponent composition, were found to exceed the limits for iron and manganese. The data on the content of iron and manganese in water were used for assessment of non-carcinogenic risk for children (up to 6 years old) and adult age groups, considering only the oral route of chemical substances into the body with drinking water. It was found that the main non-carcinogenic risk to human health is from iron, for which both age groups are identified as alarming and the

children's age group as high risk. The use of water with a high iron content carries the risk of non-communicable diseases. The consumption of river and lake waters that contain high concentrations of organic matter, which affect the organoleptic properties of the water, may contribute to the decline in human health.

Keywords: water supply, chemical composition, total iron, dissolved organic matter, public health, non-carcinogenic risk

The work was carried out with financial support from the Russian Ministry of Education and Science grant 13.2251.21.0130 (agreement number in the State Integrated Information System for Public Finance Management "Electronic Budget" 075-15-2022-241/2).

Вода как один из факторов, оказывающих влияние на здоровье населения, может рассматриваться как с положительной, так и с негативной стороны. При этом негативная сторона, связанная с возрастающим техногенным загрязнением не только рек и водоемов, но и подземных вод, на сегодняшний день вызывает все большее беспокойство. Вода для человека является жизненно важным ресурсом, доступ к которому способствует социально-экономическому развитию территорий и определяет уровень жизни населения, заболеваемость которого может быть обусловлена качеством воды [1]. Об этом свидетельствуют данные экспертов ВОЗ, по которым около 80% заболеваний прямо или косвенно связаны с особенностями водного фактора. На территории Ямало-Ненецкого автономного округа около 20% населения использует для хозяйственно-питьевых нужд воду, не отвечающую санитарным нормам. Как известно, на севере Западной Сибири сосредоточены огромные запасы углеводородного сырья, активная добыча которого способствует социально-экономическому развитию территорий. Однако увеличивающаяся с каждым годом антропогенная нагрузка, вызванная интенсивным освоением арктических территорий Западной Сибири, несомненно, оказывает влияние на все компоненты окружающей среды, в том числе и на природные воды, где нефть (в том числе и нефтепродукты – фенолы, полиароматические соединения) является одним из основных загрязнителей, поступление которых происходит главным образом при аварийных разливах из трубопроводов [2, 3].

Активная добыча углеводородов, заболоченность, климатические изменения, наличие многолетнемерзлых пород – все это, несомненно, оказывает влияние на химический состав природных вод данной зоны. Кроме того, многолетнемерзлые породы осложняют доступ населения к питьевым пресным подземным водам, которые являются наиболее приоритетными при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения в силу своей защищенности от возможного антропогенного загрязнения. Следует также

отметить, что коренное население Арктики ведет кочевой образ жизни и употребляет «сырую» воду (без какой-либо водоподготовки) непосредственно из рек и водоемов [4]. В этой связи целью исследования является изучение химического состава подземных вод, а также озерных и речных вод, которые могут использоваться населением в качестве возможных источников питьевых вод; проверка данных химического анализа вод на соответствие нормативам качества; оценка неканцерогенного риска для здоровья, обусловленного употреблением вод с высокими концентрациями содержащихся в них компонентов.

Материалы и методы исследования

В 2020–2022 гг. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН были проведены комплексные гидрогеохимические исследования, результаты которых положены в основу данной работы. В результате проведенных экспедиционных работ из водозаборных скважин глубиной от 5 до 244 м было отобрано 25 проб подземных вод, также в качестве возможных источников питьевых вод дополнительно были отобраны пробы из 13 рек и 6 крупных озер (рис. 1).

В каждой точке опробования проводились измерения быстроменяющихся показателей: температуры, pH, электропроводности, окислительно-восстановительного потенциала. На базе лаборатории ТФ ИНГГ СО РАН были определены содержания основных макрокомпонентов (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) и биогенных соединений (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}) методом капиллярного электрофореза («Капель-205», Люмэкс, Россия); концентрации HCO_3^- определены методом титрования. Содержание растворенного органического углерода (Cорг) определено методом высокотемпературного каталитического окисления (ТОС-6000, Shimadzu, Япония) в Лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (GET, Франция), концентрации микроэлементов определены методом ICP-MS (Agilent 7500, Agilent Technologies, США).

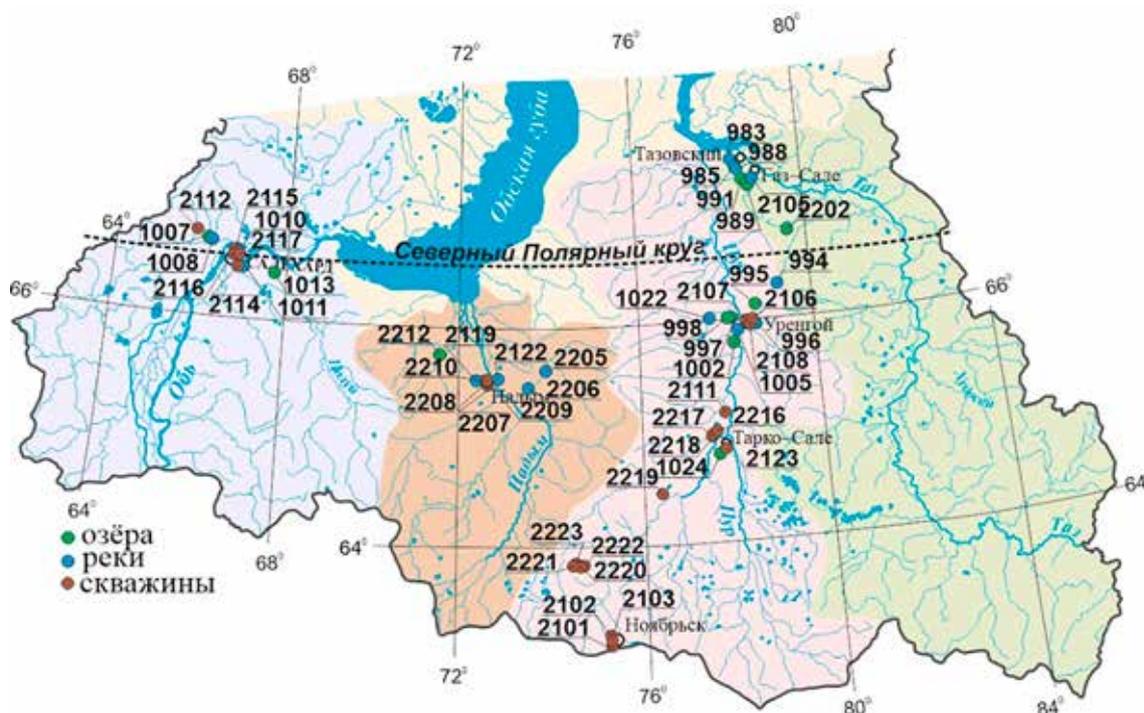


Рис. 1. Схема отбора проб природных вод на территории ЯНАО

Наименование химического типа воды дано с учетом содержания макрокомпонентов более 25 мг-экв% в порядке убывания их концентрации. При оценке содержания в воде компонентов использовали гигиенические нормативы, утвержденные СанПиН 1.2.3685-21 [5].

Оценка риска для здоровья проведена с учетом развития неканцерогенных эффектов при воздействии химических веществ, загрязняющих источники водоснабжения. Неканцерогенные эффекты выражаются в отсутствии опасности развития злокачественных новообразований при воздействии факторов окружающей среды. Оценку риска развития неканцерогенных эффектов при длительном употреблении вод в питьевых целях проводили на основе расчета коэффициента опасности (HQ) отдельно для каждой пробы воды как для взрослого, так и для детского населения (в возрасте до 6 лет) согласно Р 2.1.10.1920-042 [6], по формуле

$$HQ = I / RfD,$$

где I – средняя суточная доза при пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день); RfD – референтная (безопасная) доза при хроническом пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день).

Среднесуточную дозу поступления химического вещества (I) оценивали по формуле

$$I = \frac{Cw \cdot V \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365},$$

где Cw – концентрация вещества в воде, мг/л; V – величина водопотребления, л/сут (для взрослых – 2, для детей – 1); EF – частота воздействия, дней/год (350); ED – продолжительность воздействия, лет (для взрослых – 30, для детей – 6); BW – масса тела, кг (для взрослых – 70, для детей – 15); AT – период осреднения экспозиции, лет (для взрослых – 30, для детей – 6). При $HQ < 1$ вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни несущественна, такое воздействие характеризуется как допустимое. Если же $HQ > 1$, вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению значения данного коэффициента. Характеристика неканцерогенного риска проводится по результатам расчетов HQ в соответствии с принятой в [7] классификацией уровней риска.

Результаты исследования и их обсуждение

Поверхностные воды являются ультрапресными с минерализацией от 10 до 140 мг/л (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-химические показатели состава природных вод

Компонент, ед. изм.	Поверхностные воды		Подземные воды		ПДК [5]
	Озерные	Речные	Четвертичный ВК	Эоценолигоценовый ВК	
pH	$\frac{4,9-6,1}{5,7}$	$\frac{5,52-7,9}{6,8}$	$\frac{5,5-7,9}{6,2}$	$\frac{5,6-7,4}{6,8}$	6–9
Минерализация, мг/л	$\frac{10,2-27,8}{16,6}$	$\frac{14-140}{55}$	$\frac{28-287}{115}$	$\frac{41-357}{131}$	1000
Сорг*, мг/л	$\frac{8,7-44,2}{20,8}$	$\frac{1,3-21,3}{10}$	$\frac{0,4-12,7}{2,1}$	$\frac{0,6-9,5}{4,1}$	5
HCO ₃ ⁻ , мг/л	$\frac{4,3-22,0}{11,0}$	$\frac{4,8-87,8}{35,6}$	$\frac{17,7-210,0}{71,6}$	$\frac{26,8-204,0}{94,0}$	
SO ₄ ²⁻ , мг/л	$\frac{1,0-2,1}{1,8}$	$\frac{0,9-10,8}{3,8}$	$\frac{< 0,5-25,7}{8,3}$	$\frac{< 0,5-4,2}{1,3}$	500
Cl ⁻ , мг/л	$\frac{0,1-0,6}{0,3}$	$\frac{0,1-15}{2,7}$	$\frac{< 0,5-18,0}{2,7}$	$\frac{< 0,5-86,7}{1,3}$	350
Ca ²⁺ , мг/л	$\frac{0,4-3,0}{1,3}$	$\frac{1,3-15,2}{6,3}$	$\frac{2,6-30,7}{14,1}$	$\frac{1,8-32,9}{11,3}$	
Mg ²⁺ , мг/л	$\frac{0,1-1,3}{0,6}$	$\frac{0,9-6,2}{2,4}$	$\frac{0,6-26,5}{4,2}$	$\frac{1,2-16,1}{4,9}$	50
Na ⁺ , мг/л	$\frac{0,3-2,1}{0,8}$	$\frac{0,3-16,6}{3,5}$	$\frac{1,2-13,4}{2,6}$	$\frac{2,1-83,8}{4,7}$	200
K ⁺ , мг/л	$\frac{< 0,5-2,0}{0,4}$	$\frac{< 0,5-1,8}{0,5}$	$\frac{0,5-4,0}{0,7}$	$\frac{< 0,5-3,0}{1,5}$	
NH ₄ ⁺ , мг/л	$\frac{< 0,5-2,1}{0,7}$	$\frac{< 0,5-1,5}{0,4}$	$\frac{< 0,5-1,7}{0,8}$	$\frac{< 0,5-4,6}{0,8}$	1,5
NO ₃ ⁻ , мг/л	$\frac{< 0,2-1,7}{0,87}$	$\frac{< 0,2-0,7}{0,18}$	$\frac{0,34-24,1}{1,1}$	$\frac{< 0,2-0,48}{0,25}$	45
PO ₄ ³⁻ , мг/л	$< 0,25$	$\frac{< 0,2-0,9}{0,2}$	$\frac{< 0,25-2,8}{-}$	$\frac{< 0,25-4,4}{0,7}$	3,5
Fe общ, мг/л	$\frac{0,2-1,4}{0,6}$	$\frac{0-1,8}{0,8}$	$\frac{0,01-14,8}{2,4}$	$\frac{1,4-9,1}{3,6}$	0,3
Mn, мкг/л	$\frac{0-90,1}{18}$	$\frac{0-59,9}{14}$	$\frac{1,1-1394,7}{453,7}$	$\frac{154,7-918,7}{364,3}$	100
Li, мкг/л	$\frac{0-1}{0,3}$	$\frac{0-2,4}{0,6}$	$\frac{0,5-3,4}{1,1}$	$\frac{0,5-7,7}{2,4}$	30
B, мкг/л	$\frac{0-4,1}{1}$	$\frac{0-18,3}{3,6}$	$\frac{0,9-92,9}{9,2}$	$\frac{4,8-342,5}{55,5}$	500
Al, мкг/л	$\frac{0-235,7}{62,6}$	$\frac{0-228,5}{28,7}$	$\frac{2,6-38,3}{7,9}$	$\frac{0,2-63,3}{6,5}$	200
Ni, мкг/л	$\frac{0-1,8}{0,48}$	$\frac{0-2,7}{0,45}$	$\frac{0,2-35,9}{5,1}$	$\frac{0,03-1,2}{0,25}$	20
Zn, мкг/л	$\frac{0-14,2}{2,7}$	$\frac{0-2,8}{0,5}$	$\frac{2,2-645,6}{9,6}$	$\frac{0,4-28,1}{3,6}$	5000
As, мкг/л	$\frac{0-0,9}{0,3}$	$\frac{0-1,3}{0,2}$	$\frac{0,02-3,9}{0,7}$	$\frac{0,07-9,3}{1,0}$	10

Примечание: в числителе – пределы содержаний, в знаменателе – среднее; ПДК – предельно допустимая концентрация компонента.

Значения pH варьируют в широком диапазоне от 4,9 до 7,9, но преимущественно характерна нейтральная и слабокислая среда. В анионном составе преобладает гидрокарбонат ион, в катионном – главным образом кальций и магний. Озерные воды характеризуются минимальными значениями

минерализации (от 10 до 28 мг/л) и pH (4,9–6,1), при этом в них отмечены максимальные концентрации органических веществ (Сорг от 8,7 до 44,2 мг/л). Кроме того, в озерных водах отмечены высокие концентрации иона аммония, содержания которого характеризуются сильной положительной

корреляцией со значениями Сорг. Воды рек по сравнению с озерными водами более минерализованные (до 140 мг/л), с более высоким показателем pH: воды ручьев и малых рек являются слабокислыми (5,5–6,0), воды крупных рек – слабощелочными (до 7,9). Концентрация Сорг снижается и изменяется в пределах от 1,3 до 21,3 мг/л.

Опробованные подземные воды приурочены к двум водоносным комплексам (ВК) – четвертичному и эоцен-олигоценному, которые являются основными источниками водоснабжения на территории исследований. Четвертичный ВК, имеющий повсеместное распространение на территории ЯНАО, в качестве источника водоснабжения используется в основном в г. Салехарде. Среднее значение величины pH вод составляет 6,2, варьируя в пределах от 5,5 до 7,9. Воды являются ультрапресными с минерализацией от 28 до 287 мг/л, низкие содержания солеобразующих элементов Ca^{2+} и Mg^{2+} характеризуют воды как очень мягкие. Эоцен-олигоценный ВК пользуется широким распространением в центральной части ЯНАО и является основным источником водоснабжения в г. Ноябрьск, Муравленко, Тарко-Сале и пос. Уренгой (рис. 1). Воды данного ВК являются нейтральными, ультрапресными с минерализацией от 41 до 357 мг/л, очень мягкими. По химическому типу воды эоцен-олигоценного ВК, так же как и воды четвертичного ВК, как правило, являются гидрокарбонатными кальциево-магниевыми.

При сравнении с озерными и речными водами исследуемой территории, подземные воды характеризуются минимальными содержаниями растворенных органических веществ, максимальные концентрации которых достигают 12,7 мг/л (по Сорг) в неглубоко залегающих водах четвертичного ВК, ниже с глубиной концентрации Сорг снижаются (рис. 2). Большая часть органических веществ в природных водах представлена гуминовыми кислотами, которыми воды обогащаются при их вымывании из почв и торфов, а также в процессе разложения остатков растений. При проведенном более детальном анализе состава растворенных органических веществ было установлено наличие органических соединений, источниками которых является нефть. Так, в водах рек Обь, Пур и Надым были обнаружены гопаны, но максимальная их концентрация установлена в подземных водах четвертичного ВК, отобранных в п. Харп (0,2275 мкг/л). На присутствие нефтяного загрязнения вод также указывают циклогексаны, обнаруженные в водах р. Пур.

В целом же анализ результатов химического состава природных вод на несоответствие гигиеническим нормативам показал, что по элементам макрокомпонентного состава, а также по обобщенным показателям качества вод, как правило, превышений относительно ПДК не обнаружено. Лишь в единичных случаях встречаются незначительные превышения по NH_4^+ и PO_4^{3-} .

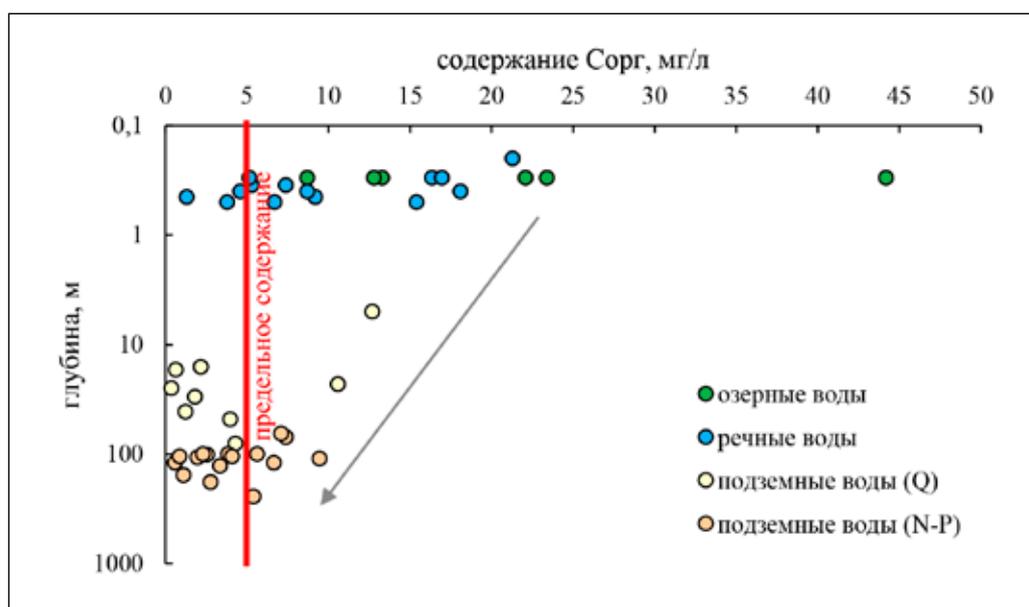


Рис. 2. Зависимость содержаний Сорг в природных водах от глубины

Стоит отметить, что высокие концентрации органического углерода, источниками которого в основном является торф и нефтяные углеводороды, характерны не только для поверхностных вод (озер и малых рек), но и в некоторых пробах подземных вод его содержание превышает норматив (5 мг/л) в несколько раз, что может свидетельствовать о наличии гидравлической связи как с поверхностными водами, так и с нижележащими пластовыми водами.

Среди элементов микрокомпонентного состава в поверхностных водах наблюдается повсеместное превышение относительно установленных нормативов [5] для Fe общ (табл. 1), в подземных водах – для железа и марганца, причем максимальные концентрации характерны для неглубоких (5 м) вод, отобранных вблизи г. Надьма, относящихся к четвертичному ВК, что, вероятнее всего, обусловлено наличием торфов, проницаемых песчаных отложений, и заболоченных территорий, способствующих обогащению вод растворенным органическим веществом и накоплению данных элементов.

На основе данных о содержании в водах Fe общ и Mn и стандартных значений факторов экспозиции были рассчитаны средние суточные дозы веществ при пероральном поступлении с питьевой водой для детской и взрослой возрастных групп. Полученные результаты и значение референтной дозы

(RfD) использовали для расчета коэффициента опасности (HQ) (табл. 2).

По данным, приведенным в табл. 2, видно, что максимальные значения коэффициента опасности для марганца не превышают единицы, а для железа – варьируют в широком диапазоне. При этом максимальные величины HQ для детской возрастной группы отличаются большими значениями (в два раза) по сравнению со взрослой возрастной категорией, что объясняется большей дозой токсического вещества, поступающей в организм, на единицу массы тела ребенка по сравнению со взрослым человеком.

По результатам расчетов HQ в соответствии с классификацией, приведенной в руководстве по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска [7], установлено, что ситуация по марганцу не вызывает опасения, так как значения коэффициента опасности для данного компонента укладываются в диапазон минимального и допустимого уровней риска для обеих возрастных групп (табл. 3). В отличие от марганца, для железа небольшой процент проб попадает в настораживающий уровень риска, а для детской возрастной группы – даже в высокий уровень риска, однако такая ситуация отмечается в единичном случае (около г. Надьма, частная скважина глубиной 5 м), что наглядно иллюстрируется зависимостью, приведенной на рис. 3.

Таблица 2

Результаты расчетов коэффициента опасности по возрастным группам

Компонент	RfD	HQ для возрастных групп			
		Дети		Взрослые	
		Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
Feобщ	0,3	0,0	3,16	0,0	1,35
Mn	0,14	0,0	0,64	0,0	0,27

Таблица 3

Распределение результатов расчета HQ по уровням риска в % от общего числа опробованных вод

Компонент	Уровень риска							
	Минимальный (< 0,1)		Допустимый (0,11–1,0)		Настораживающий (1,1–3,0)		Высокий (> 3)	
	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые
Feобщ	22,7	50	63,6	45,5	11,4	4,5	2,3	0
Mn	63,6	84,1	36,4	15,9	0	0	0	0

способствует развитию болезней желудка и кишечника, сопровождающихся моторными и секреторными нарушениями.

Заключение

Таким образом, результаты изучения основных физико-химических показателей состава природных вод территории ЯНАО показывают, что общий природный гидрогеохимический облик изучаемых вод определяют главным образом такие компоненты, как гидрокарбонат-ион, кальций и магний. Воды являются ультрапресными, с высоким содержанием растворенных органических веществ, концентрации которых с глубиной уменьшаются.

При анализе данных химического состава на соответствие нормативам качества вод установлено, что основным элементом, содержание которого повсеместно превышает нормы ПДК, является железо. Высокие содержания данного элемента в водах могут объясняться как природными условиями формирования их химического состава, так и вторичным загрязнением самих водопроводных систем, а также особенностями водоподготовки на водозаборных станциях.

Основной неканцерогенный риск для здоровья населения ЯНАО создает железо. Для выбранной детской возрастной группы риск значительно выше, чем для взрослой. При употреблении в питьевых целях вод с высоким содержанием в них железа существует опасность возникновения патологий неинфекционного характера.

При оценке рисков возникновения заболеваний у населения, обусловленных качеством питьевой воды, необходимо учитывать не только макро- и микрокомпонентный состав вод, но и групповой состав содержащегося в них растворенного органического вещества, поскольку некоторые соединения и продукты их деградации обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, оказывающими негативное влияние на здоровье человека.

Список литературы

1. Зайцева Н.В., Сбоев А.С., Клейн С.В., Веквшнина С.А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–55. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05.
2. Алтунина Л.К., Сваровская Л.И., Ященко И.Г., Ельчанинова Е.А. Экологическое состояние водных объектов на территории нефтедобывающих комплексов Среднего Приобья // Нефтехимия. 2017. Т. 57, № 3. С. 340–345. DOI: 10.7868/S0028242117020034.
3. Волкова Н.А., Иванова И.С., Соколов Д.А., Колубаева Ю.В., Чуйкина Д.А. Концентрации и источники полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях рек северных нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 4. С. 135–148. DOI: 10.18799/24131830/2023/4/3924.
4. Bogdanova E., Lobanov A., Andronov S.V., Soromotin A., Popov A., Skalny A.V., Shadyko O., Callaghan T.V. Challenges of Changing Water Sources for Human Wellbeing in the Arctic Zone of Western Siberia // Water. 2023. Vol. 15, Is. 8. P. 1577. DOI: 10.3390/w15081577.
5. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации (постановление от 28.01.2021 г. № 2, зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 2296) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. (дата обращения: 04.10.2023).
6. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
7. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. М., 2017. 68 с.
8. Лапенко В.В., Бикбулатова Л.Н., Терникова Е.М. Эколого-физиологическая оценка химического состава водопроводной воды городов Ханты-Мансийск и Салехард // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 3. С. 159–167. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-159-167.
9. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла // Гигиена и санитария. 2017. № 11. С. 1049–1053. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-11-1049-1053.
10. Aamodt G., Bukholm G., Jahnsen J., Moum B., Vatn M.H. The association between water supply and inflammatory bowel disease based on a 1990-1993 cohort study in southeastern Norway // American Journal of Epidemiology. 2008. Vol. 168, Is. 9. P. 1065-1072. DOI: 10.1093/aje/kwn218.
11. Brewer G.J. Risks of copper and iron toxicity during aging in humans // Chemical Research in Toxicology. 2010. Vol. 23, Is. 2. P. 319-326. DOI: 10.1021/tx900338d.

УДК 502.64(470.325)
DOI 10.17513/use.38145

ФОНОВЫЕ ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

Корнилов А.Г., Чендев Ю.Г., Дорошенко М.В.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: kornilov@bsu.edu.ru, chendev@bsu.edu.ru, 1095166@bsu.edu.ru

Проведены почвенные и почвенно-геохимические исследования в Чернянском районе Белгородской области на участке отдаленного воздействия горнодобывающих предприятий на ландшафты. Исследование почв производилось с помощью метода почвенных катен на облесенных балочных и водораздельных склонах урочища Большая Поляна по линии профиля протяженностью 1600 м. Приведено описание 14 почвенных профилей, изученных в характерных точках почвенных катен. Выполнен статистический анализ параметров распределения выявленных загрязняющих веществ как вдоль линии продольного геоэкологического профиля (по мере удаления от горно-обогатительного предприятия), так и в разрезе пространственного варьирования свойств в идентичных почвенных горизонтах по точкам исследования почвенных профилей. Показано, что функция геохимического барьера в отношении атмогеохимических потоков загрязняющих веществ (V, Zn, Cu, Pb) прослеживается в лесном массиве на 200–600 м. Выявлено значимое преобладание концентраций специфического ряда металлоидов (Zn, Cr, Ni, Cu, Pb) на геохимическом барьере северного крыла профиля, что свидетельствует об отдаленном умеренном воздействии источника загрязнения (АО «Стойленский ГОК»), расположенного в 8 км к северу от урочища Большая Поляна. Установлены фоновые значения содержания тяжелых металлов и иных микроэлементов для облесенных балочных склонов на периферии района размещения АО «Стойленский ГОК», которые, как правило, несколько ниже фоновых показателей, определенных для Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района в отношении пахотных угодий.

Ключевые слова: геоэкология, балочные почвы, почвенные геохимические профили, фоновое загрязнение, Старооскольско-Губкинский горнопромышленный район, КМА

BACKGROUND SOIL-GEOCHEMICAL STUDIES IN THE STAROOSKOLSKO-GUBKINSKY MINING DISTRICT OF KURSK MAGNETIC ANOMALY

Kornilov A.G., Chendev Yu.G., Doroshenko M.V.

Belgorod State University, Belgorod,
e-mail: kornilov@bsu.edu.ru, chendev@bsu.edu.ru, 1095166@bsu.edu.ru

Soil and soil-geochemical studies were conducted in the Chernyansky district of the Belgorod region in the area of the remote impact of mining enterprises on landscapes. The soil study was carried out using the soil catena method on the forested gullies and watershed slopes of the Bolshaya Polyana tract along a profile line with a length of 1600 meters. A description of 14 soil profiles, studied at soil catenas characteristic points, is given. A statistical analysis of the identified pollutants distribution parameters was conducted both along the line of the longitudinal geoecological profile (with increasing distance from the mining enterprise), and in the context of spatial variation of properties in identical soil horizons at the study points of soil profiles. It is shown that the function of the geochemical barrier in relation to the atmospheric geochemical flows of pollutants (V, Zn, Cu, Pb) can be traced in the forest at 200–600 m. A significant predominance of concentrations of a metal pollutants specific series (Zn, Cr, Ni, Cu, Pb) on the geochemical barrier of the northern wing of the profile was revealed, which indicates a remote moderate impact of the pollution source (JSC «Stoilensky GOK»), located 8 km north of the Bolshaya Polyana tract. Background values for the content of heavy metals and other microelements have been established for forested gullies on the periphery of JSC «Stoilensky GOK» location area, which are somewhat lower than the background values determined for the Starooskolsko-Gubkinsky mining region in relation to arable land.

Keywords: geoecology, gullies, soil geochemical profiles, background pollution, Starooskolsko-Gubkinsky mining region, KMA

Горнодобывающая деятельность в регионе КМА сосредоточена в Курской и Белгородской областях. Широкомасштабные потребности существующих и перспективных горно-обогатительных комбинатов в земельных ресурсах вступают в конфликт с иными видами природопользования, в первую очередь сельскохозяйственного

в связи с размещением предприятий на территориях плодородных черноземов и серых лесных почв. Особенно это актуально для Белгородской области, где помимо двух крупных существующих ГОКов (Лебединский, Стойленский), разрабатываются проекты по освоению еще двух перспективных месторождений железных руд [1–3].

Старооскольско-Губкинский горнопромышленный район расположен в лесостепной зоне, на южных склонах Среднерусской возвышенности в бассейне реки Оскол преимущественно в междуречье правых притоков р. Оскол: р. Осколец и р. Орлик. Рельеф территории относится к водно-эрозионному типу (разность высот до 123 м). Район в пределах зоны активного влияния промышленной и сопутствующей деятельности занимает ориентировочно 2000 км², в том числе загородные промышленные площадки, карьеры, отвалы горных пород охватывают площадь около 180 км² [4, 5]. Проекты расширения горнодобывающей деятельности на территории Белгородской области потенциально приведут к удвоению площадей нарушенных территорий. В этой связи задачи обеспечения устойчивого развития регионов предполагают помимо прочего необходимость проведения постоянного разнопланового мониторинга экологически значимых параметров окружающей среды, особенно фоновых почвенно-геохимических исследований, которые в дальнейшем могут стать основой для оценки темпов трансформации природной среды и прогнозов геоэкологической ситуации в регионе [6].

Обзор научной литературы за последние 20 лет показывает, что почвенно-геохимические исследования Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района проводились с достаточной регулярностью в связи с ежегодными проектами строительства, реконструкции и расширения действующих ГОКов, подготовкой к эксплуатации новых месторождений (Чернянское и др.) [7–9]. Вместе с тем параметры районного фона практически не исследовались, и толь-

ко в одной работе были определены показатели районного фона, но лишь по одному из основных профилей розы ветров относительно АО «Лебединский ГОК», в основном по совокупности пробных площадей на плакорном типе местности на пахотных угодьях [10, 11]. В серии исследовательских работ, посвященных данной тематике, были даны оценки прямого и косвенного воздействия горнодобывающей промышленности на геохимическое состояние почв и отмечалось, что влияние этих предприятий прослеживается на расстоянии до 5–8 км от источников выбросов веществ. С учетом сказанного целью исследования является изучение фоновых характеристик геохимической ситуации в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе на профиле, проложенном поперек балки в урочище Большая Поляна на расстоянии 8–10 км от АО «Стойленский ГОК».

Материалы и методы исследования

Исследование почв производилось с помощью метода почвенных катен в месте полной облесенности балочных и водораздельных склонов исследуемого урочища. Линия продольного почвенного профиля представлена на рис. 1. Общая длина профиля – 1600 м.

Профиль начинается на очень пологом водораздельном склоне северной экспозиции, затем переходит в покатый водораздельный и крутой балочный склоны, пересекает корытообразное днище балки, а затем пересекает все элементы балочного и водораздельного склонов южной экспозиции. Вдоль линии профиля было заложено 14 почвенных разрезов (рис. 2).



Рис. 1. Схема расположения изучаемого профиля относительно промплощадки Стойленского ГОКа

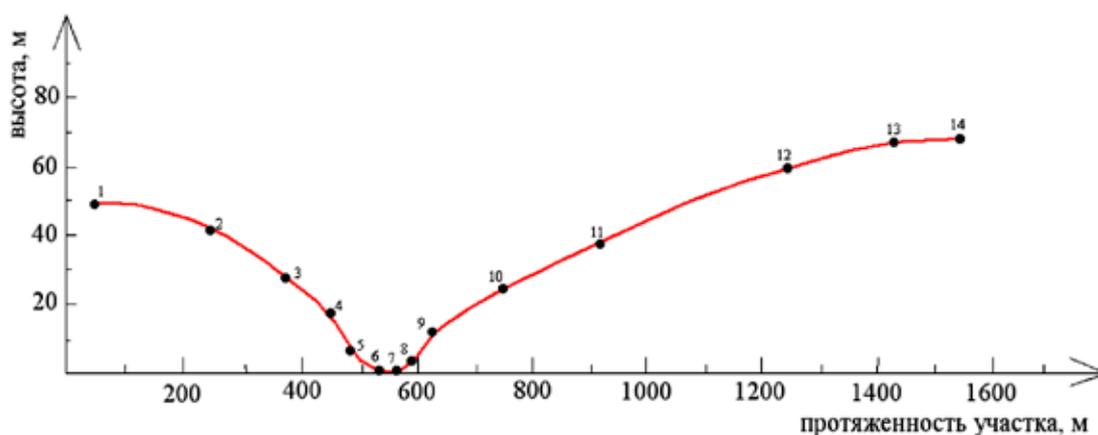


Рис. 2. Расположение пунктов отбора (почвенных разрезов) по профилю балки и прилегающих к ней водораздельных склонов

Для каждого пункта наблюдения были даны геоботанические описания мест заложения почвенных разрезов, детально охарактеризованы почвенные профили, отображены почвенные образцы для лабораторного анализа содержания в почвах макро- и микроэлементов. Вдоль линии продольного почвенного профиля с юга на север происходит смена угодий «лес – сенокос – лес». Луговая растительность на сенокосном угодье распространена в днище балки. Название урочища отражает длительный период существования безлесного участка в днище балки (в виде вытянутой поляны). Однако наличие на поляне участков, занятых естественными дубовыми насаждениями (редкодубом), позволяет предполагать исходную полную облесенность днища балки.

Ниже приводится характеристика элементов мезоформ рельефа, растительности и строения почвенных профилей в каждой точке продольного почвенного профиля. Описание точек профиля ведется с юга на север.

П. 1. Расположен в 30 м севернее опушки леса на пологом водораздельном склоне северной экспозиции крутизной 3°. Лес с густым подростом, растительная ассоциация – липово-кленовый лес с примесью осины разнотравно-снытевый. Почва темно-серая лесная среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Генетические горизонты почвенного профиля: Ao (0–3 см) – A1 (3–17 см) – A1A2 (17–31 см) – A1A2Bh (31–53 см) – A2Bt (53–71 см) – Bt1 (71–90 см) – Bt2 (90–113 см) – BC_{Ca} (113–130 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается с глубины 115 см.

П. 2. Расположен в 190 м севернее п. 1 на пологом, близком к покатому водораздельном склоне северной экспозиции крутизной 4–5°. Лес с густым подростом, растительная ассоциация – кленово-ясеневый лес с примесью дикой яблони разнотравно-звездчатковый. Почва темно-серая лесная среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–1 см) – A1 (1–18 см) – A1A2 (18–27 см) – A1A2Bh (27–38 см) – A2Bt (38–62 см) – Bt1 (62–85 см) – Bt2 (85–120 см) – BC_{Ca} (120–140 см и глубже). Вскипание с глубины 130 см.

П. 3. Расположен в 150 м севернее п. 2 на покатом водораздельном склоне северной экспозиции крутизной 5–6°. Лес с густым подростом, растительная ассоциация – ильмово-кленовый разнотравно-осоко-снытевый лес. Почва темно-серая лесная среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–3 см) – A1 (3–18 см) – A1A2 (18–35 см) – A1A2Bh (35–48 см) – A2Bt (48–67 см) – Bt1 (67–93 см) – Bt2 (93–124 см) – BC_{Ca} (124–130 см и глубже). Вскипание с глубины 125 см.

П. 4. Расположен в 60 м севернее п. 3 на крутом балочном склоне северной экспозиции крутизной 10–15°. Растительная ассоциация – дубово-кленовый с примесью ильма и дикой яблони разнотравно-папоротниково-звездчатковый лес. Почва серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном тяжелом делювиальном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1 (2–12 см) – A1A2 (12–22 см) – A1A2Bh (22–37 см) – A2Bt (37–54 см) – Bt1 (54–84 см) –

Bt2 (84–105 см) – Bt3 (105–150 см) – BC_{Ca} (150–160 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается с глубины 153 см.

П. 5. Расположен в 40 м севернее п. 4 в основании сильнопокатоного балочного склона северной экспозиции крутизной 9–10°. Растительная ассоциация дубово-кленовый с примесью липы и дикой яблони разнотравно-звездчатково-снытевый лес. Почва темно-серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном тяжелом делювиальном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1 (2–24 см) – A1A2 (24–42 см) – A1A2Bh (42–51 см) – A2Bt (51–62 см) – Bt1 (62–69 см) – Bt2 (69–90 см) – BC_{Ca} (90–155 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается местами с глубины 82 см, повсеместное – с глубины 105 см.

П. 6. Расположен в 60 м севернее п. 5 на покатоном основании балочного склона северной экспозиции крутизной 6°. Растительная ассоциация дубово-кленовый с примесью дикой яблони разнотравно-звездчатково-снытевый лес. Почва чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый на карбонатном тяжелом делювиальном суглинке с примесью мело-мергельного коллювия. Почвенный профиль: Ao (0–3 см) – A1^I (3–24 см) – A1^{II} (24–39 см) – A1B (39–60 см) – B_{Ca} (60–78 см) – BC_{Ca} (78–133 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается с глубины 64 см.

П. 7. Расположен в 55 м севернее п. 6 в центральной части днища балки. Угодье – сенокос. Растительная ассоциация – разнотравно-мятликово-кострецовый (разнотравно-злаковый) луг. Почва луговая карбонатная неполноразвитая среднесуглинистая на тяжелосуглинистом карбонатном слоестом пролювии. Почвенный профиль: Ad (0–6 см) – A1_{Ca} (6–19 см) – A1B_{Ca} (19–31 см) – BA1_{Ca} (31–47 см) – [A1_{Ca}] (47–60 см) – [A1B_{Ca}] (60–85 см) – [BC_{Ca}] (85–150 см). Вскипание почвы начинается с поверхности. Книзу интенсивность вскипания усиливается.

П. 8. Расположен в 40 м севернее п. 7 на основании сильнопокатоного балочного склона южной экспозиции крутизной 7–8°. Растительная ассоциация кленово-дубовый с примесью липы разнотравно-звездчатково-снытевый лес. Почва чернозем типичный карбонатный среднемощный среднесуглинистый на карбонатном среднем делювиальном суглинке с примесью мело-мергельного коллювия. Почвенный профиль Ao (0–4 см) – A1^I (4–24 см) – A1^{II} (24–43 см) – A1B_{Ca} (43–62 см) – B_{Ca} (62–87 см) – BC_{Ca} (87–145 см). Слабое вскипа-

ние наблюдается с поверхности. С глубиной интенсивность вскипания усиливается.

П. 9. Расположен в 30 м севернее п. 8 на верхней части крутого балочного склона южной экспозиции крутизной 15–20°. Растительная ассоциация кленово-дубовый с примесью липы разнотравно-осоковый лес. Почва серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном среднем делювиальном суглинке с примесью мело-мергельного коллювия. Почвенный профиль Ao (0–3 см) – A1 (3–14 см) – A1A2 (14–32 см) – A1A2Bh (32–55 см) – Bt1 (55–88 см) – Bt2 (88–105(120) см) – BC_{Ca} (105(120)–135 см). Вскипание наблюдается с глубины 114 см, а местами – со 125 см.

П. 10. Расположен в 120 м севернее п. 9 на верхней пологой части балочного склона южной экспозиции крутизной 3°. Растительная ассоциация кленово-дубовый злаково-разнотравно-звездчатковый лес. Почва темно-серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном желтовато-зеленом делювиальном суглинке с примесью мело-мергельного коллювия. Почвенный профиль Ao (0–3 см) – A1 (3–15 см) – A1B (15–31 см) – Bt1 (31–46 см) – Bt2 (46–66 см) – Bt3 (66–89 см) – BC_{Ca} (89–125 см). Фрагментарное вскипание наблюдается с глубины 90 см, повсеместное – с глубины 107 см.

П. 11. Расположен в 170 м севернее п. 10 на покатоном водораздельном склоне южной экспозиции крутизной 5–6° в месте перегиба с более выположенным выщележащим склоновым участком. Растительная ассоциация: кленово-дубовый с примесью ясени разнотравно-звездчатковый лес. Почва темно-серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1 (2–18 см) – A1A2 (18–30 см) – A1A2B (30–50 см) – A2Bt (50–60 см) – Bt1 (60–80 см) – Bt2 (80–90 см) – BC_{Ca} (90–130 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается с глубины 90 см.

П. 12. Расположен в 320 м севернее точки 11 на покатоном водораздельном склоне южной экспозиции крутизной 5°. Растительная ассоциация: ясенево-дубовый с примесью клена злаково-звездчатковый лес. Почва темно-серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1^I (2–17 см) – A1^{II} (17–28 см) – A1A2B (28–40 см) – A2Bt (40–61 см) – Bt (61–87 см) – BC_{Ca} (87–120 см). Фрагментарное вскипание наблюдается с глубины 90 см, повсеместное – с глубины 107 см.

П. 13. Расположен в 180 м севернее п. 12 на пологом водораздельном склоне южной экспозиции крутизной 2–3°. Растительная ассоциация: кленово-дубовый с примесью ясеня разнотравно-копытневый лес. Почва темно-серая лесная слабосмытая среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1 (2–19 см) – A1A2 (19–37 см) – A2Bt (37–65 см) – Bt1 (65–89 см) – BC_{ca} (85–130 см и глубже). Вскипание почвы наблюдается с глубины 89 см.

П. 14. Расположен в 120 м севернее п. 13 и в 60 м к югу от опушки леса на границе ровного водораздела и водораздельного склона южной экспозиции крутизной не более 2°. Растительная ассоциация: Дубово-кленовый с примесью ясеня разнотравно-подмаренниковый лес. Почва темно-серая лесная среднесуглинистая на карбонатном тяжелом лессовидном суглинке. Почвенный профиль: Ao (0–2 см) – A1 (2–26 см) – A1A2 (26–40 см) – A1A2B (28–43 см) – A2Bt (43–68 см) – Bt1 (61–90 см) – Bt2 (90–106 см) – BC_{ca} (106–124 см). Фрагментарное вскипание наблюдается с глубины 106 см. Книзу интенсивность вскипания возрастает.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ приводимых выше описаний почвенных профилей позволяет сделать вывод о том, что господствующую площадь на территории урочища занимают темно-серые лесные почвы (встречены в 9 точках из 14). Подтип серых лесных почв с более мощной зоной элювиального осветления распространен на крутых балочных склонах. Черноземы выщелоченные и типичные распространены в самых нижних частях балочных склонов, переходящих в днище балки. В днище балки формируются луговые неполноразвитые почвы.

На морфогенетические свойства изученных почв экспозиционная контрастность повлияла слабо. На склонах теневой (северной) экспозиции наблюдается повышенная (в среднем на 30 см) выщелоченность почвенных профилей от карбонатов и незначительное увеличение мощности гумусовых профилей по сравнению с позиционными аналогами на склоне инсолируемой (южной) экспозиции (в первом случае – 45 см, во втором случае – 40 см).

Геохимические характеристики почвенных сопряжений урочища Большая Поляна. Густонаселенная староосвоенная территория Белгородской области издавна испыты-

тывает высокую антропогенную нагрузку. В частности, изучаемый небольшой лесной участок урочища Большая Поляна долгое время тесно граничит с пашней на прилегающих плакорных участках, имеет следы интенсивных рубок, в течение нескольких десятков лет подвергается отдаленному и слабому атмосферическому загрязнению со стороны расположенного в 8 км предприятия горнопромышленного комплекса (рис. 1).

Почвенные образцы на геохимическое обследование отбирались на четырех уровнях: 1) Ao-A1; 2) A1A2; 3) A2B; 4) Bt (индексация почвенных горизонтов в связи с некоторыми отличиями индексов на склонах северной и южной экспозиций условна).

Для элементов Be, Cd, Co, As, Ni, Pb, Se, Sb, Cr, Cu, Mo, Zr, Zn, Sr, S рассматривались значения валового содержания. Для V, Mn, Fe, Ba и Al – значения подвижных форм. Дополнительно определялась радиационная безопасность почвы по показателю удельной эффективной активности радионуклидов почв – Аэфф.

По результатам опробования были построены графики содержания определяемых элементов, а также рассчитаны коэффициенты попарных корреляций показателей содержания как одного и того же элемента в разных почвенных горизонтах, так и между различными элементами. Теснота связи показателей содержания каждого элемента для разных почвенных горизонтов приведена ниже схематически, приводится символ элемента, а затем, последовательно, значения коэффициента корреляции между 1 и 2 горизонтом, 2 и 3 горизонтом, 3 и 4 горизонтом:

Аэфф – 0,41/0,7/0,39;
 Be – 0,8/не опр.; Cd – 0,67/0,81/0,82;
 Co – 0,62/0,11/0,12; Ni – 0,87/0,66/0,34;
 Pb – 0,89/0,78/0,95; Se – 0,97/0,82/0,77;
 Sb – 0,83/0,74/0,51; Cr – 0,93/0,84/0,53;
 Cu – 0,99/0,71/0,91; Mo – 0,94/0,73/0,62;
 Zr – 0,49/0,71/0,17; Zn – 0,96/0,74/0,98;
 Sr – 0,55/0,39/-0,11; S – 0,23/0,40/0,56;

Подвижные формы:
 V – 0,92/0,98/0,5; Mn – 0,1/0,15/0,27;
 Fe – 0,70/0,52/0,88; Ba – 0,49/0,44/0,37;
 Al – 0,88/0,68/-0,23.

Расчет критерия существенности *t_r* для выборки из 14 пунктов опробования определяет достоверность результатов на уровне 95 % для модуля показателей корреляции *r* больших или равных 0,53.

Большинство исследованных элементов характеризуются достаточно высокой взаимозависимостью концентраций в смежных почвенных горизонтах, хотя, в силу разли-

чий в подвижности и биофильности, в ряде случаев подобной достоверной связи не выявлено. Чаще низкие показатели тесноты связи характерны для элементов, присутствующих в почве в достаточно большом (для микрокомпонента) количестве. Например, марганец при относительно высоком содержании подвижной формы на фоне многократно больших показателей валовых форм имеет в нейтральных и слабощелочных условиях низкую геохимическую подвижность, а будучи для растений микроэлементом, – незначительную долю биогенной миграции, что обуславливает статистическое отсутствие связи содержания его подвижной формы между почвенными горизонтами. Некоторые микроэлементы, характеризующиеся малым содержанием в почве и высокой биофильностью, а также более или менее высокой долей атмосферного поступления, характеризуются значительно большей теснотой связи соответствующих показателей для верхних горизонтов с ее значительным уменьшением в отношении нижних горизонтов (Co; Ni; Sb; Cr; Mo; Sr; V).

Многие элементы показывают устойчивый градиент роста концентраций вверх по почвенному профилю (Be, Cu, Ba, S и др.), хотя для ряда элементов наблюдаются более или менее локальные отклонения от данной закономерности: V – содержание во втором почвенном горизонте чаще выше, чем в первом; Cd, Pb, Zn – близкие значения содержания кадмия, свинца или цинка в разных горизонтах для каждого отдельного пункта наблюдения с переменным «лидерством» разных горизонтов для разных пунктов; Co – для ряда пунктов последова-

тельность иногда нарушается в отношении 2–3 или 3–4 горизонтов; Ni, Se, Sb, Cr – концентрации во втором почвенном горизонте чаще превышают таковые в первом; Mn, Mo – в основании склона южной экспозиции в двух пунктах резко выделяется (увеличено) содержание марганца и молибдена на уровне 4 почвенного горизонта.

На рис. 3–5 представлены диаграммы распределения металлов, которые могут выступать индикаторами атмосферического воздействия в отношении: ванадия со стороны пахотных угодий, расположенных южнее пункта 1, хрома со стороны горнодобывающего комплекса, расположенного в 8 км севернее пункта 14, свинца, источником выпадения которого выступают как интенсивное сельское хозяйство с юга, так и совокупное промышленное и сельскохозяйственное воздействие с севера.

Соответственно на графиках наблюдаются максимумы – индикаторы геохимических барьеров в пунктах 3–4 для ванадия и свинца в южной части профиля и в пунктах 11–12 в северной части профиля. Схожий характер имеет диаграмма распределения цинка и меди, с аналогичными максимумами и с южной и с северной стороны в пунктах 2, 11–12, и последующей сложной картиной перераспределения его содержания в направлении днища балки по профилю. Максимальные значения цинка наблюдаются на геохимическом барьере с северной стороны, что согласуется с ранее известными данными [8] о достаточно тесной связи выпадения соединений цинка с показателями выпадения взвешенных веществ вокруг горно-обогатительных комбинатов.

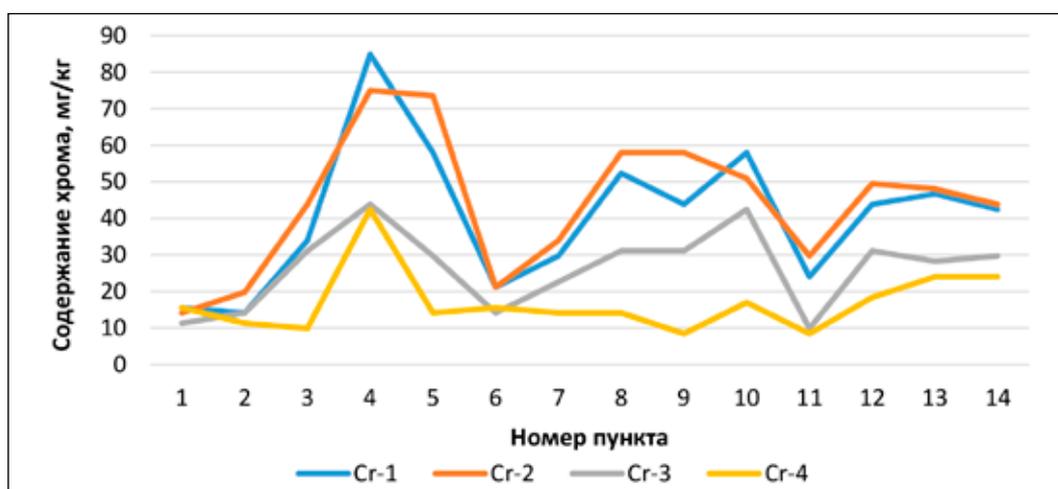


Рис. 3. Содержание хрома в почвенных горизонтах (Cr-1 – гор. А1; Cr-2 – гор. А1А2; Cr-3 – гор. А2В; Cr-4 – гор. Вt) по профилю урочища Большая Поляна (пункты наблюдения 1–14 на рис. 2)

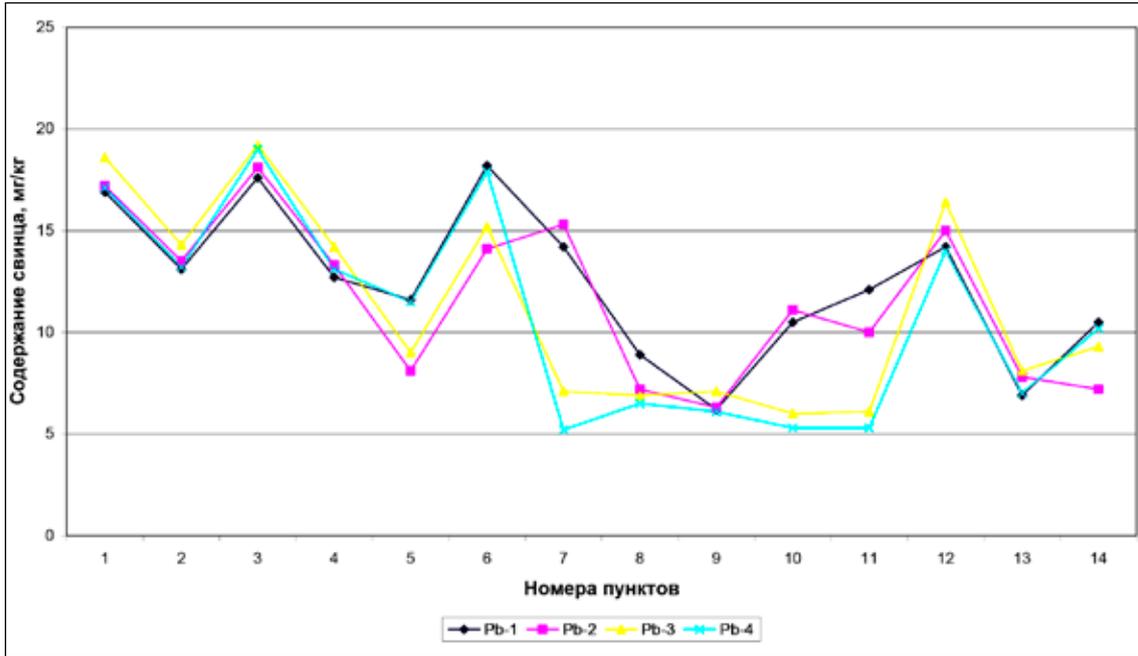


Рис. 4. Содержание свинца в почвенных горизонтах (1–4) по профилю в почвах урочища Большая Поляна (пункты наблюдения 1–14 на рис. 2)

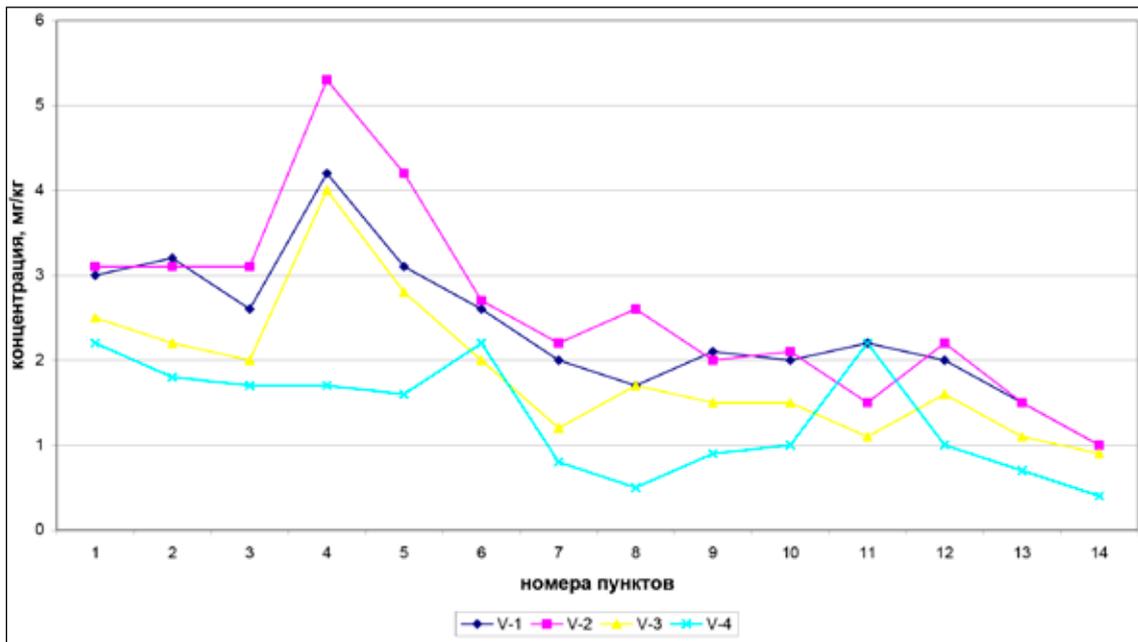


Рис. 5. Содержание ванадия в почвенных горизонтах (1–4) по профилю в почвах урочища Большая Поляна (пункты наблюдения 1–14 на рис. 2)

Анализ результатов попарной корреляции наблюдаемых химических элементов и почвенных условий показывает следующее.

По мере смещения пунктов отбора проб вниз к днищу балки с теснотой связи

от умеренной до средней увеличиваются показатели Аэфф, концентрации бериллия, серы, уменьшается концентрация никеля, что, с чуть большими коэффициентами, одновременно коррелирует и с показателями глубины залегания границы вскипания.

Средние значения содержания химических элементов
в исследованных почвенных горизонтах
(для радионуклидов – Бк/кг, для иных ингредиентов – мг/кг)

Элемент	Горизонт Ао-А1	Горизонт А1А2	Горизонт А2В	Горизонт Вt	Фон Губкинского заказника [11]
Cs-137	1,59	0,92	8,39	2,85	
K-40	391,71	328,80	467,04	357,25	
Ra-	48,81	54,25	57,31	54,2	
Th	33,37	16,8	23,04	19,92	
Аэфф	124,32	113,04	115,86	108,66	
Be	0,60	0,41	0,14	0,05	2.6
V*	2,37	2,61	1,86	1,34	0.5
Cd	0,57	0,61	0,65	0,56	0.5
Co	3,26	2,42	2,14	1,99	4
As	0,25	0,11	0,00	0,03	6
Ni	46,00	48,25	34,25	23,50	55
Pb	12,40	11,73	11,25	10,81	11
Cr	40,61	44,29	26,46	16,98	75
Cu	42,53	39,83	29,76	22,28	45
Zn	18,91	18,87	15,67	14,60	52
Fe*	57,28	55,34	49,49	53,84	16
Ba*	18,56	15,96	14,34	12,68	17
Sr	82,42	71,88	72,97	64,21	97
Al*	46,18	43,98	47,92	44,04	45
S	30,47	26,60	21,41	15,84	

Примечание: * – подвижные формы.

Высокую тесноту связи демонстрируют показатели ванадия (в целом концентрации снижаются) по мере смещения пунктов наблюдения к северу (для разных почвенных горизонтов «г» равно соответственно -0,80, -0,75, -0,71, -0,64). Те же тенденции снижения концентраций с юга на север, но меньшая теснота связи для свинца ($r = -0,58, -0,60, -0,59, -0,59$) и железа ($r = -0,75, -0,35, -0,54, -0,32$); сурьмы ($r = -0,46, -0,56, -0,33, -0,39$) и молибдена ($r = -0,32, -0,43, -0,56, -0,67$).

Удельная эффективная активность радионуклидов почв Аэфф показала достаточно умеренную зависимость от определявшихся в исследовании показателей содержания радионуклидов, например для ^{40}K послойно, начиная с первого почвенного горизонта «г» составило 0,54; 0,69; 0,37; 0,57; для ^{226}Ra более-менее значимая величина 0,57 наблюдалась для четвертого почвенного горизонта, для ^{232}Th – для первого ($r = 0,51$) и четвертого ($r = 0,65$). Достаточно тесная зависимость Аэфф выявлена в отношении содержания такого не радиоактивного ком-

понента как стронций ($r = 0,38; 0,63; 0,71; 0,89$), который в свою очередь в разных почвенных горизонтах коррелирует с разными радиоактивными компонентами: ^{40}K во втором и в третьем (0,63; 0,50); ^{226}Ra в четвертом (0,73); ^{232}Th в четвертом (0,56).

Статистический анализ взаимозависимостей содержания разных химических элементов в почвах показывает наличие более или менее тесных связей. Далее, последовательно, начиная с первого, приводятся значения показателей «г» для всех горизонтов опробования. Ванадий-свинец: 0,43; 0,34; 0,49; 0,58. Ванадий-марганец: 0,85; 0,00; 0,21; 0,02. Кадмий-свинец: 0,30; 0,58; 0,45; 0,29. Кобальт-цинк: 0,61; 0,22; -0,15; 0,40. Кобальт-барий: 0,44; 0,70; 0,22; -0,13. Кобальт-стронций: 0,55; 0,48; 0,29; -0,15. Никель-хром: 0,32; 0,47; 0,52; 0,45. Никель-марганец: -0,05; 0,20; -0,64; -0,62. Никель-медь: 0,43; 0,50; 0,13; 0,32. Никель-железо: 0,19; 0,46; -0,31; 0,67. Никель-сера: -0,57; -0,48; -0,53; 0,34. Свинец-железо: 0,84; 0,69; 0,67; 0,20. Селен-сурьма: 0,61; 0,48; 0,21;

-0,09. Селен-хром: 0,64; 0,57; 0,59; 0,67. Селен-медь: 0,62; 0,55; 0,54; -0,09. Селен-молибден: 0,55; 0,51; 0,16; 0,06. Селен-цинк: 0,78; 0,72; 0,31; 0,38. Селен-алюминий: 0,42; 0,65; 0,20; 0,03. Сурьма-медь: 0,48; 0,34; 0,53; 0,50. Сурьма-молибден: 0,45; 0,61; 0,44; -0,29. Сурьма-цинк: 0,43; 0,26; 0,55; 0,13. Сурьма-алюминий: 0,40; 0,56; 0,21; -0,36. Хром-марганец: 0,37; -0,18; -0,63; -0,34. Хром-медь: 0,67; 0,53; 0,35; 0,14. Хром-молибден: 0,76; 0,67; 0,38; 0,36. Хром-железо: 0,51; 0,50; -0,08; 0,05. Хром-алюминий: 0,64; 0,62; 0,36; 0,10. Хром-сера: -0,47; -0,31; -0,52; -0,10. Марганец-железо: 0,39; -0,30; -0,17; -0,70. Медь-молибден: 0,59; 0,46; 0,01; -0,21. Медь-цинк: 0,62; 0,66; 0,37; 0,34. Медь-алюминий: 0,79; 0,80; 0,27; 0,36. Молибден-железо: 0,46; 0,61; -0,02; -0,04. Молибден-алюминий: 0,37; 0,62; 0,37; -0,05. Цинк-стронций: 0,39; 0,52; 0,51; -0,02. Цинк-алюминий: 0,26; 0,56; 0,22; -0,11. Цинк-сера: 0,14; 0,24; 0,48; 0,43. Железо-алюминий: 0,16; 0,60; 0,35; -0,21. Стронций-сера: 0,80; 0,25; 0,31; 0,18.

Представленные выше соотношения в парах элементов демонстрируют тенденции снижения тесноты связи вниз по почвенному профилю или ее увеличения, что может в какой-то мере объясняться большим сходством в части либо биофильных тенденций и/или атмосферического поступления, либо тенденций формирования устойчивых минеральных комплексов (карбонатных или глиноземных).

В связи со значительной удаленностью исследуемого профиля от горнорудных предприятий Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района и, предположительно, слабым атмосферическим воздействием Стойленского ГОКа на урочище Большая Поляна, приведенные в таблице усредненные показатели содержания загрязняющих веществ предлагается считать районным фоном для соответствующих ландшафтов.

Выводы

1. Функция геохимического барьера в отношении атмосферических потоков загрязняющих веществ (V, Zn, Cu, Pb) прослеживается при ширине лесного массива 200–600 м.

2. Существенное преобладание концентраций специфического ряда металлополлютантов (Zn, Cr, Ni, Cu, Pb) на геохимическом барьере северного крыла профиля свидетельствует об отдаленном умеренном воздействии горнопромышленного района,

расположенного в 8 км к северу от урочища Большая Поляна.

3. Установлены фоновые значения содержания тяжелых металлов и иных микроэлементов для облесенных балочных склонов на периферии района размещения АО «Стойленский ГОК», которые, как правило, несколько ниже фоновых показателей, определенных для Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района в отношении пахотных угодий.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году» под ред. Е.А. Киселева и др. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2020. 493 с.
2. Петин А.Н. Геоэкологическая обстановка и проблемы рационального недропользования в железорудном бассейне КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 6. С. 315–322.
3. Петин А.Н., Игнатенко И.М. Минерально-сырьевые ресурсы богатых железных руд Белгородского района Курской магнитной аномалии // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 37, № 25 (246). С. 138–142.
4. Фурманова Т.Н., Петина М.А., Петин А.Н., Белосова Л.И. Техногенная трансформация ландшафтов в зоне влияния активно разрабатываемых месторождений полезных ископаемых региона КМА // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–2. С. 422–426.
5. Корнилов А.Г., Кичигин Е.В., Колмыков С.Н., Новых Л.Л., Дроздова Е.А., Петин А.Н., Присный А.В., Лазарев А.В., Колчанов А.Ф. Экологическая ситуация в районах размещения горнодобывающих предприятий региона Курской магнитной аномалии: монография. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. 157 с.
6. Криночкина О.К. Основы оценки потенциальной эколого-геохимической опасности от деятельности горнорудных предприятий в различных природных условиях // Недропользование XXI век. 2017. № 6 (69). С. 134–143.
7. Голик В.И., Полухин О.Н., Петин А.Н., Комащенко В.И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 91–94.
8. Гонеев И.А., Чепелев О.А., Голесов П.В. Общие закономерности распространения тяжелых металлов в почвах зоны влияния горнорудных предприятий КМА // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2011. Т. 1. № 3 (19). URL: <http://www.scientific-notes.ru/pdf/020-031.pdf> (дата обращения: 01.12.2021).
9. Котенко Е.А., Морозов В.Н., Кушнеренко В.К., Анисимов В.Н. Геоэкологические проблемы КМА и пути их решения // Горная промышленность. 2003. Март-Апрель. С. 12–15.
10. Корнилов А.Г., Вендина Т.Н., Колмыков С.Н., Корнилова Е.А. Современная эколого-геохимическая ситуация в районе Лебединского месторождения железистых кварцитов региона КМА // Горный журнал. 2021. № 7. С. 91–95.
11. Корнилов А.Г., Кичигин Е.В., Павлюк Я.В., Динькаева Г.Т., Корнилова Е.А., Дорошенко М.В., Усачев Д.В. Почвенно-геохимическая безопасность Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района. Районный фон // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: материалы IX Международной научной конференции (Белгород, 20–23 октября 2021 г.). Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2022. С. 290–293.

ВЫБРОСЫ САЖИ С ТЕРРИТОРИИ ЮЖНО-ХЫЛЬЧУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

^{1,2}Котова Е.И., ¹Туфанова О.П.

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: ecopp@yandex.ru;

²Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук,
Москва, e-mail: oksana.tufan@gmail.com

Нефтегазодобывающая отрасль оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Одним из видов негативного воздействия является загрязнение атмосферного воздуха. Загрязняющие вещества особенно сильно влияют на природу северных регионов. В работе были рассмотрены данные выбросов сажи от источников нефтегазодобывающей отрасли с территории Южно-Хыльчуйского месторождения, расположенного в северной части Тимано-Печорской провинции, проведен пространственно-временной анализ распространения сажи в атмосферном воздухе и потоков сажи на подстилающую поверхность, сделано сравнение изменений объемов выбросов сажи в атмосферный воздух с объемами добычи нефти за 2008–2020 гг. на территории месторождения, проведен анализ полученных результатов. По полученным данным атмосферный перенос сажи от источников с территории месторождения в основном происходит в северном и северо-восточном направлениях. В зимний период загрязняющее вещество от источников с территории месторождения распространяется на более дальние расстояния, чем в летний. Также определено, что объемы выбросов черного углерода от источников нефтегазодобывающей отрасли с территории Южно-Хыльчуйского месторождения в среднем за рассматриваемое время уменьшаются, что связано в первую очередь с объемами добычи на рассматриваемом месторождении.

Ключевые слова: выбросы, черный углерод, атмосферные потоки, нефтегазовые месторождения

SOOT EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF THE YUZHNO-KHYLCHUYSKOYE FIELD

^{1,2}Kotova E.I., ¹Tufanova O.P.

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, e-mail: ecopp@yandex.ru;

²Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: oksana.tufan@gmail.com

The oil and gas industry has a significant impact on the environment. One of the types of negative impact is atmospheric air pollution. Pollutants especially strongly affect the nature of the northern regions. The paper considered the data of soot emissions from sources of the oil and gas industry from the territory of the Yuzhno-Khylchuysskoye field located in the northern part of the Timan-Pechora province, carried out a spatio-temporal analysis of the spread of soot and soot flows in the atmospheric air to the underlying surface, compared the changes in the volume of soot emissions into the atmospheric air with the volume of oil production for the period 2008–2020 on the territory of the deposit, the analysis of the results obtained was carried out. According to the data obtained, the atmospheric transport of soot mainly occurs in the northern and north-eastern directions from sources from the territory of the deposit. In winter, the polluting substance from the sources from the territory of the deposit spreads to distances further than in summer. It is also determined that the volume of black carbon emissions from the sources of the oil and gas industry from the territory of the Yuzhno-Khylchuysskoye field decreases on average during the time under consideration, which is primarily due to the volume of production at the field under consideration.

Keywords: emissions, black carbon, atmospheric flows, oil and gas fields

Нефтяная промышленность оказывает отрицательное влияние на окружающую среду. Освоение, обустройство и эксплуатация месторождений нефти и газа сопровождаются постепенной деградацией почвы, нарушением водного режима, уничтожением лесных растений и загрязнением атмосферы. Влияние на атмосферу возникает в результате сжигания попутного нефтяного газа и характеризуется загрязнением воздуха сернистым ангидридом, углекислым газом, диоксидом и оксидом азота.

Разведка, добыча, подготовка, транспортировка и хранение углеводородного сырья сопровождаются значительными выбросами в атмосферу метана, диоксида углерода и диоксида азота, являющихся основными парниковыми газами. Также добыча и переработка нефти связаны с большим количеством выбросов углеводородов, сероводородов и т.д.

Загрязняющие вещества особенно сильно влияют на природу северных регионов вследствие малых интенсивностей продук-

ционно-биоэнергетических процессов, низких восстановительных и самоочистительных возможностей арктических экосистем [1, с. 20–21].

Загрязняющие вещества, содержащиеся в воздухе, могут отрицательно влиять на здоровье человека. Сажа нетоксична, но она может переносить частицы смолистых веществ и металлов с канцерогенными свойствами [2].

Антропогенные примеси переносятся воздушными массами на большие расстояния, а в результате осаждения сухих выпадений и вымывания атмосферными осадками примеси поступают на поверхность. Интенсивность этих осадений зависит не только от объемов выбросов, но во многом и от таких показателей, как турбулентность, рельеф и характер подстилающих поверхностей. Трансграничные переносы в меридиональном направлении происходят медленнее, чем в широтном направлении. В связи с этим северные и южные полушария обладают своими фоновыми уровнями загрязнения [3, с. 306].

Даже при постоянных объемах и составах промышленных и транспортных выбросов вследствие влияния метеорологических условий уровни загрязнения воздуха могут различаться в несколько раз [4, с. 21].

Примеси, выбрасываемые в атмосферу, переносятся воздушными массами за пределы расположения их источников, причем интенсивность влияния отдаленных источников зависит от множества метеорологических факторов: направления и скорости

ветра, температуры воздуха, устойчивости атмосферы, осадков и т.д. [5, с. 92]. Загрязнения распространяются на дальние, значительные расстояния [6]. В Арктике, при низких температурах и слабом облучении воздуха прямыми солнечными лучами, время нахождения загрязняющих веществ в воздухе велико, зимой до 10 дней и больше, при этом возможен их перенос через атмосферу на расстояние до 10 тыс. км [7, с. 475–476].

Целью данной работы является анализ динамики и распространения выбросов сажи в атмосферный воздух со временем от источников нефтегазодобывающей отрасли на территории Южно-Хыльчуйского месторождения. Для этого в работе были проанализированы объемы выбросов черного углерода от источников нефтегазодобывающей отрасли на территории месторождения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции за 2001–2020 гг., построены и проанализированы карты-схемы потоков сажи от рассматриваемого месторождения.

Материалы и методы исследования

Южно-Хыльчуйское нефтегазовое месторождение находится в Ненецком автономном округе на севере Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, в 120 км к северо-востоку от г. Нарьян-Мар – административного центра округа, и в 80 км к северо-западу от п. Харьягинский. Месторождение классифицируется как крупное с точки зрения извлекаемых запасов нефти (рис. 1).

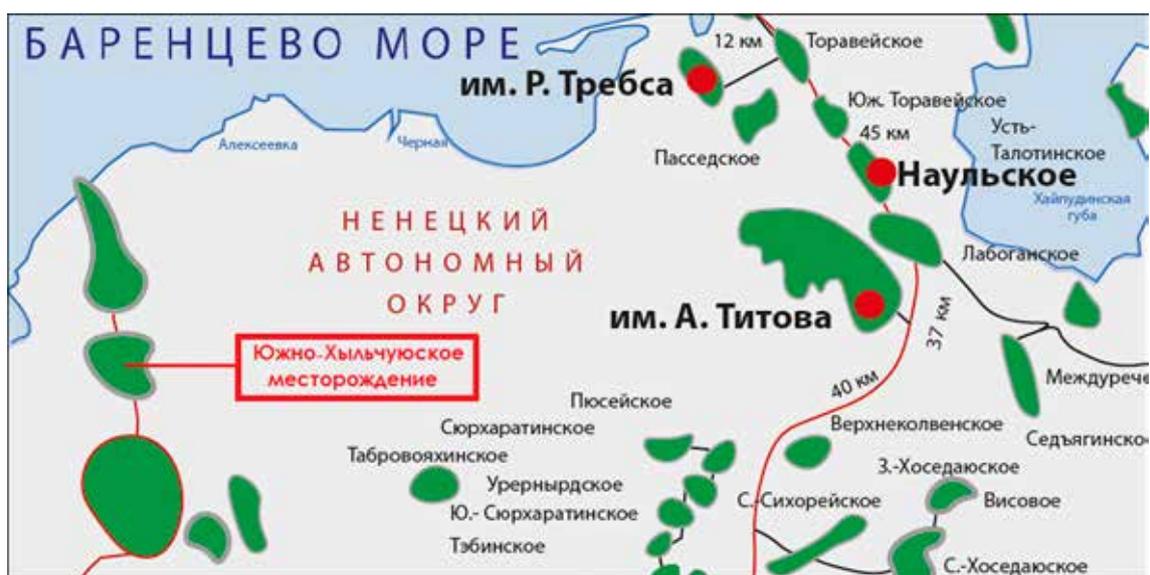


Рис. 1. Схема расположения Южно-Хыльчуйского месторождения [8]

Его промышленная эксплуатация началась в 2008 г. совместным предприятием «Нарьянмарнефтегаз». Добыча нефти в 2008 г. составила 2,15 млн т, в 2009 г. – 6,99 млн т, в 2010 г. – 6,89 млн т [8].

Данные значений выбросов черного углерода в атмосферу с территории месторождения были получены на сайте «EMEP Centre on Emission Inventories and Projections» [9].

Анализ распространения примеси вследствие переноса воздушными массами от предполагаемого источника в данной работе проведен с использованием метода статистики траекторий переноса воздушных масс. Основа метода заключается в обработке массива данных о траекториях движения воздушных масс от конкретного источника. Траектории движения воздушных масс рассчитывались с помощью траекторной модели HYSPLIT и данных реанализа полей метеорологических характеристик на сайте Air Resources Laboratory (сервер Национального управления океанических и атмосферных исследований США – National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Основа метода разработана в Институте физики атмосферы Российской академии наук [10].

Концентрация примеси C_{ij} в приземном воздухе рассматриваемой ячейки географической сетки, созданная в результате выбросов Q_{ij} примеси на поверхности в ячейке сетки с координатами (ij) , вычисляется по формуле

$$C_{ij} = Q_{ij} \times Z_{ij}, \quad (1)$$

где Z_{ij} – функция чувствительности к потенциальным источникам примеси в ячейке (ij) .

Величина ее рассчитывается по массиву обратных траекторий и определяется не только количеством траекторий, прошедших через ячейку (ij) , но и качеством поверхности, над которой происходит перенос примеси, а также зависит от характеристик атмосферы по пути переноса (высота слоя перемешивания, осадки), длины пути и длительности переноса – подробнее в работе А.А. Виноградовой [10].

Все расчеты проводились на сетке $1^\circ \times 1^\circ$.

Анализ характера движения воздушных масс от источника выбросов и основные направления переноса проводился за период 2011–2020 гг.

Кроме того, в работе рассмотрены результаты экологического мониторинга на территории Южно-Хыльчююского нефтегазового месторождения за 2013–2016 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемое нефтегазовое месторождение находится в специфических условиях климата северных территорий России: экстремально низкие температуры, короткий вегетационный период, многолетнемерзлые породы и др. Это обуславливает высокую чувствительность северной природы к внешним воздействиям.

Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP) собирает данные о выбросах подкисляющих загрязнителей воздуха, тяжелых металлов, твердых частиц и фотохимических окислителей от Сторон Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, готовит базы данных в качестве исходных данных для моделей дальнего переноса. Данные «EMEP» об эмиссиях веществ в атмосферу представлены в виде суммарных эмиссий за год на градусной сетке. В работе были обобщены данные с территории Южно-Хыльчююского месторождения с 2001 г.

Согласно данным CEIP средние значения выбросов черного углерода с рассматриваемой территории до начала эксплуатации месторождения составляли 3,8 т/год. Эти выбросы связаны с особенностями методики предоставления данных о выбросах, а именно необходимостью распределения на сетке выбросов от рассредоточенных источников: транспорт, прочие стационарные источники, авиация и т.д.

После ввода месторождения в эксплуатацию от источников на территории Южно-Хыльчююского месторождения выбросы сажи в атмосферный воздух за период 2008–2020 гг. составляют 160,6 т/год, или 5,1 г/с. При этом можно выделить два периода. В 2008–2014 гг. объемы выбросов составляли 189,7–260,6 т/год. С 2015 г. объемы выбросов сажи в атмосферу с территории месторождения значительно снизились и не превышали 76,7 т/год. Одной из вероятных причин снижения выбросов может являться снижение объемов добычи. Первоначально доказанные запасы нефти на месторождении составляли более 74 млн. т. В 2009 и 2010 гг. на месторождении было добыто 7 и 6,9 млн т нефти соответственно. Переоценка запасов месторождения привела к снижению доказанных запасов нефти до 20 млн т нефти на конец 2011 г., что привело к снижению объемов добычи [8] (рис. 2).

Газ, полученный при добыче нефти на месторождении, подлежит утилизации

или переработке. Одним из простых методов утилизации попутного нефтяного газа является его сжигание в факелах. На производственном участке месторождений устанавливаются факельные установки. От сжигания попутного нефтяного газа в факельных установках в атмосферный воздух поступает огромное количество загрязняющих веществ: частицы сажи и другие вредные вещества.

С увеличением объемов добычи нефти увеличились объемы его сжигания и, следовательно, выбросы сажи в атмосферу.

По данным проведенных расчетов модельных потоков сажи с территории Южно-Хыльчуйского месторождения была

построена карта-схема распространения сажи, в том числе потоков сажи из атмосферы вследствие выбросов от источников с территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2011–2020 гг. (рис. 3). Согласно представленным данным наибольшее распространение сажи происходит в сторону севера и северо-востока, т.е. на акватории морей Северного Ледовитого океана в большей степени в меридиональном направлении.

Максимальных значений, 16 мкг/м² в месяц, среднегодовые потоки достигают непосредственно на территории месторождения. Среднегодовая концентрация сажи в воздухе при этом будет равна 0,007 мкг/м³.

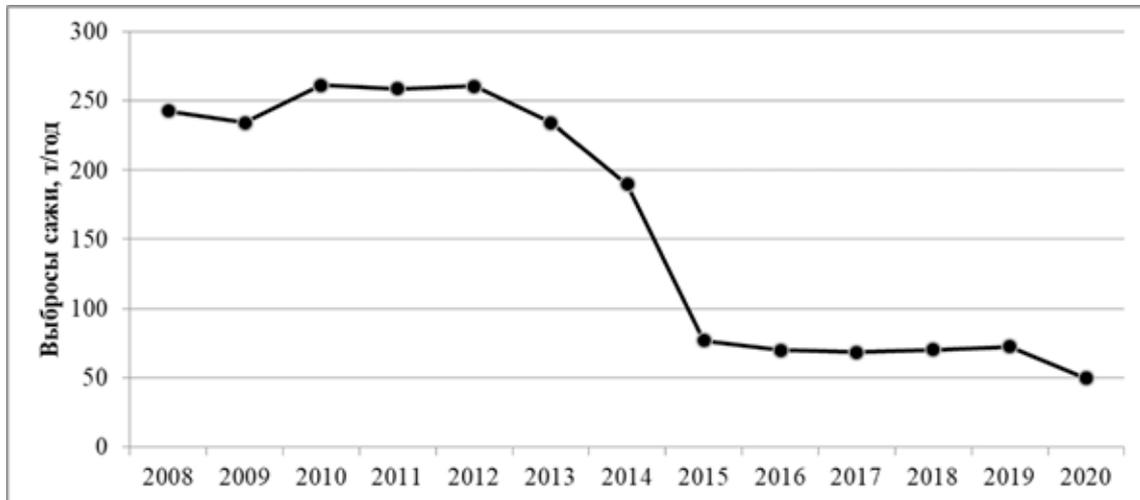


Рис. 2. Динамика выбросов сажи с территории Южно-Хыльчуйского месторождения (график построен авторами по данным СЕИР)

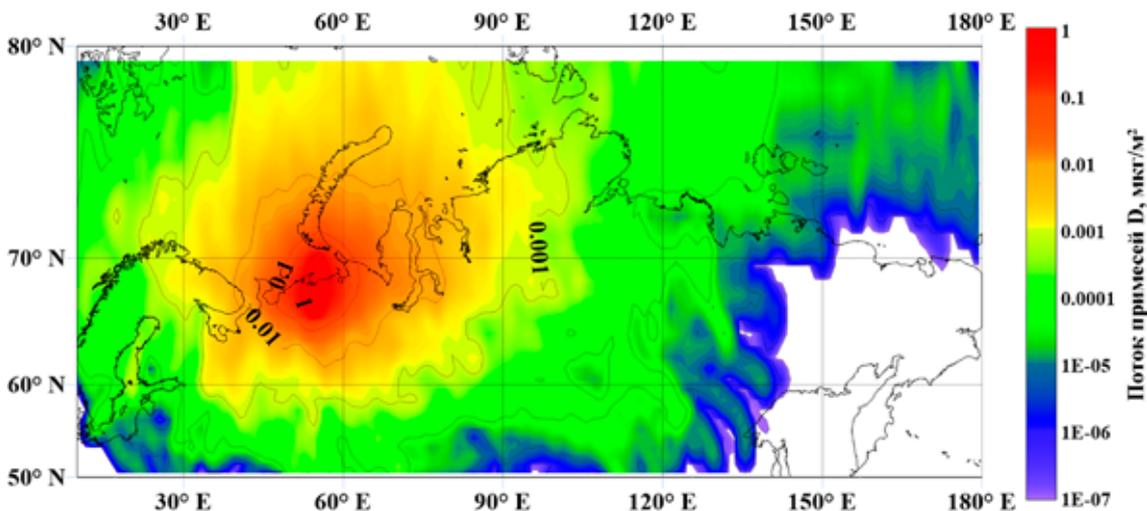


Рис. 3. Карта-схема распространения потоков сажи от источников нефтегазодобывающей отрасли на территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2011–2020 гг.

Сезон года оказывает существенное влияние на распространение примесей от источников месторождения, так как изменяется характер перемещения воздушных масс. В холодное время загрязняющие вещества распространяются через атмосферу на большие территории и преимущественно в направлении севера и северо-востока. Это также можно объяснить тем, что в Арктике при низких температурах и слабой инсоляции воздуха, время жизни загрязняющих веществ в воздухе велико, зимой до 10 дней и больше [7, с. 475]. В летний период распространение примесей от месторождения будет меньше. Но при этом осаждение сажи вблизи месторождения увеличится.

На территории Южно-Хыльчуйского месторождения по данным 2013–2016 гг. отбор проб атмосферного воздуха ведется в двух пунктах режимных наблюдений: первая точка в 50 м на запад от центрального пункта сбора нефти (ЦПС), вторая точка расположена в 300 м на юго-восток от ЦПС. Отбор проб воздуха производится 1 раз в год.

Согласно экологическим отчетам, содержание сажи в пробах воздуха практически ежегодно находится ниже предела обнаружения: < 0,03 мг/м³. Наличие сажи в воздухе было определено лишь в 2013 г. на уровне 0,15 мг/м³.

Заключение

Согласно данным СЕИР поступление черного углерода с рассматриваемой территории до начала эксплуатации месторождения составляло 3,8 т/год, т.е. это минимальный объем, не связанный с разработкой месторождения. За период эксплуатации Южно-Хыльчуйского месторождения (с 2008 г.) с территории рассматриваемого месторождения количество выбросов заметно сократилось с 2015 г. В среднем выбросы сажи в атмосферный воздух за 2008–2020 гг. составляют 160,6 т/год.

Распространение примесей от источников нефтегазодобывающей отрасли на территории Южно-Хыльчуйского месторождения в основном происходит в северном и северо-восточном направлениях, поэтому

лучше ситуацию загрязнения окружающей среды через атмосферу на территории Южно-Хыльчуйского месторождения будут отражать отборы проб атмосферного воздуха в направлении севера и северо-востока от месторождений. Содержание сажи по экологическим отчетам в пробах воздуха находится в пределах нормы.

Также можно отметить, что отбор проб 1 раз в год недостаточен, так как атмосферный воздух является наиболее динамичной и сложной средой, а также потому, что отбор двух проб в одном направлении от ЦПС 1 раз за год не улавливает все выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Список литературы

1. Туфанова О.П., Котова Е.И. Оценка степени загрязненности поверхностных вод при освоении нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 1 (310). С. 20–26. DOI: 10.33285/2411-7013-2023-1(310)-20-26.
2. Основные источники загрязнения атмосферного воздуха. 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://studylib.ru/doc/2098989/osnovnye-istochniki-zagryazneniya-atmosferного-vozduha?ysclid=lo0d9c4l2q843635688> (дата обращения: 07.10.2023).
3. Стрельников В.В., Мельченко А.И. Экологический мониторинг: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2023. 372 с. DOI: 10.12737/1019057.
4. Алексеев Д.К. Конспект лекций. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха. СПб.: РГГМУ, 2021. С. 27.
5. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
6. Перенос загрязнений. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru-ecology.info/term/48847/> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Арктические районы России (1986–2010 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
8. Южно-Хыльчуйское месторождение. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141630-yuzhno-khylchuyuskoe-mestorozhdenie/> (дата обращения: 06.10.2023).
9. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections: Web site. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cep.at/the-emep-grid/gridded-emissions/bc> (дата обращения: 07.10.2023).
10. Виноградова А.А., Котова Е.И. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России // Живые и биокосные системы. 2018. № 23. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-23/article-2> (дата обращения: 06.10.2023). DOI: 10.18522/2308-9709-2018-23-2.

УДК 911.3:332.14
DOI 10.17513/use.38147

ОСОБЕННОСТИ РАЙОНИРОВАНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Кошечая Е.С., Лебединская Ю.С.

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток,
e-mail: Elenakh1981@yandex.ru, Yuliya.Lebedinskaya@vvsu.ru

В статье рассматриваются проблемы районирования и территориальной структуры, которые представляют собой экономические категориальные понятия, исследуемые в научной парадигме, основу которых составляют концепции и методология данного исследования. Существует множество работ, посвященных вопросу районообразования и структурирования, при этом уделяется недостаточно внимания вопросу анализа данной проблематики на территории Дальнего Востока и Приморского края. В этой связи авторы считают целесообразным рассмотреть и проанализировать особенности процесса районирования и территориального структурирования на территории Приморского края в темпорально-временном континууме. Подобное исследование направлено на изучение вопросов районообразования, становления и формирования территориальной структуры посредством создания структурообразующих и структуроорганизующих элементов системы, с последующим их функциональным взаимодействием, а также на анализ процесса возведения опорного каркаса – связующей основы освоения, развития и закрепления территории в составе российского государства. Также рассматриваются особенности районирования юга Приморского края в XIX–XXI вв. Выбранные временные рамки исследования указанной проблематики определяются процессом освоения территории и становлением ее структурированности, посредством возведения элементов системы в пределах рассматриваемого ареального пространства, имеющего экономическое, политико-стратегическое, геополитическое значение для российского государства. Здесь особое внимание авторы уделяют условиям становления и развития территориальной структуры, функциональности и интегрированности ее элементов как особой системы формирования политики территориально-административного районирования. Проводится сравнительный анализ процесса их образования, раскрываются принципы аналогии территориальной и административной организации юга Приморского края. В статье уделяется внимание анализу районного и системного подходов территориального структурирования и территориально-административного управления, определяются отличительные черты районообразования и территориального структурирования. Кроме того, авторами в процессе исследования теоретического и практического материала были выделены подтипы узловых и линейных элементов, а также приведена карта-схема их интеграционного взаимодействия, на которой визуально изображен опорный каркас.

Ключевые слова: районирование, политическая практика, территориальная структура, политика, система, юг Приморского края, территориальное управление, государство

PECULIARITIES OF ZONING AND TERRITORIAL STRUCTURING OF THE SOUTH OF PRIMORSKY KRAI

Koshevaya E.S., Lebedinskaya Yu.S.

Vladivostok State University, Vladivostok,
e-mail: Elenakh1981@yandex.ru, Yuliya.Lebedinskaya@vvsu.ru

The article discusses the problems of zoning and territorial structure, which are economic categorical concepts studied in the scientific paradigm. The basis of which is the concepts and methodology of this study. There are many works devoted to the issue of regional formation and structuring, but little attention is paid to the issue of analyzing this issue in the Far East and Primorsky Territory. In this regard, the authors consider it appropriate to consider and analyze the features of the process of zoning and territorial structuring on the territory of Primorsky Krai in the temporal continuum. Such research is aimed at studying the issues of regional formation, formation and formation of territorial structure through the creation of structure-forming and structure-organizing elements of the system, followed by their functional interaction. And also, to analyze the process of constructing a supporting frame, as a connecting basis for the exploration, development and consolidation of the territory as part of the Russian state. The article discusses the features of zoning in the south of Primorsky Krai in the 19th – 21st centuries. The selected time frame for the study of this issue is determined by the process of development of the territory and the formation of its structure, through the construction of system elements within the considered Areal space, which has economic, political-strategic, geopolitical significance for the Russian state. Here, the authors pay special attention to the conditions for the formation and development of the territorial structure, the functionality and integration of its elements as a special system for forming the policy of territorial-administrative zoning. A comparative analysis of the process of their formation is carried out, the principles of analogy of the territorial and administrative organization of the south of Primorsky Krai are revealed. The article pays attention to the analysis of regional and systemic approaches to territorial structuring and territorial administrative management, identifying the distinctive features of regional formation and territorial structuring. In addition, the authors, in the process of studying theoretical and practical material, identified subtypes of nodal and linear elements, and also provided a map diagram of their integration interaction, which visually depicts the supporting frame.

Keywords: zoning, political practice, territorial structure, politics, system, south of Primorsky Krai, territorial administration, state

В течение двух столетий на территории Приморья формировался своеобразный механизм районирования и территориального структурирования, характеризующийся процессом становления территориальной ячейки по отношению к основным хозяйственным и промышленным центрам, магистральным и транспортным путям, выполняющим роль соединительных линий, как центров-фокусов (пульсаров), так и ко всему прилегающему площадному пространству. Особая роль в этом процессе отводилась государству, как главному субъекту осуществления политики экономического преобразования территории Приморского края. Здесь формирование территориальных единиц определялось по принципу национальной принадлежности и административно-экономической целесообразности.

Одним из основных районообразующих компонентов, объясняющих сложившуюся систему образования районов, является территориальная структура. Она как базовая «генерализирующая, «стержневая» категория охватывает многие основополагающие геополитические, историко-политические и экономические события, интерпретируя их в качестве политических решений в своеобразное территориальное устройство, состоящее из структуроорганизующих и структурообразующих, взаимодополняющих и взаимозависимых элементов, таких как линейные, ареальные и узловые (таблица).

Представленные авторами данные составляют основу территориального структурирования, взаимосвязь которых образует опорный каркас любой исследуемой территории.

В целом интерпретированный парадигмальный материал территориального структурирования как нельзя лучше объясняет определенные концепты освоения, заселения, и районообразования любого ареаль-

ного пространства, имеющего уникальное положение в географическом, политико-экономическом, стратегическом, геополитическом отношении.

Элементы территориальной структуры выступают в качестве объектов наполняемости территории и как нельзя лучше объясняют сложившийся и функционирующий в политической практике механизм районообразования и структурирования Приморья. Процесс их становления и развития в полной мере охватывает выбранный временной континуум, что позволяет рассмотреть особенности районирования и территориального структурирования юга Приморского края и проследить историко-политическую специфику формирования его административно-территориального деления и территориального устройства в ретроспективе. Сложившаяся здесь система районообразования стала результатом политической практики становления и развития элементов территориальной структуры, о чем свидетельствует факт освоения и экономического развития российским государством территории юга Приморья, который имел сугубо политический характер и был направлен на реализацию правительством первоочередной задачи – присоединить и удержать данную территорию в составе государства. Ее решение органами власти осуществлялось посредством становления элементов территориальной структуры, которые выступали в качестве геостратегических точек и линий политического каркаса российского присутствия в регионе.

Цель исследования состоит в комплексном исследовании особенностей районообразования и территориального структурирования юга Приморского края в темпорально-временном континууме и оценке их параметрических характеристик.

Элементы территориальной структуры

Элементы территориальной структуры	Характеристика	Примеры
Узловые	Компактные территориальные образования, занимающие относительно небольшую по размерам площадь	Населенные пункты – города, поселки городского типа, села, деревни
Линейные	Интеграционное образование, характеризующееся протяженностью и служащее основой оформления пространственного единства территории	Магистрали, проселочные дороги, тропы, инфраструктура
Ареальные	Площадные образования, пространственный резерв для развития опорного каркаса	Территория для освоения, периферия

Материалы и методы исследования

Политическая практика районирования и территориального структурирования имеет обширную исследовательскую базу. Однако разработанные концепции раскрывают определенные теоретические и практические вопросы и механизмы районообразования, а также проблематику становления и развития территориального структурирования и создания опорного каркаса любого площадного образования. При этом основным аспектом данных процессов выступают обусловленные факторы экономико-политического, социального и геополитического характера, элементы структурирования, параметры развития производств. Совокупный их анализ дает полное представление об особенностях районирования и территориального структурирования ареального пространства. В связи с этим авторы исследования считают необходимым провести ретроспективный анализ процесса районирования, становления и развития территориального структурирования уникальной по параметрическим характеристикам территории юга Приморского края. Проведение данного исследования позволит выделить особенности районообразования Приморья, определить политические и экономические черты структурообразования и формирования элементов системы и построения каркасной конструкции исследуемого края.

Использование авторами комплексного подхода позволит иерархически систематизировать политическую практику процесса становления и развития территориальной структуры юга Приморского края и выделить механизмы и особенности его районирования. Анализ территориальной организации основных элементов системы и их структуроорганизующего и структурообразующего функционального взаимодействия разрешит вопросы развития и перспективного роста производственных и хозяйственных объектов, транспортных и инфраструктурных линий, а также прилегающих территорий как основных аспектов взаимного процесса создания и формирования опорного каркаса, в пределах исследуемого районообразования – юга Приморья.

Результаты исследования и их обсуждение

Процесс районообразования уникальной в экономико-географическом и геополитическом отношении территории юга

Приморского края осуществлялся правительством одновременно с колонизацией региона. Это делалось для удобства территориального управления отдаленной от европейской части российского государства территорией. И начался он гораздо раньше, чем были подписаны Айгуньский и Пекинский договоры, согласно которым за Россией юридически закреплялась территория нынешнего Приморского края. Об этом свидетельствует становление первых узловых элементов на юге Приморской области. Они располагались вдоль реки Усури, очерчивая будущую границу российского государства. Их образование носило политический характер и осуществлялось преимущественно казаками, вследствие чего их функции сводились к военно-административным, что соответствовало протоузлам – низший тип узловых элементов. На основании проведенного анализа авторами были определены подтипы узловых элементов территориальной структуры (рис. 1).



Рис. 1. Подтипы узловых элементов территориальной структуры

Одновременно с ними создавались первичные узлы, такие как Камень-Рыболов, Раздольное, Никольск, Шкотово, Пермское и др. Их становление было связано с освоением прилегающих ареальных пространств, удаленных от протоузлов, с целью осуществления ими хозяйственной и промышленной деятельности [1]. Так были сформированы из узловых элементов территориальной структуры оборонительные линии и официально установлена государственная граница юга Приморского края, проходившая вдоль реки Усури. Параллельно процессу становления узловых элементов территориальной структуры правительство решало проблему районирования. Здесь согласно постановлению государственного совета от 14 ноября 1856 г. была образована Приморская область, в состав которой вошли Камчатка, территория Нижнего Амура и о. Сахалин [2]. Административным центром ее стал город Николаевск-на-Амуре.

Однако с его реорганизацией в 1870 г. столицей Приморья становится Владивосток. В 1884 г. из состава Приморской области вышел о. Сахалин, а само Приморье стало частью вновь образованного Приамурского края с центром в Хабаровске [3]. Его значение с официальным установлением государственной границы резко возросло. Позже в составе Приморской области был образован Уссурийский казачий округ. Проводимые правительством процессы районирования делались с одной целью – улучшить условия для совершенствования территориального управления и осуществления политико-экономической, геополитической региональной политики государства. При этом особая роль отводилась развитию транспортной инфраструктуры, основу которой составила Уссурийская железная дорога.

Своеобразная картина районирования наблюдается в период распада Российской империи и образования Советской России. В это время новым органам власти для сохранения в составе государства Приморья и стратегически важных в геополитическом отношении узловых и линейных элементов территориальной структуры способствовало создание буферного государства [4]. Несмотря на ординарность решения правительства об образовании «государства в государстве», сам процесс районирования имел политический характер. В силу того, что районообразование преследовало главную цель – создание оптимального территориально-административного устройства для сохранения существующих геостратегических центров (фокусов) и линий в пределах образованной территориальной единицы – Приморской области, предполагается, что районирование стало искомым фактором развития территориального структурирования Приморья. Здесь наблюдается обратный процесс, когда на первое место выходит образование административно-терри-

ториального устройства – Дальневосточной республики.

В решении исследуемого авторами вопроса первостепенное значение в СССР имела плановая экономика. Результатом ее реализации стало повсеместное развитие промышленности сельского хозяйства, что привело к росту промышленных и сельскохозяйственных отраслей экономики юга Приморского края [5]. Так, на территории Приморья были сформированы узлы (рис. 1) – Владивостокский; Уссурийский; Спасск-Дальний; Находкинский.

Дальнейший экономический рост узловых подтипов сопровождался функционированием и обновлением линейных элементов. На основании проведенного анализа авторы классифицировали подтипы линейных элементов территориальной структуры на основе интенсивности их информационной и вещественной нагрузки (рис. 2).

Здесь в процессе реализации задач планирования транспортной системы были сооружены такие путевые магистрали, как шоссе, авиалиния, высоковольтная линия. Так, в пределах созданной российским правительством каркасной конструкции юга Приморского края советским руководством осуществлялся дальнейший процесс районообразования. Здесь декретом ВЦИК Дальневосточная область была преобразована в Дальневосточный край, куда и вошла Приморская область. Позднее указом Президиума Верховного Совета был образован Приморский край, который вошел в состав Дальневосточного федерального округа. Совершенно в другом ракурсе предстает процесс территориального структурирования и районообразования в современной России. Здесь в сложившихся условиях региональное правительство стало формировать различные виды отношений с приграничными государствами, а именно со странами Азиатско-Тихоокеанского региона (далее – АТР).



Рис. 2. Подтипы линейных элементов территориальной структуры

Выбранная правительством политика способствовала функциональному расширению промышленных центров: Владивосток, Уссурийск, Пограничный, Гродеково, Спасск-Дальний, Фокино, Находка. Основой для их дальнейшего экономического роста стало осуществление региональными органами власти задач промышленной политики – производство конкурентоспособной продукции – высокие технологии. Экономическое развитие узловых элементов способствовало становлению инфраструктуры в странах АТР. [3]. Их интегрированное взаимодействие способствовало формированию ареальных элементов системы, о чем свидетельствует политика тесного приграничного сотрудничества, которая вывела на новый, качественный уровень развития процесс территориального структурирования и районирования. В нем особую актуальность приобрело создание особых форм экономического взаимодействия в приграничной полосе [6]. Здесь были сформированы модели зонального (очагового) и «открытого рационализма» сотрудничества. На базе этих моделей создавались и функционировали приграничные торговые комплексы, а также территории опережающего социально-экономического развития. [4].



Рис. 3. Карта-схема территориальной структуры юга Приморского края

В целом существующее районирование на юге Приморского края – это результат политической практики становления и развития территориальной структуры, о чем свидетельствует составленный и приведенный авторами иллюстративный материал, на котором авторы четко привели основные подтипы узловых (пунсоны – выделены красным цветом) и линейных (магистраль Уссурийская железная дорога – выделено

штриховкой желтого цвета и река Усури – собственно-структурная ось) элементов территориального структурирования (рис. 3).

Системный характер ее формирования способствовал образованию устойчивой каркасной конструкции. Таким образом, проведенный анализ процессов и механизмов территориального структурирования и районирования юга Приморья свидетельствует о политической детерминанте [7]. Именно данное исследование показало, что большая часть ее ареального пространства было экономически и социально территориально обустроено и административно поделено посредством политического воздействия. Сложившееся районообразование и территориальное структурирование юга Приморского края – это результат долговременного принятия политических решений в сфере соблюдения национальных и геополитических интересов, приоритетов экономического развития промышленных и хозяйственных производств, обороноспособности государства.

Заключение

Основным результатом ретроспективного исследования особенностей районирования и территориального структурирования территории Приморского края можно считать политический аспект. Целенаправленное становление узловых элементов в стратегически важных объектах приграничного, хозяйственного и промышленного значения определило административно-территориальные границы Приморья. Последующее развитие элементов структурированности линейного и ареального концепта было сопряжено с развитием интеграционных, стратегических связей и площадных образований, служащих импульсом создания и формирования опорного каркаса в пределах границ района, обозначенного пульсарами или центрами-фокусами. Проанализированное приоритетное политико-экономическое, геополитическое, географическое положение юга Приморского края надолго предопределило перспективные направления экономического роста его хозяйствующих, промышленных, транспортно-инфраструктурных объектов, являющихся на сегодняшний день основными элементами территориального структурирования, приграничного взаимодействия и интеграции каркасной конструкции. При этом в рамках темы исследования необходимо фокусироваться прежде всего на инновационном росте, экономическом эффекте

модернизации элементов территориальной структуры и активно способствовать их развитию в границах выделенного площадного образования посредством формирования новых ареальных «точек» в виде территорий опережающего развития, промышленных кластеров и промышленных парков, свободных экономических зон, расширяя, таким образом, географию синергетического взаимодействия узловых, линейных элементов системы и возведения опорного каркаса юга Приморья.

Список литературы

1. Мошков А.В. Региональные особенности формирования и развития территориально-производственных систем Дальнего Востока России // Вестник ассоциации российских географов-обществоведов. 2013. № 1 (2). С. 73–82.
2. Кошечкина Е.С., Лебединская Ю.С., Нигай Е.А. Экономика территориального структурирования: создания опорного каркаса на примере юга Дальнего Востока // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10, № 4 (37). С. 151–155.
3. Козлова О.А., Терентьева Т.В., Макарова М.Н., Лан Д.Х. Территориальные факторы стратегического развития дальневосточных регионов // Экономика региона. 2016. № 12 (3). С. 98–103.
4. Мошков А.В. Территориально-отраслевые структуры территории опережающего социально-экономического развития юга Дальнего Востока России // Социально-экономическая география: история, теория, методы, практика: сборник научных статей (Смоленск, 14–16 октября 2016 г.). Смоленск: Издательство Универсум, 2016. С. 318–325.
5. Часовский В.И. Основные тренды территориально-отраслевых изменений в промышленности России // Балтийский регион. 2015. № 3 (25). С. 154–172.
6. Сулов Д.В. Внешняя торговля Дальневосточного федерального округа в 2016 г. // Проблемы Дальнего Востока. 2017. № 2. С. 50–56.
7. Бершадская С.В., Айснер Л.Ю., Богдан О.В. К вопросу о территориальной целостности и территориальных изменениях // Вестник Восточно-Сибирской Открытой Академии. 2015. № 19. С. 4–10.

УДК 502:910.3(571.56)
DOI 10.17513/use.38148

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕСУРСНОГО РЕЗЕРВАТА «КУОЛУМА-ЧАППАНДА»

Николаев А.А.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail:cd051@mail.ru

В статье рассмотрена эколого-географическая оценка устойчивости ландшафтов особо охраняемых природных территорий на примере ресурсного резервата «Куолума-Чапанда» Таттинского улуса Республики Саха (Якутия). В заповедном деле впервые предложена методика оценивания критериев ландшафтов по балльной системе – по географической доступности в километрах ООПТ, по продолжительности безморозного периода – основного фактора производительности ландшафта, по лесистости участков ООПТ – основного фактора размножения диких животных, по площади ООПТ по квадратным километрам – основного фактора воспроизводства популяций диких животных. Далее по таблице по данным участков ООПТ выставляются баллы, и по их результатам ООПТ классифицируются на следующие классы устойчивости ландшафтов: 1-й класс – экологически высокоустойчивые ландшафты ООПТ; 2-й класс – экологически устойчивые ландшафты ООПТ; 3-й класс – экологически среднеустойчивые ландшафты ООПТ; 4-й класс – экологически малоустойчивые ландшафты ООПТ; 5-й класс – экологически подверженные ландшафты ООПТ. Ресурсный резерват «Куолума-Чапанда» расположен в Алдано-Амгинском междуречье. Климат резко континентальный с суровой зимой и теплым летом. Таежная растительность представлена в основном лишайниково-бруснично-багульниковым лиственничным лесом. Вегетационный период незначителен. По результатам оценки устойчивости ландшафтов ООПТ ресурсный резерват «Куолума-Чапанда» имеет следующие данные. Общий балл ресурсного резервата составляет 14 баллов, он относится к экологически среднеустойчивым ландшафтам ООПТ. По оценке резерват имеет средние размеры и находится довольно близко к населенным пунктам, что может быть использовано в развитии туризма. По лесистости резерват относится к сплошным лесным участкам. По продолжительности безморозного периода территория резервата относится к менее средним, как и по всей части Центральной Якутии. По географической доступности относится к средней доступности.

Ключевые слова: ресурсный резерват «Куолума-Чапанда», особо охраняемые природные территории Якутии, оценка устойчивости ландшафтов, Алдано-Амгинское междуречье, Таттинский улус, бассейн Средней Амги

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF LANDSCAPES OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS ON THE EXAMPLE OF THE RESOURCE RESERVE “KUOLUMA-CHAPPANDA”

Nikolaev A.A.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail:cd051@mail.ru

The article considers an ecological and geographical assessment of the stability of landscapes of specially protected natural areas on the example of the Kuoluma-Chappanda resource reserve of the Tattinsky ulus of the Republic of Sakha (Yakutia). For the first time in the reserve business, a methodology was proposed for assessing landscape criteria according to a point system – according to geographic accessibility in kilometers of protected areas, according to the duration of the frost-free period – the main factor in landscape productivity, according to the forest cover of protected areas – the main factor in the reproduction of wild animals, according to the area of protected areas in square kilometers. Further, according to the table, points of protected areas are set and, according to their results, they are classified into the following classes of sustainability of landscapes of protected areas: class 1 – ecologically highly stable landscapes of protected areas; Class 2 – ecologically sustainable landscapes of protected areas; 3rd class – ecologically medium-stable landscapes of protected areas; Class 4 – ecologically unstable landscapes of protected areas; Class 5 – ecologically prone landscapes of protected areas. The resource reserve is located in the Aldan-Amga interfluvium. The climate is sharply continental with severe winters and warm summers. The taiga vegetation is represented mainly by lichen-lingonberry-ledum larch forest. The growing season is short. According to the results of the assessment of the sustainability of landscapes of protected areas, the Kuoluma-Chappanda resource reserve has the following data. The total score of the resource reserve is 14 points and belongs to the ecologically moderately stable landscapes of protected areas. According to the assessment, the reserve is of medium size and is located quite close to settlements, which can be used in the development of tourism. In terms of forest cover, the reserve belongs to continuous forest areas. In terms of the duration of the frost-free period, the territory of the reserve is less than average, as well as throughout the entire part of Central Yakutia. In terms of geographic accessibility, it belongs to medium accessibility.

Keywords: resource reserve «Kuoluma-Chappanda», specially protected natural areas of Yakutia, assessment of landscape sustainability, Aldan-Amga interfluvium, Tattinsky ulus, Middle Amga basin

Для сохранения окружающей среды и совершенствования ее охраны от антропогенного воздействия организуются особо охраняемые природные территории (ООПТ).

Широкое создание сети ООПТ в Республике Саха (Якутия) в середине 1990-х гг. обусловило основу для воспроизводства и увеличения численности популяций животного ресурса в экосистемах Республики. Ресурсный резерват республиканского значения «Куолума-Чаппанда» был основан 5 мая 1999 года в Таттинском улусе, общая площадь ООПТ составляет 594 294,0 га [1].

Создание ресурсного резервата и его значимость обусловлены сохранением уникальных ландшафтов Алдано-Амгинского междуречья Центрально-Якутской равнины: сохранением фауны и флоры мест их ареала и распространения; мест остановок транзитных перелетных птиц, организацией научно-исследовательских и мониторинговых работ по исследованию состояния природной среды и их компонентов; сохранением мест обитания ценных видов рыб – осетра, тайменя, ленка, хариуса на притоках рек Балы-Баалы, Чаппанда, Куолума; обустройством территорий для организации познавательного туризма, экологического образования и т.д.

В настоящее время в заповедном деле не разработана эколого-географическая оценка устойчивости ландшафтов ООПТ, что затрудняет обоснование целей и задач охраняемых природных территорий в определенных участках природы, в муниципальных образованиях, природоохранных, туристических и научных организациях.

Цель исследования: выполнить эколого-географическую оценку устойчивости ландшафтов ООПТ на примере ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда» с ведением новой методики оценивания в заповедном деле.

Материал и методы исследования

Материал и методы исследования: материалы исследования базируются на основе натурного изучения в 2022 году участков территории ресурсного резервата. Проведено изучение ландшафтного, климатического и природного составляющего резервата. Данные работ [2-5] явились базой для выполнения метода экологической устойчивости ландшафтов ООПТ.

Так, автором разработаны критерии экологической устойчивости ландшафтов особо охраняемых природных территорий

по следующим факторам. 1 – по географической доступности: менее 10 км – доступные; 10–50 км – средне-доступные; 50–100 км – дальние; 100–200 км – труднодоступные; более 200 км – очень труднодоступные. В этой группе географическая доступность определена преимущественно по географическим особенностям Якутии и наиболее похожих на нее субъектов России со слабой развитой дорожной сетью и инфраструктурой. 2 – по продолжительности безморозного периода в днях: 40–65 дней – малые; 65–90 дней – менее средние; 90–115 дней – средние; 115–140 дней – выше среднего; более 140 – продолжительные. Продолжительность безморозного периода играет большую роль в формировании ландшафтного состояния в общем, его быстром восстановлении и воспроизводстве после антропогенного воздействия. 3 – по лесистости участков: ООПТ подразделили на следующие группы: менее 10% – малолесные; 10–50% – слабо-лесные; 30–50% – средне-лесные; 50–80% – нормально-лесные; 80–100% – сплошные лесные. Лесистость территории также играет важную роль в сохранении биологических ресурсов, являясь как бы экологическим домом не только для животных, но и всей экосистемы участков. 4 – по близости расположенного любого по численности населенного пункта в ООПТ подразделили на следующие группы: менее 10 км – близкие; 10–50 км – не далекие; 50–100 км – средней дальности; 100–200 км – далекие; более 200 км – очень далекие. Не секрет, что населенные пункты, расположенные поблизости, играют негативную роль в воспроизводстве популяции диких животных. 5 – по площади ООПТ по квадратным километрам: менее 1000 км² – небольшие; 1000–5000 км² – средние; 5000–10000 км² – большие; 10000–20000 км² – крупные; более 20000 км² – крупнейшие (табл. 1).

Далее по таблице проверяются любые участки ООПТ. Участки, получившие более 20 баллов, – 1-й класс, входят в экологически высокоустойчивые ландшафты ООПТ, где возможно быстрое увеличение воспроизводства популяций диких животных; 15–20 баллов – 2-й класс, это экологически устойчивые ландшафты ООПТ; 10–15 баллов – 3-й класс, экологически среднеустойчивые ландшафты ООПТ; 5–10 баллов – 4-й класс, экологически малоустойчивые ландшафты ООПТ; менее 5 баллов – 5-й класс, экологически подверженные ландшафты ООПТ.

Таблица 1

Критерии экологической устойчивости ландшафтов ООПТ (по баллам)

Оценка, баллы	Географическая доступность, км	Продолжительность безморозного периода, дни	Лесистость, проценты	Близость населенного пункта, км	Площадь ООПТ кв. км
1	<10	40–65	<10	<10	<1000
2	10–50	65–90	10–30	10–50	1000–5000
3	50–100	90–115	30–50	50–100	5000–10000
4	100–200	115–140	50–80	100–200	10000–20000
5	200>	140>	80–100	200>	20000>

Результаты исследования и их обсуждение

Ресурсный резерват находится в средней долине бассейна р. Амга и расположен в юго-восточной окраине Таттинского улуса (рис. 1). Таттинский улус – муниципальный район на востоке центральной части Якутии, площадь улуса составляет 18984 км². Он объединяет 15 населенных пунктов, 40% населения проживает в селе Ытык-Кюёль – административном центре улуса. Райцентр лежит на автодороге Якутск – Магадан, которая пересекает улус с запада на восток. Примерно 95% населения – якуты. Основным видом экономической деятельности является сельское хозяйство. Улус очень интересен в туристическом отношении, так как здесь

находятся культурно-исторические памятники выдающихся людей Республики, которые стали основателями Якутии. Много уникальных природных объектов, таких как Мамонтова гора, гора Тэйэр, которая представляет большой интерес для туристов, а также исторические музеи в селах Ытык-Кюель и Черкех. Улус богат кузнецами и мастеровыми людьми народа саха. Населенные пункты, расположенные рядом с ресурсным резерватом: Чымнайи, Харбалах, Чычымах и Дая-Амгата. На реке Амга в летний сезон очень развиты пляжный отдых, рыбалка и сплавы. Таким образом, вероятность посещения туристами ресурсного резервата велика, если развивать и сделать туристские тропы и разрешить посещение их туристами (рис. 1).

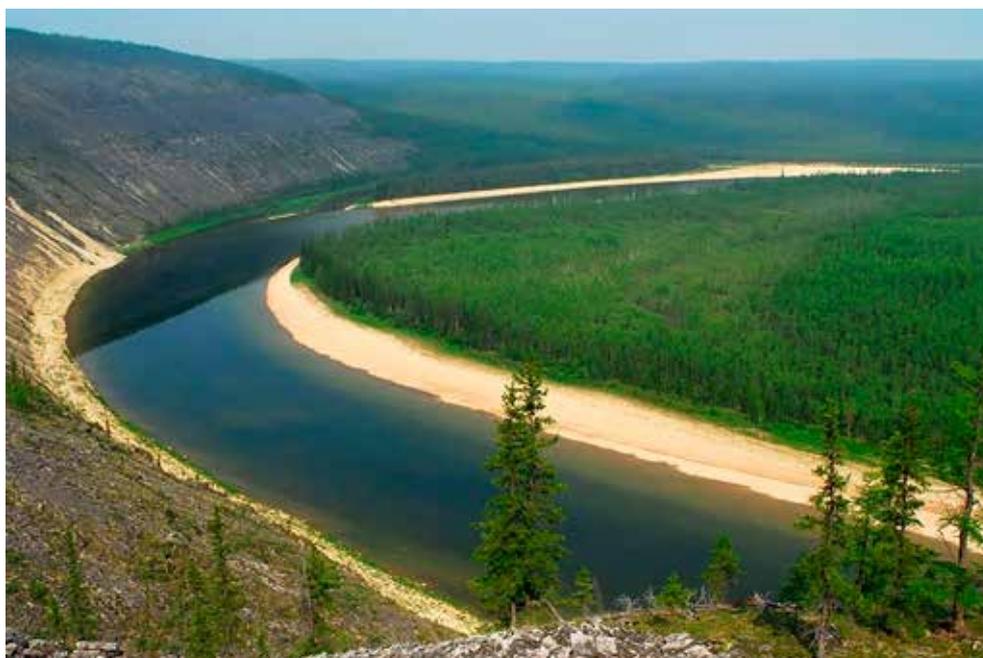


Рис. 1. Река Амга. Леса представлены типичными среднетаежными лиственничниками (фото автора)

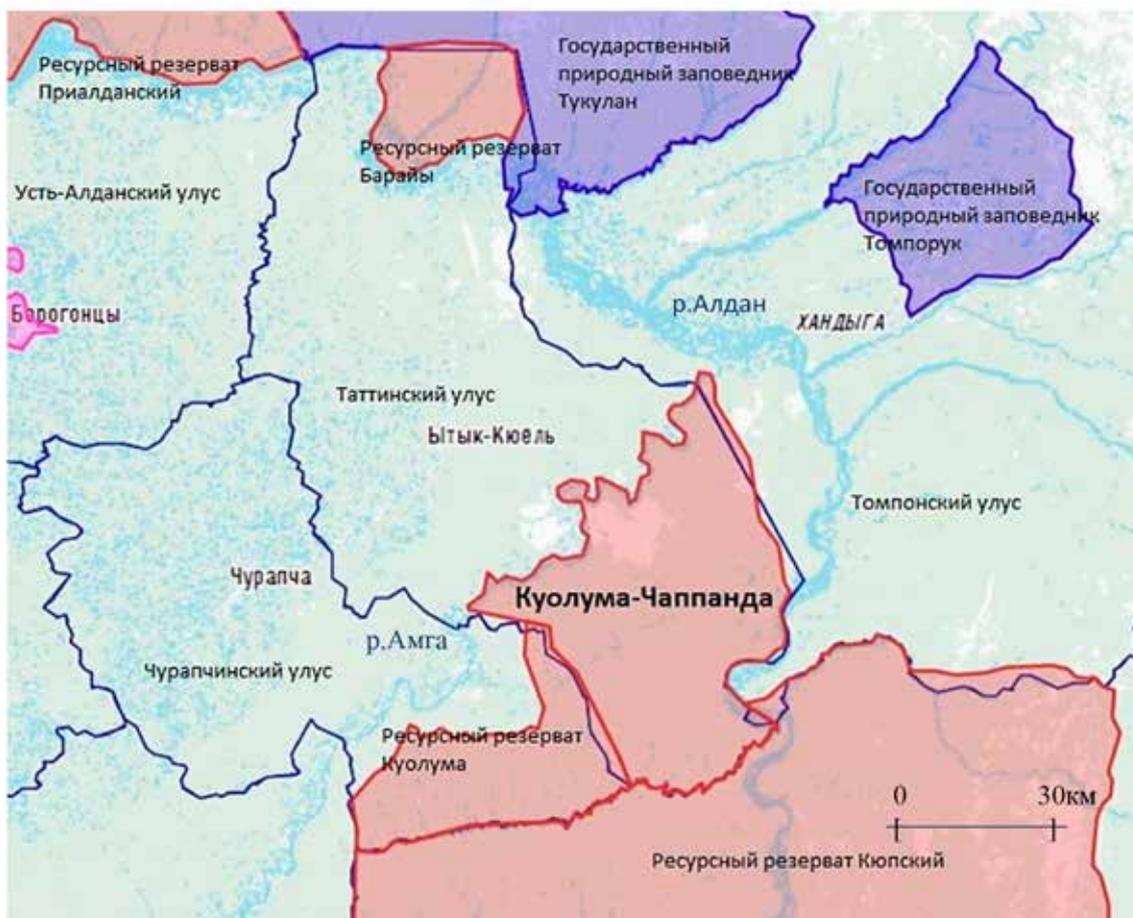


Рис. 2. Картосхема ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда», граничит с ресурсными резерватами «Куолума» и «Кюпский» [7]

Рельеф равнинный – восточная окраина Центрально-Якутской равнины. Таттинский улус расположен в Алдано-Амгинском междуречье. Большая часть междуречья состоит из палеозойских и мезозойских отложений, включая глины, гравий, песок и кремнистый сланец, глинистые пески, глинистые сланцы и слабощементированные песчаники. Встречаются граниты, известняки и туфы [6].

Таттинский улус, как и большая часть территории Республики, отличается резко континентальным климатом с суровой и холодной зимой и довольно коротким, но жарким летом. Минимальная температура воздуха -66°C , максимальная температура воздуха $+38^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха в январе $-45,7^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха в июле $+17,4^{\circ}\text{C}$. Зима в среднем начинается с конца октября и длится до конца апреля. Снежный покров выпадает в начале октября, его высота составляет в среднем 30–40 см, но в последние годы бывают

и многоснежные зимы. Ветры относительно устойчивы, преобладают южные, юго-западные и западные ветры. В летний сезон преобладают северные, северо-восточные, северо-западные и западные ветры. Скорость ветра составляет 1–2 м/сек. С октября по январь скорость ветра может достигать 3,4–3,9 м/сек. Сильные ветры, более 15 м/сек, в среднем отмечаются около 9–10 дней в году [6]. Неблагоприятными явлениями погоды могут считаться грозы, метели, туманы, гололед. Осадки в год составляют 100–220 мм, большая часть которых выпадает в конце летнего сезона. Продолжительность летнего сезона составляет 86–97 дней. По сухости климата аласная и лесная территории относятся к недостаточно увлажненным, а рельеф, прилегающий к озерам и речкам, – относительно увлажненным.

Граница ресурсного резервата проходит по рекам Алдан, Амга и Куолума. Территория изрезана многочисленными водото-

ками, среди которых: р. Улахан-Тала (левый приток р. Куолума), р. Чаппанда (левый приток р. Алдан), р. Татта (левый приток р. Алдан), р. Нахарахы, р. Ноху, р. Бала-Бала, р. Тюе (правый приток р. Амга) и др. (рис. 2) [6]. На территории резервата расположены озера-старицы и термокарстовые озера. Глубина озер не превышает 3 м, длина и ширина крупных озер бывает не более 2–3 км. Это так называемые термокарстовые озера, возникают в процессе вытаивания мерзлотных почв на луге. Такие озера постепенно зарастают, происходит процесс эвтрофикации, на этих местах затем появляются болота и мари, а потом луг. Такие участки называются аласами, они широко используются как сельскохозяйственные угодья.

Для территории ООПТ «Куолума-Чаппанда» характерны лугово-черноземные, палевые типичные, палевые оподзоленные и палевые карбонатные почвы, на которых распространена таежная растительность, представленная преимущественно листовыми брусничными, листовыми с примесью ели и сосны бруснично-зеленомошными лесами [8]. В среднем течении реки Амги растут 304 вида 48 семейств растений, из них 40 видов дерево-кустарниковые. В окрестностях Амги растет редкий вид ириса – касатик мечевидный (сем. касатиковые-ирисовые). Введен в культуру, послужил родоначальником большого числа сортов.

На территории ресурсного резервата характерны таежные виды животных. Из птиц: стерх – белый журавль (места их остановок), чирок, турпан, кряква, глухарь, куропатка, сова, сокол, орел и т.д. Из млекопитающих: бурый медведь, лось, волк, косуля, соболь, рысь, россомаха, лиса, заяц-беляк и др. [6]. Территория ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда» довольно большая, что, по мнению Русецкой [5], может служить сбалансированной опорной точкой для воспроизводства и увеличения численности популяций диких животных. Хорошей базой служит здесь «связь» резервата с другими ресурсными резерватами по соседству, расположенные на самой границе резервата, что способствует их взаимовыгодным «связям» в деле сохранения и воспроизводства численности популяций диких животных по так называемым экологическим коридорам со всего бассейна Средней Амги и Алдана. Так, «возникает» своеобразный довольно обширный по площади конгломерат ООПТ из ресурсных резерватов «Куолума-Чаппанда», «Кюпский» и «Куолума». Эти территории ресурсных

резерватов являются одним из труднодоступных участков природы. Концентрация популяций диких животных в этом месте может быть более плотной, нежели в других густонаселенных частях улусов. Поэтому здесь необходимо организовать наиболее тщательную охрану с созданием в этих частях постоянных пунктов госинспекторов по ООПТ. Одним из интересных направлений в этом месте может служить развитие экологического туризма, активных видов туризма (пеших, вездеходных, на лошадях), сплавов по рекам и речкам, на катерах и т.д. Таким образом, в этом конгломерате возможно развить экологические типы туризма, усовершенствовать заповедную зону ресурсных резерватов, «проложить» экологический коридор миграции популяций диких животных между резерватами. Ввиду близости к основным населенным пунктам ресурсный резерват «Куолума-Чаппанда» можно назвать ООПТ наиболее «туристско-рекреационным», где эти участки попадают под воздействие основного массового наплыва туристов. На этих участках охрана животных ресурсов играет второстепенную роль, так как они находятся поблизости от районов основного антропогенного влияния. Ресурсный резерват «Куолума» можно включить в «заповедно-туристский» способ развития ООПТ. Ресурсный резерват «Кюпский» расположен в очень труднодоступном месте, такой участок можно развить «заповедный» способ развития ООПТ.

По результатам оценки критериев устойчивости ландшафтов ООПТ ресурсный резерват «Куолума-Чаппанда» получил следующие параметры: 3 балла – по площади ООПТ; 2 балла – по близости населенных пунктов; 5 баллов – по лесистости; по продолжительности безморозного периода – 2 балла; по географической доступности – 2 балла (табл. 2).

Общий балл ресурсного резервата составляет 14 баллов, он относится к экологически среднеустойчивым ландшафтам ООПТ. Резерват имеет средние размеры и находится довольно близко к населенным пунктам, его участки могут быть использованы в разных видах туризма, в том числе в познавательном и активном туризме. По лесистости относится к сплошным лесным участкам. По продолжительности безморозного периода 65–90 дней относится к менее средним, как и вся Центральная Якутия. По географической доступности относится к средней доступности – около 20 км от основного населенного пункта.

Таблица 2

Результаты оценки критериев устойчивости ландшафтов
ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда»

Показатели и критерии оценки	Географическая доступность, км	Продолжительность безморозного периода, дни	Лесистость, проценты	Близость населенного пункта, км	Площадь ООПТ кв. км	Общий балл и оценка
Критерии оценки, в баллах	2	2	5	2	3	14
Показатели	10–50	65–90	80–100	10–50	5000–10000	Экологически среднеустойчивый ландшафт ООПТ

Таким образом, ресурсный резерват «Куолума-Чаппанда» относится к экологически среднеустойчивым ландшафтам ООПТ, что предусматривает здесь развитие не только охраны животных ресурсов, но и туристско-рекреационной деятельности.

Выводы

Таким образом, для развития туризма на территории резервата необходимо предусмотреть следующие мероприятия.

1. Пересмотреть руководству резерватом вместе с бизнес-сообществом, общественностью и с местным населением режимы и задачи ресурсного резервата, предусмотреть функциональные зонирования традиционного природопользования местным населением и зоны туристско-рекреационной деятельности для активного привлечения туристов и строительства стационарных баз отдыха и туризма.

2. Провести полную инвентаризацию участка резервата с уникальными природными и историческими объектами для разработки нескольких приемлемых тематических туристских маршрутов и троп.

3. Обустроить или восстановить разрушенные лесные домики по пути туристского маршрута, сделать указатели маршрутов, зоны отдыха, ночлега, кострищ и биваки.

4. Заповедную зону резервата обозначить особыми знаками запрета, посещение которой туристам не разрешается во избежание лишнего беспокойства диких животных.

5. Создать рекламно-информационный буклет для информирования широких масс населения об открытии туристских маршрутов

и троп на территории ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда».

6. Провести соответствующие работы по обучению и привлечению гидов-проводников, работников резервата в теплое время года.

Список литературы

1. Приказ Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия). Положение о ресурсном резервате (Эркэ-эйи Сир) республиканского значения «Куолума-Чаппанда» в Таттинском улусе от 10 сентября 2014 г. № 01-05/1-367. [Электронный ресурс]. <https://base.garant.ru/26750337/> (дата обращения: 21.08.2023).
2. Боровичев Е. А., Королева Н. Е., Поликарпова Н.В., Петров В.Н., Петрова О.В., Трусова М. Г. Сеть ООПТ Мурманской части Зеленого пояса Фенноскандии: история, современное состояние и перспективы развития // Труды Карельского научного центра РАН 2019. № 4. С. 20-31.
3. Исаченко Т.Е., Исаченко Г.А., Озерова С.Д. Оценка рекреационной нарушенности и регулирование нагрузок на особо охраняемых природных территориях Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2020. № 65 (1). С. 16-32.
4. Петрова О. В., Боровичев Е. А. Экотуризм в Зеленом поясе Фенноскандии: предпосылки, проблемы и особенности (на примере Мурманской области) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 4. С. 166-181.
5. Русецкая Г.Д., Дмытерко Е.А. Особо охраняемые природные территории – инструмент устойчивого управления природопользованием // Известия Байкальского государственного университета. 2017. Т. 27, № 4. С. 479-487.
6. Комплексный атлас Республики Саха (Якутия). ФГУП Якутское аэрогеодезическое предприятие. 2009. С. 231.
7. Картограмма особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия). Геопортал Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL:<https://sakhagis.ru/> (дата обращения: 21.08.2023).
8. Карта растительности Центральной Якутии. Якутская АССР. Атлас. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. Гос. агропром. ком. Якут. АССР, Гос. ком. РСФСР по нар. образованию, Якут. гос. ун-т. М.: ГУТК, 1989. 1 атл. 115 с.

УДК 910.3:504.436(470.325)
DOI 10.17513/use.38149

РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОДНИКОВ КРАСНЕНСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Новых Л.Л., Гайденко Е.М., Орехова Г.А.

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: novykh@bsu.edu.ru, lopina@bsu.edu.ru, ga-li-na@mail.ru*

На территории Белгородской области находятся родники разных типов использования: хозяйственно-питьевого, рекреационного, культового. Общей тенденцией является нарастание рекреационного использования, в связи с чем стоит проблема оценки источников с точки зрения удовлетворения потребностей людей в рекреации. Важной составляющей рекреационной оценки является ландшафтная ценность пейзажа, поэтому в статье обсуждены проблемы оценки пейзажной выразительности в окрестностях родников. Целью данной работы являлось определение пейзажной выразительности в окрестностях наиболее известных родников на северо-востоке области на территории Красненского района, их рекреационной значимости и рекреационного потенциала. Изучаемые родники приурочены к балкам или речным долинам, большинство из них обустроено. В ходе полевого обследования осуществлена паспортизация родников, проведены оценки санитарно-технического состояния, пейзажной выразительности, рекреационной значимости, рекреационного потенциала. Для большинства изученных родников района характерно активное комплексное использование. Санитарно-техническое состояние родников от неудовлетворительного до хорошего, рекреационная значимость – от низкой до очень высокой, пейзажная выразительность – от пониженной до повышенной. Качественная оценка рекреационного потенциала родников показала его изменение от низкого до высокого, что позволяет оценивать перспективность использования изученных источников.

Ключевые слова: Белгородская область, родник, санитарно-техническое состояние родников, пейзажная выразительность, оценка рекреационной значимости родников, рекреационный потенциал родников

RECREATIONAL POTENTIAL OF SPRINGS OF KRASNENSKY DISTRICT OF BELGOROD REGION

Novykh L.L., Gaydenko E.M., Orekhova G.A.

*Belgorod National Research University, Belgorod,
e-mail: novykh@bsu.edu.ru, lopina@bsu.edu.ru, ga-li-na@mail.ru*

On the territory of the Belgorod region, different types of use of springs are expressed: economic and drinking, recreational, religious. The general trend is an increase in recreational use, in connection with which there is a problem of assessing sources from the point of view of meeting the needs of people in recreation. An important component of recreational assessment is the landscape value of the landscape, therefore, the article discusses the problems of assessing landscape expressiveness in the vicinity of springs. The purpose of this work was to determine the landscape expressiveness in the vicinity of the most famous springs in the north-east of the region on the territory of the Krasnensky district, their recreational significance and recreational potential. The studied springs are confined to gullies or river valleys, most of them are equipped. During the field survey, certification of springs was carried out, assessments of sanitary and technical condition, landscape expressiveness, recreational significance, recreational potential were carried out. The majority of the studied springs of the district are characterized by active complex use. The sanitary and technical condition varied from unsatisfactory to good, recreational significance – from low to very high, landscape expressiveness – from reduced to increased. A qualitative assessment of the recreational potential of springs showed its change from low to high, which makes it possible to assess the prospects of using the studied sources.

Keywords: Belgorod region, spring, sanitary and technical condition of springs, assessment of the recreational significance of springs, landscape expressiveness, recreational potential of springs

На территории Белгородской области есть родники разных типов использования: хозяйственно-питьевого, рекреационного, культового. В настоящее время повсеместно растет рекреационная популярность родников, все чаще в их окрестностях создают зоны отдыха и социокультурные комплексы. В рамках исследования по оценке эстетико-потребительских параметров среды и изучения рекреационного природопользования ранее авторами были рассмотрены различные аспекты использования природных источников в рекреационных целях.

Предлагаемая статья посвящена исследованию рекреационного потенциала родников на северо-востоке области на территории Красненского района. Важной составляющей рекреационной оценки является ландшафтная ценность пейзажа, поэтому в статье обсуждены проблемы оценки пейзажной выразительности в окрестностях родников.

Цель исследования – определение пейзажной выразительности в окрестностях наиболее известных родников Красненского района, их рекреационной значимости и рекреационного потенциала.

Материалы и методы исследования

Красненский район находится на северо-востоке Белгородской области, входит в состав Потуданско-Тихососненского физико-географического района. Характерной чертой рельефа района, как и области в целом, является густая долинно-балочная сеть, поэтому на днищах балок и у основания склонов речных долин часто выходят родники [1].

Мониторинг состояния родников района проводится авторами с 2006 г. В 2010–2011 гг. было описано 24 родника. В региональную сеть ООПТ в настоящее время входит один родник на северной окраине с. Вербное – Рубленый. Этот родник является памятником природы регионального значения с 1991 г. При совершенствовании сети ООПТ области, проведенном в 2017 г. [2], в Красненском районе ситуация не изменилась: родник Рубленый по-прежнему является единственным охраняемым родником, хотя ранее авторами была показана перспективность включения некоторых родников района в ряд памятников природы регионального значения [3].

Объектами данного исследования являются 6 наиболее известных родников района. В 2023 г. в ходе полевого обследования проведено обновление паспортов родников, осуществлены разнообразные оценки их состояния.

Паспортизация родников и определение их санитарно-технического состояния (СТСР), включающего техническое состояние каптажа (ТСК), санитарное состояние родника (ССР), санитарное состояние области питания (ССОП), проводилось по методике ученых Московского геологоразведочного университета [4]; рекреационная оценка – по авторской методике, пейзажная выразительность – по шкале, предложенной Б.И. Кочуровым и Н.В. Бучацкой [5], рекреационный потенциал – по методике Е.Г. Катковой с соавт. [6].

Некоторые авторы отмечают, что большая часть Центральной России, лежащей на Среднерусской возвышенности, имеет почти идеальный с точки зрения психологического восприятия пейзаж [7], так как он, находясь на границе возвышенного и равнинного ландшафтов, отражает гармоничное сочетание пространственной вертикали и горизонтали. Пейзажный облик ландшафта вызывает целую гамму ассоциаций, чувств и эмоций, что особенно ценно, так как эмоции и впечатления формируют информационную базу человечества, а в ряде случаев восполняют ее дефицит.

Использованная шкала оценки пейзажной выразительности включает 7 параметров: общее впечатление от пейзажа, выразительность рельефа, обилие водных поверхностей, пространственное разнообразие растительности, природоохранные и уникальные объекты, антропогенное воздействие, использование территории в рекреационных целях. Шкала неравномерная: например, общее впечатление от пейзажа может быть оценено до 7 баллов, а антропогенное воздействие – до 4 баллов. В шкалу внесены следующие коррективы, связанные с ее применением для точечных объектов: пункт «Наличие рекреационных территорий» расширен: если в данной шкале 1 балл был предусмотрен только за наличие стационарных рекреационных учреждений (санатории, базы отдыха, детские оздоровительные учреждения), то авторами добавлен параметр наличие рекреационных зон в окрестностях родника.

Общая сумма баллов для оценки пейзажной выразительности составляет 30 баллов. Для удобства интерпретации результатов, авторы разделили весь интервал оценок на 5 частей: низкая – 1–6 баллов, пониженная – 7–12 баллов, средняя – 13–18 баллов, повышенная – 19–24 балла, высокая – 25–30 баллов.

Шкала для рекреационной оценки родников была разработана в 2015–2016 гг. Оценка проводится по следующим показателям: архитектура и композиция; эстетика: наличие купальни; качество воды; ландшафтная ценность пейзажа; дебит; доступ к роднику; оборудование мест отдыха; обеспечение санитарно-гигиенических требований при пользовании родником; наличие на территории бытового мусора. Шкала равномерная, так как каждый из 10 пунктов оценивается в 1 балл. По суммарному показателю проводится итоговая рекреационная оценка: очень низкая или неудовлетворительная – 0–2 балла; низкая – 2,5–4 балла; средняя – 4,5–6 баллов; высокая – 6,5–8 баллов; очень высокая – 8,5–10 баллов.

Оценка рекреационного потенциала проводилась Е.Г. Катковой с соавт. на основе эстетических свойств ландшафта, дебита источника, наличия каптажного устройства, создающего дополнительный эстетический эффект, и частоты посещаемости родника. Ими были выделены следующие родниковые районы:

1) с высоким уровнем рекреационного потенциала: родники с максимальными дебитами, значительной долей каптажных

устройств, родниковые урочища, характеризующиеся ландшафтным разнообразием;

2) со средним уровнем рекреационного потенциала: родники с незначительными показателями дебита, меньшей долей каптажных устройств. Однако, несмотря на низкие показатели рекреационной привлекательности источников, роль их в развитии рекреации велика;

3) с низким уровнем рекреационного потенциала: естественные водопроявления этих районов характеризуются наименьшими показателями дебита, отсутствием каптажных устройств, располагаются эти источники в труднодоступных и неосвоенных районах, все это обуславливает низкое рекреационно-практическое значение. Однако низкие показатели сглаживаются ландшафтными особенностями местности.

Данная шкала была апробирована ее авторами для территории Горного Алтая. Авто-

ры попытались с ее помощью оценить рекреационный потенциал отдельных родников.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице представлены некоторые важные характеристики обследованных родников.

Изучаемые родники приурочены к балкам или речным долинам, большинство из них обустроено. В группе представлены как малодобитные родники (менее 1 л/с), так и среднедобитные (1–10 л/с) и высокодобитный (более 10 л/с). Родники характеризуются комплексным использованием, за исключением родника вблизи с. Свистовка, который в настоящее время очень труднодоступен. Следует заметить, что еще пять лет назад родник использовался в рекреационных целях, хотя и нерегулярно. На рис. 1 представлены два родника-антипода: наиболее благоустроенный и необустроенный.

Особенности изученных родников

№	Название родника, ближайший населенный пункт	Рельеф	Обустройство	Дебит, л/с	Тип использования
1	Кирпичный, с. Новоуколово	Склон балки	Деревянный сруб, купель	Более 3	Р + К
2	Зареченский, с. Староуколово	Склон балки	Деревянный сруб	0,08	Х-п + Р
3	Вблизи с. Свистовка	Пойма, притеррасное понижение	Не обустроен	Более 1	Не исп.
4	Йодный, х. Япрынцев	Верховья балки	Родниковый колодец, навес	0,3	Х-п + Р
5	Ромахины корыгта, с. Расховец	Днище балки	Беседка, купель	1,1	Х-п + К + Р
6	Рубленый, с. Вербное	Пойма, притеррасное понижение	Часовня, купель	10	Р + К + Х-п

Примечание. Типы использования: Р – рекреационное, К – культовое, Х-п – хозяйственно-питьевое, Не исп. – не используется.



А



Б

Рис. 1. Внешний вид родников:
А) Рубленый (№ 6); Б) в окрестностях с. Свистовка (№ 3)

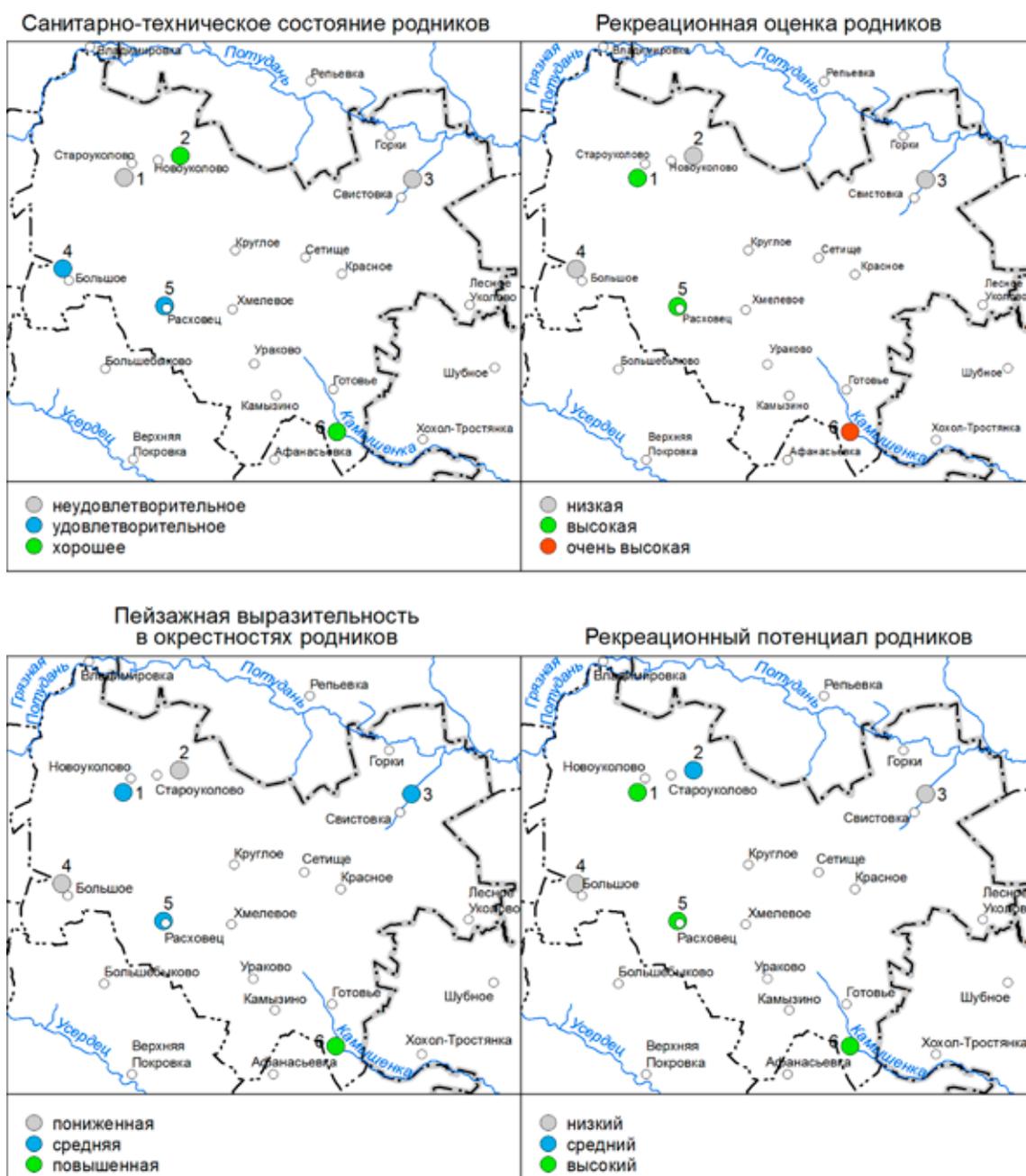


Рис. 2. Итоги оценок родников:

1 – Кирпичный (с. Новоуколово), 2 – Зареченский (с. Староуколово), 3 – вблизи с. Свистовка, 4 – Иодный, х. Япрынцев, 5 – Ромахины корыта (с. Расховец), 6 – Рубленый (с. Вербное)

Около памятника природы – родника Рубленый представлены информационные стенды с паспортом родника и результатами определения химического состава воды. В ходе экспедиций некоторые из авторов объехали всю Белгородскую область, поэтому обоснованно могут утверждать, что у этого родника – лучшее оформление как у памятника природы регионального значения, так как оно включает в себя

не только комплекс сооружений, но и научную информацию о роднике.

Итоги проведенных оценок родников показаны на серии картосхем (рис. 2).

Неудовлетворительное санитарно-техническое состояние родников № 1 и 3 (рис. 2, А) обусловлено отсутствием каптажа, поэтому изменить данный параметр достаточно сложно. В то же время удовлетворительное СТСР для родников № 4 и 5 можно легко

улучшить: для родника в х. Япрынецев достаточно поставить лавочку, чтобы появилось место отдыха, а для родника «Ромахины корыта» – провести уборку территории, чтобы улучшить санитарное состояние родника.

Рекреационная оценка изученных родников изменялась от 3,0 до 9,5 балла из 10 возможных, т.е. от низкой до очень высокой (рис. 2, Б). Самый низкий балл показал родник у с. Свистовка, упоминаемый ранее, самый высокий – родник Рубленый у с. Вербное. Последний из названных родников «потерял» 0,5 балла оценки из-за отсутствия крышки у декоративного колодца, где производится отбор воды, что снижает уровень обеспечения санитарно-гигиенических требований при использовании родником.

На рис. 2, В, представлен уровень пейзажной выразительности в окрестностях родников: оценка изменялась от 11 баллов для родника в х. Япрынецев до 19 баллов для родника Рубленый, т.е. два родника имеют пониженную оценку, три – среднюю и один – повышенную. Данный параметр изменить очень сложно, но преобладание средних и повышенных оценок говорит о перспективности ряда родников для рекреации.

Картосхема (рис. 2, Г) показывает рекреационный потенциал родников: у двух объектов он оценен как низкий, у одного – средний и у трех – высокий. Обращает на себя внимание близость оценок на рис. 2, Б и Г: те родники, что имеют высокую оценку рекреационного потенциала, также показали высокую или очень высокую оценку рекреационной значимости родников, хотя перечень критериев для оценки значительно различается.

Параметр качества родниковых вод вошел в систему оценки. Авторы подробно его не обсуждают, так как ни по одному из определяемых показателей ПДК не была превышена.

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют получить наглядную картину перспективности рекреационного использования изученных родников. Так, родник Зареченский, несмотря на хорошее санитарно-техническое состояние, по-видимому, будет по-прежнему выполнять свои хозяйственно-питьевые функции, так как имеет низкую оценку пейзажной выразительности и низкую рекреационную оценку. В то же время родник Кирпичный, санитарно-техническое состояние которого оценивается как неудовлетворительное, весьма перспективен для усиления рекреационно-

го использования, так как имеет среднюю оценку пейзажной выразительности и высокие оценки рекреационной значимости и рекреационного потенциала. Полученные данные о том, что вода в роднике соответствует санитарно-гигиеническим нормам, привлекут еще большее внимание к отдыху на данном объекте.

Перспективным для рекреационного использования является и родник Ромахины корыта, имеющий аналогичные параметры с предыдущим родником по пейзажной выразительности и рекреационным оценкам.

Самым ценным с точки зрения рекреационной значимости является родник Рубленый. В то же время он считается и наиболее ценным по культурному значению, поэтому для него остро проявляется необходимость «разделения» типа использований в пространстве. Большим плюсом для этого родника является отсутствие на территории громадных столов для организации празднеств. Однако в настоящее время купающиеся после жаркого летнего дня могут надолго занять купель, которая предназначена для омовений по определенному ритуалу. Оскорбляет чувства верующих и дефилирование некоторых отдыхающих на территории родника в купальных костюмах. Если удастся решить проблему «территориального разделения» типа использований, родник будет служить примером не только полноценного оформления памятника природы, но и учета потребностей разных категорий населения.

Список литературы

1. Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство / РГО, НИУ «БелГУ»; отв. ред. А.Г. Корнилов; ред.: А.Н. Петин, Ю.Г. Чендев, В.И. Петина, Е.М. Лопина, Н.В. Чугунова, А.Г. Нарожняя. Белгород: КОНСТАНТА, 2018. 200 с.
2. Об утверждении Положений о памятниках природы и дендрологических парках регионального значения Белгородской области: Постановление Правительства Белгородской области от 10.07.2017 № 269-пп [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3100201707170004?index=28&range> (дата обращения: 29.05.2021).
3. Новых Л.Л., Васильченко А.П., Демченко С.В. Совершенствование перечня охраняемых родников на территории Красненского района Белгородской области // Современные научные исследования: исторический опыт и инновации: сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Якаевские чтения, 2015) (Краснодар, 26–27 февраля 2015 г.). Краснодар: ИМСИТ, 2015. С. 135–139.
4. Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. М.: Научный мир, 2002. 160 с.
5. Кочуров Б.И., Бучацкая Н.В. Оценка эстетического потенциала ландшафтов // Юг России: Экология, развитие. 2007. № 4. С. 25–34.
6. Каткова Е.Г., Оборин М.С., Климова О.В. Рекреационный потенциал родников на территории Горного Алтая // Arctic Environmental Research. 2013. № 1. С. 5–9.
7. Джанджугазова Е.А. Пространство русского пейзажа // Современные проблемами сервиса и туризма. 2014. № 1. С. 83–88.

УДК 712.3.025 (470.630-25)
DOI 10.17513/use.38150

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ПАРК ПОБЕДЫ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ

Степаненко Е.Е., Зеленская Т.Г., Безгина Ю.А.,
Халикова В.А., Окрут С.В., Зверева О.С.

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru

В статье отражены результаты оценки рекреационной нагрузки на Парк Победы г. Ставрополя. Было проведено исследование особенностей естественных насаждений и выявлено, что значительно уменьшилось количество когда-то обычных для ставропольских лесов бука восточного (*Fagus orientalis* Lypsky) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) за счет увеличения количества быстрорастущих ясеня и кленов. Изменение травяного покрова в зависимости от рекреационной нагрузки наблюдается на всей территории парка. При исследовании территории Парка Победы почвенный покров характеризуется по основным показателям плодородия как достаточно однородный с высоким содержанием гумуса. Оценка проводилась по методикам, разработанным Л.И. Мухиной и В.В. Савельевой (1973). Была проведена оценка рекреационной нагрузки на экосистему Парка Победы. Рекреационная нагрузка на Парк Победы в праздничные и выходные дни выше, чем в будни. Такая зависимость возникает в результате большей рекреационной привлекательности парка как зоны отдыха, его рекреационной обустроенности, наличия аттракционов, кафе, дорожно-тропиночной сети. Исследованиями установлена зависимость деградации лесопарковой экологической системы от степени рекреационной нагрузки. В ходе исследований было выявлено, что в зависимости от интенсивности рекреационного воздействия видовой состав травяного яруса изменяется. По данному показателю отмечается смена доминирования в зависимости от рекреационного воздействия. На участках с сильным воздействием преобладают устойчивые к вытаптыванию виды, которые внедряются также на территорию, не подвергающуюся воздействию. Оценивали общую биомассу на исследуемой территории. Следовательно, биомасса на участке с сильной степенью воздействия не снижается по сравнению с контролем, что можно объяснить внедрением новых видов, заменой травянистых растений ненарушенных экосистем более продуктивными и увеличением освещенности вблизи дорожно-тропиночной сети. Таким образом, интенсивное рекреационное использование территории изменяет состав и структуру травяного яруса леса.

Ключевые слова: рекреационная нагрузка, экосистема, экологическая оценка, рекреанты, растительные сообщества

ASSESSMENT OF RECREATIONAL LOAD ON PARK POBEDY OF THE CITY OF STAVROPOL

Stepanenko E.E., Zelenskaya T.G., Bezgina Yu.A.,
Khalikova V.A., Okrut S.V., Zvereva O.S.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru

The article reflects the results of assessing the recreational load on Park Pobedy in the city of Stavropol. A study of the characteristics of natural plantings was carried out and it was revealed that the amount of Eastern Beech (*Fagus orientalis* Lypsky) and English Oak (*Quercus robur* L.), once common for the Stavropol forests, has significantly decreased due to an increase in the number of fast-growing ash and maples. Changes in grass cover depending on recreational load are observed throughout the park. When studying the territory of Park Pobedy, the soil cover is characterized by basic indicators of fertility as fairly homogeneous with a high humus content. The assessment was carried out using methods developed by L.I. Mukhina and V.V. Savelyeva (1973). An assessment of the recreational load on the Victory Park ecosystem was carried out. The recreational load on Park Pobedy on holidays and weekends is higher than on weekdays. This dependence arises as a result of the greater recreational attractiveness of the Park as a recreation area, its recreational facilities, the presence of attractions, cafes, and a road and path network. Research has established the dependence of the degradation of the forest-park ecological system on the degree of recreational load. During the research, it was revealed that depending on the intensity of recreational impact, the species composition of the grass layer changes. According to this indicator, there is a change in dominance depending on recreational influence. In highly impacted areas, trampling-resistant species predominate and also invade unaffected areas. The total biomass in the study area was assessed. Consequently, the biomass in the area with a strong degree of impact does not decrease compared to the control, which can be explained by the introduction of new species, the replacement of herbaceous plants of undisturbed ecosystems with more productive ones and an increase in illumination near the road and path network. Thus, intensive recreational use of the territory changes the composition and structure of the herbaceous layer of the forest.

Keywords: recreational load, ecosystem, environmental assessment, recreationists, plant communities

С каждым годом возрастает отрицательное воздействие человека на лесопарки: люди повреждают деревья, вытаптывают подрост, уничтожают подлесок и уплотняют

почву. Природа лесопарков требует защиты и от слишком «организованного» человека, который везде и во всем любит «наводить порядок», в результате чего появля-

ются осушенные где надо и не надо болота, спрямленные русла рек, забетонированные берега. Из-под рук подобных «организаторов» вместо разбросанных в естественном беспорядке деревьев всех возрастов выстраиваются ровные ряды сосен или елок-одногодок. Вместо пестрых лугов монотонно зеленеют подстриженные газоны. Рекреационная емкость характеризует количество отдыхающих без учета единицы площади территории отдыха. В отличие от нагрузки и плотности отдыхающих понятие емкости применимо не только к территориям отдыха (лесопаркам, паркам, зонам отдыха), но и к учреждению или комплексу отдыха. Большое практическое значение имеет изучение и установление предельно допустимой рекреационной нагрузки и влияния антропогенного воздействия на рекреационные зоны в целях их сохранения. Между тем рекреационные ресурсы неограниченны, что является актуальной темой на сегодняшний день.

Цель исследования – провести оценку рекреационной нагрузки на Парк Победы г. Ставрополя.

Материалы и методы исследования

Парк Победы создан на основе экосистемы Круглого леса и Таманской лесной дачи. Территория «Парк Победы» – оборудованная рекреационная зона в Круглом лесу, который располагается в Промышленном районе г. Ставрополя. Парк в настоящий момент занимает большую часть леса – 215 из 246 га [1, 2]. Для любителей аттракционов здесь большой выбор (более тридцати). В парке работает фонтан, есть каток, аквапарк, площадка для роликов, много интересных дизайнерских композиций, аллея с удобными скамеечками, летних кафе, тренажерный зал, шахматный и конноспортивный клубы, спортивные площадки. Каждую неделю здесь отдыхают около 60 тыс. чел. Одной из причин превращения леса Круглого в парк является то, что из всех лесных массивов, окружающих г. Ставрополь, он выделяется тем, что на его территории нет ни одного родника, оврага, балки. В парке выделены две функциональные зоны: интенсивного пользования (до 25% площади), прогулочная (до 75%), а также санитарно-защитная полоса. Все исследования проводились в полевых и лабораторных условиях. Сбор материала проводился в течение 2022–2023 г. В данной работе использованы методики, разработанные Л.И. Мухиной и

В.В. Савельевой (1973). К оценке авторы подходили с позиций организаторов отдыха, т.е. учитывалась возможность проведения широкого спектра деятельности для разных групп людей в течение продолжительного времени. Оценка культурных комплексов проводилась экспертным путем для установления иерархического места объекта. Учитывались познавательная ценность по трем ступеням оценок – уникальные, редкие, обычные. Выразительность оценивалась через аттрактивность. Экспериментальная часть работы (химический состав почв) проводилась на базе лаборатории экологического мониторинга Ставропольского государственного аграрного университета.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование особенностей естественных насаждений показало, что древостой в парке представлен такими растениями, как клен остролистный – *Acer platanoides* L. (35%), ясень обыкновенный – *Fraxinus excelsior* L. (30%), клен полевой – *Acer campestre* L. (18%) и граб обыкновенный – *Carpinus betulus* L. (17%). В нижнем ярусе отмечались боярышник однопестичный – *Crataegus monogyna* Jacq., бересклет европейский – *Euonymus europaea* L., бирючина обыкновенная – *Ligustrum vulgare* L., бузина черная – *Sambucus nigra* L. Кроме того, отмечался подрост ясеня обыкновенного – *Fraxinus excelsior* L. и дуба черешчатого – *Quercus robur* L. [3, 4].

Искусственно в парке были высажены рябина обыкновенная – *Sorbus aucuparia* L., рябина ария – *Sorbus aria* (L.) Crants, рябина кавказская – *Sorbus caucasica* Zinserl, липа мелколистная – *Tilia cordata* Mill., тополь белый, серебристый – *Populus alba* L., тополь итальянский или пирамидальный – *Populus italica* Moench., тополь черный – *Populus nigra* L., робиния лжеакация или белая акация – *Robinia pseudoacacia* L., береза плакучая – *Betula pendula* Roth., береза пушистая – *Betula pubescens* Ehrh., ильм гладкий – *Ulmus laevis* Pall., ель колючая – *Picea pungens* Engelm. В совокупности они занимают менее 1% общей площади парка.

Послойное исследование почвенного покрова территории парка показало, что известняки находятся глубже 100 см (табл. 1). Содержание подвижного фосфора убывает с глубиной с 63 до 10 мг/кг почвы, содержание подвижного калия падает не так значительно – с 565 до 170.

Таблица 1

Изменение химического состава почв с глубиной

Глубина взятия пробы, см	P ₂ O ₅ мг/кг почвы	K ₂ O мг/кг почвы	N-NO ₃ мг/кг почвы	Гумус, %
0–10	63	565	26,3	8,25
10–20	51	480	6,5	6,32
20–30	32	320	2,5	3,80
30–40	25	350	3,0	3,70
40–50	22	250	5,0	3,33
50–60	20	230	3,0	3,42
60–70	21	220	1,5	3,50
70–80	15	215	5,2	3,20
80–90	10	180	2,0	2,75
90–100	10	170	2,0	2,50

Что же касается азота, то основное падение его содержания в почве происходит в слое 0–20 см – с 26,3 до 6,5 мг/кг, в последующих слоях определенной закономерности установить не удалось. Содержание гумуса также изменяется с глубиной, постепенно сокращаясь почти в три раза – с 8,25 до 2,5%.

Таким образом, почвенный покров на обследованной территории характеризуется по основным показателям плодородия как достаточно однородный с высоким содержанием гумуса.

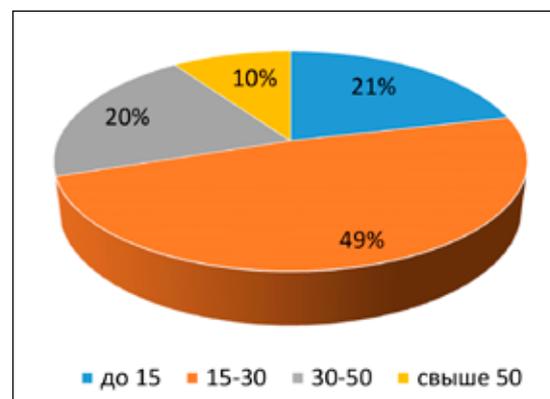
В настоящее время Парк Победы испытывает большую антропогенную нагрузку. Круглый лес расчленен и как природный комплекс практически прекратил свое существование. Собственные исследования и анализ литературных данных показывают, что происходит как уменьшение площади лесного массива, так и изменение флористического состава. Значительно уменьшилось количество когда-то обычных для ставропольских лесов бука восточного (*Fagus orientalis* Lypsky) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) за счет увеличения количества быстрорастущих ясеня и кленов.

Мероприятия по благоустройству лесопарковых территорий могут способствовать снижению антропогенной нагрузки за счет перераспределения потока посетителей. При этом основным способом лесовосстановления является создание лесных культур.

Чаще всего территория парка посещается молодежью, людьми пенсионного возраста, женщинами с грудными детьми (в рабочие дни); родителями с детьми (рисунки).

В результате исследований была установлена следующая зависимость: в выход-

ные дни Парк Победы посещается большим количеством рекреантов, чем в будни, а в праздники – большим, чем в выходные. При наступлении благоприятных условий для прогулок (увеличение освещенности, повышение температуры, уменьшение осадков и понижение влажности, начало вегетации у растений и брачный период у птиц), количество рекреантов увеличивается во всех возрастных группах.



Распределение возрастных категорий рекреантов в пределах экосистемы Парка Победы

При одновременном повышении усилий на благоустройство территории, рекультивации нарушенных участков и контроле поведения рекреантов со стороны работников парка рекреационная нагрузка территории может быть приближена к состоянию естественной экосистемы (табл. 3).

В разное время (дни недели и сезоны) производился подсчет рекреантов, посещающих Парк Победы г. Ставрополя (табл. 2) [5].

Таблица 2

Количество рекреантов, посещающих Парк Победы в будни, выходные и праздники

Категории посетителей	Количество рекреантов					
	Конец апреля			Февраль – начало марта		
	будни	выходные	праздничные дни	будни	выходные	праздничные дни
Пенсионеры	60	48	–	56	47	102
Родители с детьми	35	56	–	28	38	96
Молодежь	16	36	–	2	34	76
Всего	111	140		86	119	274

Таблица 3

Зависимость деградации лесопарковой экологической системы от степени рекреационной нагрузки

Зона лесопарка	Рекреационная нагрузка в различное время		
	Max	min	средняя
Зона аттракционов	+++	++	Достаточно сильно изменена
Основная аллея	++	+	Присутствуют отдельные видимые изменения
Побочная аллея	+	0	Приближена к состоянию естественной экосистемы

Примечание: +++ – сильная дигрессия; ++ – умеренная дигрессия; + – незначительные изменения; 0 – отсутствие видимых изменений экосистемы

Таблица 4

Оценка рекреационной нагрузки на экосистему Парка Победы

Рекреационная нагрузка, ч/га		Преобладающая категория рекреантов
Будни	Праздники и выходные	
37588,80	595634,88	Пенсионеры, люди старшего возраста, молодежь

Таблица 5

Определение степени рекреационного воздействия по характеристике травяного яруса Парка Победы

№ п/п	Признаки	Парк Победы			Контроль (глубинная часть Русского леса)
1.	Проективное покрытие, %	90	80	80	100
2.	Высота травостоя, см	10	30	30	50
3.	Число видов	16	39	35	35
4.	Число побегов на м ²	432	352	416	352
6.	Биомасса, г/м ²	40,3±8,5	48,4±12,2	76,5±16,5	33,4±15,5
7.	Степень рекреационного воздействия	Сильное	Среднее	Низкое	Незначительное

При изучении рекреационной нагрузки на экосистему Парка Победы были получены следующие результаты (табл. 4).

Анализ данных свидетельствует о том, что рекреационная нагрузка на Парк Победы в праздничные и выходные дни выше,

чем в будни. По-видимому, такая зависимость возникает в результате большей рекреационной привлекательности Парка Победы как зоны отдыха, его рекреационной обустроенности, наличия аттракционов, кафе, дорожно-тропиночной сети.

Изменение травяного покрова в зависимости от рекреационной нагрузки наблюдается на всей территории парка (табл. 5).

В ненарушенных экосистемах травостой сомкнутый, его состав обнаруживает связь с освещенностью и характером микрорельефа. Здесь отмечаются виды растений, характерные для коренных сообществ. В зависимости от интенсивности рекреационного воздействия видовой состав травяного яруса изменяется. В сильно нарушенных сообществах (зона аттракционов) общее число видов составляет 12–16, что в 2–3 раза меньше, чем на контрольных участках. Однако при средней и низкой нагрузке число видов может возрастать по сравнению с контролем из-за внедрения сорных растений. Отмечается смена доминирования в зависимости от рекреационного воздействия. На участках с сильным воздействием преобладают устойчивые к вытаптыванию виды, которые внедряются также на территорию, не подвергающуюся воздействию. Так, растения подорожника среднего (*Plantago media*) встречаются на расстоянии до 15 м от тропы. Очевидно, что при усилении рекреационной нагрузки возрастание доли участия зональных растений в травяном покрове лесов будет возрастать, а лесных – уменьшаться [6]. Особенно быстро при рекреационном воздействии исчезают представители семейства лилейных, отмечается также уменьшение числа розоцветных растений. Зато происходит возрастание роли семейств бобовых, мятликовых и лютиковых. Общая биомасса на участке с сильной степенью воздействия не снижется по сравнению с контролем, что можно объяснить внедрением новых видов, заменой травянистых растений ненарушенных экосистем более продуктивными и увеличением освещенности вблизи дорожно-тропиночной сети. Таким образом, интенсивное рекреационное использование территории изменяет состав и структуру травяного яруса леса.

Заключение

Для восстановления лесопарковых насаждений, исходя из состояния экосистемы, предлагается в качестве реконструкции создание подпологовых частичных лесных культур, что повышает их продуктивность, устойчивость и рекреационные свойства и наиболее часто применяется в порядке реконструкции лесных насаждений. При подборе культур для посадки в древесных массивах парка необходимо исходить как из рекомендаций по подбору ассортимента для озеленения населенных пунктов, так и из породного состава зональных лесов региона. Для озеленения «Парка Победы» авторы рекомендуют два вида из основного ассортимента и восемь из дополнительного: дуб черешчатый, бук восточный, клен остролистный, кизил обыкновенный, лещина обыкновенная, калина обыкновенная, боярышник мягковатый, боярышник однопестичный и шиповник. Также необходимы зонирование территории, уточнение фактических и предельно допустимых нагрузок, выделение особо ценных и нуждающихся в защите объектов, площадей постоянных мониторинговых наблюдений и последующая разработка системы мероприятий использования, восстановления и охраны различных сообществ.

Список литературы

1. Жарков Р.В., Степаненко Е.Е. Воздействие антропогенной нагрузки на растительность Круглого леса (Ставрополь) // Молодой исследователь: возможности и перспективы. 2023. С. 53–57.
2. Кислицына И.Г., Пospelова О.А. Оценка качества городских насаждений расположенных вблизи автомагистралей // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4 (20). С. 286–290.
3. Ларичкин В.В., Ларичкина Н.И., Немущенко Д.А. Экология: оценка и контроль окружающей среды. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. 124 с.
4. Гировка Н.Н. Туристско-рекреационные ресурсы территорий: основы организации. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2019. 308 с.
5. Овдиенко Н.И. Экологический каркас города Ставрополя // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 3. С. 76–78.
6. Байрамова А.А., Тагиев З.И. Рациональное использование и защита растительного покрова особо охраняемых природных территорий Малого Кавказа // Бюллетень науки и практики. 2020. № 6. С. 73–77.

УДК 91:528.946
DOI 10.17513/use.38151

ВЫДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН НА ТЕРРИТОРИЯХ ТРАДИЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ «БЕЛЛЁТ» И «АНАМЫ»

^{1,2}Филиппова В.В., ²Попова Д.Д.

¹*Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СОП РАН,
e-mail: filippovav@mail.ru*

²*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: darinaden1sovna@yandex.ru*

Статья посвящена проблеме функционального зонирования территорий традиционного природопользования. В данной работе на примере двух территорий традиционного природопользования «Беллёт» и «Анамы», расположенных в Алданском районе Республики Саха (Якутия), предложено выделение функциональных зон внутри них. За основу зонирования взяты зоны особо охраняемых природных территорий в Якутии. Проведено сравнение зон особо охраняемых природных территорий и территорий традиционного природопользования. Авторами предложено зонирование на основе учета землепользователей на территориях традиционного природопользования и имеющихся ограничений. Предложено выделить следующие зоны внутри ТТП «Беллёт» и «Анамы»: 1 – запретная для посещения (зона особой охраны для сохранения ресурсного потенциала – зоны абсолютного покоя ООПТ, места нереста рыб, отела оленей и т.п.); 2 – строго регулируемого посещения (зоны ТТП в ООПТ, охотничьи угодья, линии электропередач, технологические дороги, нефтепроводы и т.п.); 3 – зона свободного посещения (места проживания малочисленных этносов, местонахождения объектов историко-культурного наследия). Предложенная модель зонирования ТТП, проведённая с использованием комплексной оценки территории, позволит упорядочить существующую ситуацию с наложением участков нескольких землепользователей. Предложенное зонирование ТТП является обоснованным конкретным предложением по функциональному зонированию территорий традиционного природопользования с рекомендациями по его внедрению. Результаты исследований могут быть учтены при внесении изменений в соответствующие нормативные документы в части реализации государственной политики по защите и сохранению жизнедеятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: функциональное зонирование, территории традиционного природопользования, Алданский район, геоинформационные системы, Якутия

Исследование осуществлено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00250 «Межрегиональные и внутрирегиональные коммуникации коренных малочисленных народов Севера в условиях глобальных вызовов: история и современность».

ALLOCATION OF FUNCTIONAL ZONES IN THE TERRITORIES OF TRADITIONAL LAND USE “BELLET” AND “ANAMY”

^{1,2}Filippova V.V., ²Popova D.D.

¹*The Institute for Humanities Research and Indigenous Studies of the North,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail: filippovav@mail.ru*

²*North-Eastern Federal University in Yakutsk, e-mail: darinaden1sovna@yandex.ru*

The article is devoted to the problem of functional zoning of territories of traditional nature use. In this paper, on the example of two territories of traditional nature use “Bellet” and “Anamy”, located in the Aldan district of the Sakha Republic (Yakutia), the allocation of functional zones within them is proposed. Zones of specially protected natural territories in Yakutia are taken as the basis of zoning. The comparison of zones of specially protected natural territories and territories of traditional nature use is carried out. The authors proposed zoning based on the consideration of land users in the territories of traditional nature use and existing restrictions. It is proposed to distinguish the following zones within the territories of traditional nature use “Bellet” and “Anamy”: 1 – forbidden to visit (a special protection zone to preserve the resource potential – zones of absolute rest of protected areas, fish spawning sites, reindeer calving, etc.); 2 – strictly regulated visits (zones of territories of traditional nature use in protected areas, hunting grounds, power lines, technological roads, oil pipelines, etc.); 3 – free visit zone (places of residence of the Indigenous peoples of the North, locations of objects of historical and cultural heritage). The proposed zoning model of the territories of traditional nature use, carried out using a comprehensive assessment of the territory, will allow to streamline the existing situation with the overlap of several land users' plots. The proposed zoning of the territories of traditional nature use is a reasonable concrete proposal for the functional zoning of the territories of traditional nature use with recommendations for its implementation. The results of the research can be taken into account when making changes to the relevant regulatory documents regarding the implementation of the state policy for the protection and preservation of the vital activity of the indigenous peoples of the North, Siberia and the Far East.

Keywords: functional zoning, territories of traditional nature use, geoinformation systems, Aldansky district, Yakutia

The study was funded by the Russian Science Foundation, project No. 21-17-00250 «Interregional and intraregional communications of the indigenous peoples of the North in the context of global challenges: history and modernity».

Организация территорий традиционно-природопользования в России является одним из видов реализации государственной политики по защите и сохранению жизнедеятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока. В Республике Саха (Якутия) в соответствии с нормативными актами Правительства Российской Федерации и способами реализации прав коренных малочисленных народов Севера к местам традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности отнесен 21 улус (район) и 70 поселений. Согласно данным Министерства по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия) решениями органов местного самоуправления образованы 63 территории традиционного природопользования (далее – ТТП) местного значения, из которых 9 ТТП образованы в границах муниципальных районов; 50 ТТП в границах муниципальных образований; 2 ТТП в границах муниципальных образований, 2 ТТП в границах кочевых родовых общин: территориально-соседская община «Себян» МО «Ламынхинский национальный наслег» Кобяйского улуса, «Чыбагалахский» МО «Чыбагалахский национальный наслег» Момского района.

Наделение правовым статусом особо охраняемой территории с ограничением некоторых видов природопользования и доступа для некоренного населения определяет специфику стратегии защиты прав коренных народов Российской Федерации среди арктических стран [1]. Однако исследователи отмечают, что практика решения земельных вопросов по федеральному закону о ТТП нередко приводит к негативным последствиям, вплоть до ограничения права доступа коренных народов на исконные территории проживания [2].

Проблема выделения функциональных зон территорий традиционного природопользования состоит в несовершенстве законодательства и в противоречии многих положений принятых законов в отношении коренных малочисленных народов и малочисленных этнических общностей Российской Федерации. Актуальность исследования обусловлена отсутствием специальных научных работ и практики выделения функциональных зон ТТП, их отображения на картах, несмотря на наличие отдельных статей в федеральном и республиканском законах о части (зон) ТТП.

До вступления в силу Федерального закона Российской Федерации от 28 декабря

2013 г. № 406-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в перечень категорий ООПТ также входили ТТП. Ввиду отсутствия методологических основ и практики выделения функциональных зон ТТП авторами было проанализировано зонирование особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Якутии.

Согласно Федеральному закону РФ «Об особо охраняемых природных территориях», утвержденному в 1995 г., из всех ООПТ зонированию, то есть разделению территории на различные участки (или зоны), имеющие разное приоритетное функциональное назначение (отсюда общепринятое название процесса – функциональное зонирование), подлежат только национальные и природные парки [3]. Необходимость функционального зонирования национальных парков объясняется большим разнообразием не только природных комплексов в границах любого из них, но и соответствующих им методов управления и ведения хозяйства, а также типов воздействия со стороны различных групп посетителей, местного населения и хозяйствующих субъектов [4]. Как и ООПТ, ТТП характеризуются разнообразием природных комплексов, видов природопользования и хозяйствующих субъектов, а территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов относятся к землям природоохранного назначения особо охраняемых территорий.

Цель исследования – разработка предложений по функциональному зонированию территорий традиционного природопользования с использованием геоинформационных систем.

Материалы и методы исследования

Зонирование предваряется проведением комплексной оценки территории, учитывающей не только многообразие природных комплексов и культурных объектов, расположенных на ТТП, но также и современную социально-экономическую ситуацию.

Самым распространенным методом зонирования какой-либо территории является ее сегментация по функциональному признаку, который в совокупности учитывает разнообразие требований к рациональному землепользованию, однако совершенно не учитывает факторы ценности пространства для пользователей. Отсутствие

в научной среде единства в подходах к зонированию (перечня группировочных факторов, их минимального набора и критериев использования и др.), с одной стороны, дает исследователю определенную свободу, но с другой – требует от него глубокого теоретического и практического обоснования целесообразности применения того или иного подхода [5]. Практика показывает, что функциональное и градостроительное зонирование проработано и апробировано лишь на территории земель населенных пунктов в рамках документов территориального планирования. Зонирование земель сельскохозяйственного назначения, части земель ООПТ, земель водного и лесного фондов и земель запаса недостаточно или отсутствует. Следовательно, зонирование таких территорий для целей территориального планирования стратегически важно и необходимо [6].

Источниковой базой для зонирования послужило обширное количество ведомственных материалов и документов. Изучение нормативно-правовых актов позволило выделить зоны (участки), указанные в них. Сведения о землепользователях и объектах, находящихся на ТТП, были взяты с официальных сайтов органов власти и учреждений:

- информация об историко-культурных памятниках – Департамент Республики Саха (Якутия) по охране объектов культурного наследия [7];
- реестр особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия) – Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) [8];
- сведения о ТТП – Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия) [9];
- реестр пользователей объектами животного мира – Департамент охотничьего хозяйства Республики Саха (Якутия) [10];
- материалы по схеме территориального планирования Алданского района – администрация Алданского района [11];
- паспорта социально-экономического развития наслегов – сайты муниципальных образований [12; 13];
- обширный полевой материал авторов, собранный в с. Хатыстыр и г. Алдан.

Весь собранный материал в виде количественных и качественных показателей, растровых изображений был внесен в базу данных ГИС. Программным обеспечением, позволяющим провести пространственный

анализ нескольких показателей, была выбрана ГИС-программа – QGIS, в которой можно обрабатывать, анализировать, интерпретировать и наглядно представлять большой объем информации.

Ввиду того что внутри ТТП находятся различные субъекты и объекты хозяйственной деятельности, при выделении функциональных зон должно учитываться имеющееся территориальное планирование, что и было соблюдено в данном исследовании.

Применив картографический, сравнительный и метод пространственного анализа, авторы провели функциональное зонирование ТТП «Беллёт» и «Анамы». Графически функциональное зонирование ТТП представлено в виде серии электронных карт, построенных с помощью программного пакета Quantum GIS путем наложения точечных, линейных и площадных объектов на базовую карту. Зонирование осуществлялось на основе комплексной оценки взаимосвязанных карт.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной статье территорией исследования являются ТТП «Беллет» и ТТП «Анамы», расположенные в одном из старейших промышленных районов Якутии – Алданском районе. Вся территория МО «Беллетский эвенкийский национальный наслег» и «Национальный наслег «Анамы» наделена особым статусом и полностью является территорией традиционного природопользования с присвоенными кадастровыми номерами «Беллет» (14.02.2.37) и «Анамы» (14.02.2.81). ТТП «БЕЛЛЕТ» площадью (2519262 га) образован решением Беллётского наслежного Совета депутатов 2 созыва от 17.06.2008 г. № 5-2 на основании глав родовых общин и населения МО «Беллётский эвенкийский национальный наслег». ТТП «Анамы», площадью 6727506 га создан 22.01.2016 г. Решением Наслежного совета № 39-4 от 22.01.2016 г.

Статьей 10 Федерального закона «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ» предусматривается возможность зонирования территории и выделения различных функциональных зон. На основе дифференцированного подхода с учетом функциональных зон территорий традиционного природопользования, которые устанавливаются при землеустроительном проектировании территорий традиционного природопользо-

вания, предоставлении земельных участков под родовые угодья или при упорядочении существующих родовых угодий, определяется правовой режим использования земель в границах территорий традиционного природопользования [14].

В статье 12 Закона Республики Саха (Якутия) «О территориях традиционного природопользования и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)» также указаны четыре зоны, имеющиеся в Федеральном законе, кроме того, отдельно выделена следующая зона – места обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, водохозяйственные и нерестоохранные зоны рек [15].

Выделение зон на ТТП регулируется Постановлением Правительства Республики Саха (Якутия) от 22.06.2006 г. № 267 «Об утверждении положения о территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)». Пункт 3.3 «Части (зоны) разного функционального назначения выделяются при образовании территорий традиционного природопользования» гласит, что описание границ и режима частей (зон) разного функционального назначения приводится в положении о каждой территории традиционного природопользования, утверждаемом Правительством Республики Саха (Якутия) [16].

Согласно Положениям о ТТП местного значения «Беллёт» и «Анамы» в них также прописаны функциональные зоны, однако в реальности они не выделены.

В отсутствие практики выделения функциональных зон ТТП нами было проанализировано имеющееся зонирование особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Республики Саха (Якутия). Сравнение функциональных зон ООПТ с функциональными зонами ТТП показало, что большая часть первых соответствует вторым. Результат сравнения функциональных зон ООПТ и ТТП представлен в таблице 1.

Выделение функциональных зон на территориях традиционного природопользования «Беллет» и «Анамы». Ввиду отсутствия практики выделения функциональных зон ТТП и их отображения на картах в данной работе впервые в Республике Саха (Якутия) на примере двух ТТП Алданского района проведено выделение функциональных зон и их пространственное отображение.

Работа состояла из нескольких этапов. На первом этапе был собран материал обо

всех землепользователях и историко-культурных объектах, находящихся на территории двух ТТП.

Выявлено, что на территории ТТП «Беллет» и «Анамы» расположены 7 ресурсных резерватов местного значения (Аппарах, Тыблаах, Улахан-Тала, Верхнеамгинский, Джанда, Гыным, Гонам), 1 ресурсный резерват республиканского значения – Верхнеамгинский и 1 государственный заповедник республиканского значения – Суннагино-Силиглинский. Охотпользователи в количестве 23 представлены в основном кочевыми родовыми общинами. На территории Беллетского наслега имеется магистральный нефтепровод федерального значения, размещены линии электропередач регионального значения, проходит технологическая автомобильная дорога.

По данным Департамента Республики Саха (Якутия) по охране объектов культурного наследия, на территории МО «Беллётский эвенкийский национальный наслег» и МО «Национальный наслег Анамы» расположено 11 зарегистрированных объектов историко-культурного наследия. Собранные информация была внесена в базу данных, объединяющую разностороннюю информацию о землепользователях, находящихся на территориях традиционного природопользования рассматриваемых наслегов.

Второй этап исследования включал ввод географической информации посредством создания векторных объектов на базе картографических изображений, на которых отображены территории землепользователей. Картографические сведения о границах муниципальных образований (границ, наслегов, поселений), ТТП, ООПТ и охотничьих угодий были взяты с официального сайта Правительства Республики Саха (Якутия), где размещены пространственные данные [18]. Для верификации и географической привязки объектов были использованы и другие ранее опубликованные картографические произведения: топографические листы масштаба 1:200 000, карта ООПТ Республики Саха (Якутия) (по состоянию на 31.12.2023 г.), картосхемы, размещенные в «Схеме территориального планирования Алданского района».

Объекты были нанесены в трех видах: точечные (объекты историко-культурного наследия и поселения), линейные (линии электропередач, нефтепровод, участок реки для нереста рыб) и площадные (территория наслегов, ТТП, ООПТ, охотуголья и т.д.).

Таблица 1

Сравнение функциональных зон ООПТ и ТПП в Республике Саха (Якутия)

Функциональные зоны ООПТ в Республике Саха (Якутия)		Зонирование ТПП		Функциональные зоны ТПП «Беллет» и ТПП «Анамы»
Статья 10 и статья 16 Закона Республики Саха (Якутия) от 01.03.2011 910-3 № 713-IV (ред. от 26.03.2015) «Об особо охраняемых природных территориях Республики Саха (Якутия) (новая редакция)» [17]	Природный парк	Части территорий традиционного природопользования (Статья 10, ФЗ (Ф) [14] и статья 12 закона РС (Я) (Р) о ТПП [15]	Части (зоны) разного функционального назначения (Постановление Правительства РС(Я) от 22.06.2006 г. № 267) [16]	Положение о ТПП местного значения «БЕЛЛЕТ» муниципального образования «Беллетский эвенкийский национальный наслег» Алданского района Республики Саха (Якутия) [12]; Положение о ТПП местного значения «Анамы» муниципального образования «Национальный наслег Анамы» Алданского района Республики Саха (Якутия) [13]
Ресурсный резерват	Зона абсолютного покоя, где запрещены все виды хозяйственной деятельности и рекреационной деятельности	Места обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, водно-охраные и нерестоохраные зоны рек (Р)	Участки, полностью или частично изъятые из хозяйственного использования и оборота с целью сохранения или восстановления особо важных для традиционной деятельности природных комплексов и природных ресурсов, для которых установлен особый правовой режим	Зоны особой охраны для сохранения ресурсного потенциала и очагов воспроизводства ценных промысловых животных; сохранения редких и исчезающих видов животных и растений и их местообитаний; сохранения естественного процесса эволюции природных комплексов, сохранения эталонных и уникальных природных комплексов и объектов
Зона ограниченной рекреационной деятельности – место, где разрешается строго регулируемое посещение	Отсутствует	Иные части территорий природопользования, предусмотренные законодательством Российской Федерации, субъектов Российской Федерации (Ф; Р)	Участки, на которых ограничено допускаются определенные виды хозяйственной деятельности не субъектами традиционного природопользования для обеспечения кочевки оленей, водопоя животных, пользования объектами животного мира, проходов, проездов, водоснабжения, прокладки и эксплуатации линий электропередачи, связи и трубопроводов, строительства дорог и мостов	Зоны рекреационной и ограниченной хозяйственной деятельности для организации массового отдыха и маршрутного туризма, сбора и заготовки лекарственного и фармацевтно-технического сырья, санитарной и выборочной рубки леса, добычи местных строительных материалов, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных и другой сельскохозяйственной деятельности
		Иные части территорий природопользования, предусмотренные законодательством субъектов Российской Федерации (Ф; Р)	Участки, на которых допускается хозяйственная деятельность не субъектами традиционного природопользования по добыче полезных ископаемых, заготовке древесины, сельскохозяйственному производству, строительству объектов промышленного назначения	Зоны рекреационной и ограниченной хозяйственной деятельности для организации массового отдыха и маршрутного туризма, сбора и заготовки лекарственного и фармацевтно-технического сырья, санитарной и выборочной рубки леса, добычи местных строительных материалов, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных и другой сельскохозяйственной деятельности

Окончание табл. 1

Функциональные зоны в Республике Саха (Якутия)	Отсутствует	Объекты историко-культурного наследия, в том числе культовые сооружения, места древних поселений и места захоронений предков и иные объекты, имеющие культурную, историческую, религиозную ценность (Ф; Р)	Зонирование ТПП	Функциональные зоны ТПП «Беллет» и ТПП «Анамы»
Священное место (ытык сирдэр) – место проведения традиционных народных ритуалов Охраняемая историческая или археологическая зона	Отсутствует	Объекты историко-культурного наследия, в том числе культовые сооружения, места древних поселений и места захоронений предков и иные объекты, имеющие культурную, историческую, религиозную ценность (Ф; Р)	Участки земли и объекты историко-культурного наследия, в том числе культовые сооружения, места древних поселений и места захоронений предков и иные объекты, имеющие культурную, историческую, религиозную ценность	Зоны рекреационной и ограниченной хозяйственной деятельности для организации массового отдыха и маршрутного туризма, сбора и заготовки лекарственных и лекарственно-технического сырья, санитарной и выборочной рубки леса, добычи местных строительных материалов, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных и другой сельскохозяйственной деятельности
Зона традиционного природопользования (торут сирдэр – этнические территории) – место, где запрещено промышленное освоение, запрещен или ограничен проезд транспортных средств, допускается использование природных ресурсов в формах, обеспечивающих защиту исконной среды обитания коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия) и сохранение традиционного образа их жизни	Зона традиционного природопользования	Участки земли и водно-используемые для ведения традиционного природопользования и традиционного образа жизни, в том числе олени пастбища, охотничьи и иные уголки, участки акваторий моря для осуществления рыболовства, сбора дикорастущих растений (Ф; Р)	Участки земли и водного пространства, используемые для ведения различных видов традиционного природопользования и традиционного образа жизни (традиционные уголья)	Зоны традиционного природопользования для обеспечения условий жизнедеятельности коренного и постоянного населения и сохранения природных условий и ресурсов как источников долговременного не истощительного природопользования и обеспечения исторически сложившегося образа жизни коренного населения
Зона активной рекреационной деятельности – место познавательного туризма, предназначенное для экологического просвещения и ознакомления с достопримечательностями природного парка, а также для отдыха	Отсутствуют	Поселения, в том числе старые поселения, имеющие временное значение и непостоянный состав населения и непостоянный состав населения, стационарные жилища, охотничьи жилища, стойбища, стоянки оленеводов, охотников, рыболовов (Ф; Р)	Поселения, в том числе поселения, имеющие временное значение и непостоянный состав населения, стационарные жилища, стойбища, стоянки оленеводов, охотников, рыболовов	Зоны поселений для размещения населённых пунктов; территории предприятий, обеспечивающих жизнедеятельность населённых пунктов; поселений персонала предприятий и членов общин коренных малочисленных народов, ведущих традиционный образ жизни; а также для размещения временных построек с целью проживания и обслуживания туристов
Зона искусственного содержания и разведения редких и исчезающих видов животных				Зоны рекреационной и ограниченной хозяйственной деятельности для организации массового отдыха и маршрутного туризма, сбора и заготовки лекарственных и лекарственно-технического сырья, санитарной и выборочной рубки леса, добычи местных строительных материалов, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных и другой сельскохозяйственной деятельности

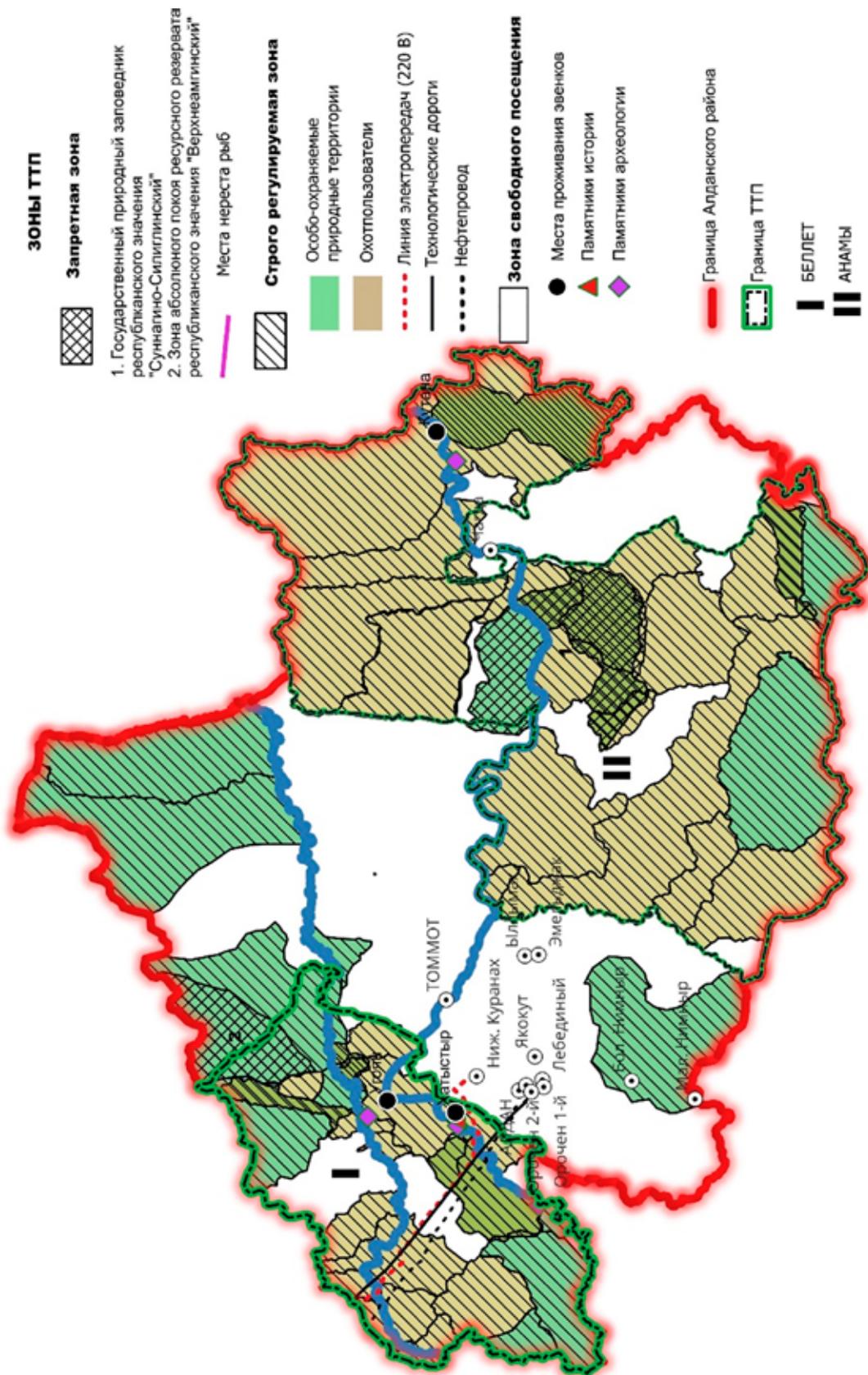
Примечание: составлено автором.

Таблица 2

Соответствие выделенных зон ТТП функциональным зонам ТТП, прописанным в нормативно-правовых актах

Функциональные зоны в пределах ТТП с учетом режимов охраны (предложение авторов)	Зонирование ТТП	Функциональные зоны ТТП «Беллетг» и ТТП «Анамы»
1. Запретная зона для посещения	Места обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, водноохранные и нерестоохранные зоны рек (Р)	Зоны особой охраны для сохранения ресурсов потепциала и очагов воспроизводства ценных промысловых животных; сохранения редких и исчезающих видов животных и растений и их местообитаний; сохранения естественного процесса эволюции природных комплексов, сохранения эталонных и уникальных природных комплексов и объектов
2. Зона строго регулируемого посещения	<ul style="list-style-type: none"> - Участки земли и водного пространства, используемые для ведения традиционного природопользования и традиционного образа жизни, в том числе оленьи пастбища, охотничьи и иные угодья, участки акваторий моря для осуществления рыболовства, сбора дикорастущих растений (Ф; Р); - Иные части территорий традиционного природопользования, предусмотренные законодательством субъектов Российской Федерации (Ф; Р) 	<ul style="list-style-type: none"> - Зоны традиционного природопользования для обеспечения условий жизнедеятельности коренного и постоянного (местного) населения и сохранения природных условий и ресурсов, как исторично-долгосрочного не истощительного природопользования и обеспечения исторически сложившегося образа жизни коренного населения. - Зоны ограниченной хозяйственной деятельности для сбора и заготовки лекарственного и лекарственно-технического сырья; санитарной и выборочной рубки леса, добычи местных строительных материалов, сенокосшения, выпаса сельскохозяйственных животных и другой сельскохозяйственной деятельности
3. Зона свободного посещения	<ul style="list-style-type: none"> - Поселения, в том числе поселения, имеющие временное значение и непостоянный состав населения, стационарные жилища, стоянки оленеводов, охотников, рыболовов (Ф; Р); - Объекты историко-культурного наследия, в том числе культовые сооружения, места древних поселений и места захоронений предков и иные объекты, имеющие культурную, историческую, религиозную ценность (Ф; Р) 	<ul style="list-style-type: none"> - Зоны рекреационной деятельности для организации массового отдыха и маршрутного туризма. - Зоны поселений для размещения населённых пунктов; территории предприятий, обеспечивающих жизнедеятельность населённых пунктов, поселений персонала предприятий и членов общин коренных малочисленных народов, ведущих традиционный образ жизни; а также для размещения временных построек с целью проживания и обслуживания туристов

Примечание: составлено автором.



Зонирование территорий традиционного природопользования «Беллет» и «Анамы» (составлено авторами)

Среда QGIS позволяет отображать введенные в базу данных сведения в виде отдельных картографических слоев, что даёт возможность манипулировать ими как единым целым, так и по отдельным слоям. Преимущество ГИС-технологий также состоит в том, что создаваемые картографические произведения будут иметь различные масштабы.

Третий этап исследования состоял в проведении пространственного анализа информации, содержащейся в картографических слоях. Одновременное отображение на экране различных тематических слоев показало наложение территорий нескольких землепользователей. Так, при привязке территории государственного природного заповедника республиканского значения «Суннагино-Силиглинский» выявлено, что на его территории находятся охотугодя ООО «Промысловик» и Алданское УОО и Р, тогда как на территории заповедника запрещена какая-либо деятельность человека. Причина наложения территории ТТП с другими землепользователями состоит в том, что ТТП отсутствуют как вид среди зон с особыми условиями использования территорий, установленных статьей 105 Земельного кодекса РФ. В этой ситуации и на основе анализа функциональных зон ООПТ было решено учесть режимы землепользования (природопользования) и имеющиеся ограничения.

Как результат исследования авторами предложено выделить следующие функциональные зоны на территориях традиционного природопользования с учетом режимов охраны территорий (рис.): запретная зона, строго регулируемая и свободного посещения. Соответствие выделенных зон функциональным зонам ТТП, указанным в нормативно-правовых актах, представлено в таблице 2.

Запретная зона включает в себя участки нереста рыб, водоохраные зоны, зоны абсолютного покоя ООПТ.

К строго регулируемой зоне следует отнести земли кочевых родовых общин, за которыми закреплены охотничьи угодья. В эту же зону авторы отнесли зоны традиционного природопользования, выделяемые отдельно внутри ООПТ. Ввиду того что земли под ЛЭП, трубопроводы и технологические дороги входят в зоны с особыми условиями использования территорий, они также включены во вторую зону. Выделение данной зоны связано с тем, что посещение и хозяйственная деятельность в ней возможны по согласованию с землепользователями.

Третью зону авторы назвали зоной свободного посещения. Данная зона в основном охватывает территории поселений, объектов историко-культурного значения и зоны рекреационной деятельности.

Одновременное отображение на экране различных тематических слоев показало наложение территорий нескольких землепользователей. Так, при привязке территории государственного природного заповедника республиканского значения «Суннагино-Силиглинский» выявлено, что на его территории находятся охотугодя ООО «Промысловик» и Алданское УОО и Р, тогда как на территории заповедника запрещена какая-либо деятельность человека. Соответственно, требуется разграничение территорий между ТТП и ООПТ, ООПТ и охотпользователями.

При выделении туристских зон внутри ТТП были учтены режимы землепользования (природопользования) и имеющиеся ограничения. Сравнение функциональных зон ТТП, имеющихся в федеральном и республиканском законе о ТТП, а также зон, перечисленных в Положениях о ТТП местного значения «Беллет» и «Анамы», показало их отличия в формулировках. Необходимо привести к единообразию название функциональных зон ТТП.

В Положениях о ТТП местного значения «Беллет» и «Анамы» рекомендуется прописать отдельно отсутствующую зону историко-культурного наследия.

Заключение

В данной работе впервые на территории Республики Саха (Якутия) проведено исследование функциональных зон ТТП Алданского района и их визуализация. Использование ГИС-технологий позволило провести функциональное зонирование территорий традиционного природопользования с учетом режимов землепользования и имеющихся ограничений. Таким образом, поставленная цель – «разработка предложений по функциональному зонированию территорий традиционного природопользования с использованием геоинформационных систем» – достигнута. Выделение функциональных зон осуществлено на примере двух ТТП, находящихся на территории Алданского района Республики Саха (Якутия) – «Беллет» и «Анамы». Выделенные зоны с учетом режимов землепользования и имеющихся ограничений позволят отрегулировать существующие проблемы во внутрирегиональных коммуникациях коренных малочисленных народов Севера.

Имеющийся у авторов опыт сотрудничества с муниципальными образованиями Якутии и Дальнего Востока, в которых проживают коренные малочисленные народы Севера, подтверждает, что локальные и региональные власти учитывают наши рекомендации. В данном случае результаты исследования могут быть использованы при разработке и совершенствовании нормативных и законодательных актов по правовому регулированию традиционного природопользования коренных малочисленных народов. Данное зонирование ТТП является обоснованным конкретным предложением по функциональному зонированию территорий традиционного природопользования с рекомендациями по его внедрению, с внесением изменений в соответствующие документы в части реализации государственной политики по защите и сохранению жизнедеятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Список литературы

1. Транин А.А. Территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов российского Севера (проблемы и перспективы). М.: Институт государства и права РАН, 2010. 213 с.
2. Рагулина М.В. Традиционное природопользование коренных малочисленных народов Сибири: тенденции и парадоксы развития // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2014. № 7. С. 116–128.
3. Чижова В.П. Методика зонирования национальных парков // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. № 3 (16). С. 105-123.
4. Попов В.Л., Добрушин Ю.В., Максаковский Н.В. Как создать национальный парк. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2001. 23 с.
5. Бердникова В.Н. Комплексное зонирование региона для целей государственной кадастровой оценки // Региональная экономика. Юг России. 2021. Т. 9, № 2. С. 83–94. DOI: 10.15688/re.volsu.2021.2.
6. Уварова Е.Л. Зонирование как метод территориального планирования // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. С. 230-235.
7. Учетные документы объектов культурного наследия. Департамент Республики Саха (Якутия) по охране объектов культурного наследия. [Электронный ресурс]. URL: <https://depohran.sakha.gov.ru/> (дата обращения: 23.08.2023).
8. Особо охраняемые природные территории. Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/osobo-ohranjaemye-prirodnye-territorii> (дата обращения: 24.08.2023).
9. Территории традиционного природопользования. Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://arktika.sakha.gov.ru/> (дата обращения: 21.08.2023).
10. Реестр пользователей объектами животного мира. Департамент охотничьего хозяйства Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://depohota.sakha.gov.ru/Informatsionnie-i-analiticheskie-materiali/ohotpolzovately> (дата обращения: 23.08.2023).
11. Схемы территориального планирования. Муниципальный район «Алданский район». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aldanray.ru/district/index.php> (дата обращения: 26.08.2023).
12. Муниципальное образование «Беллетский эвенкийский национальный наслег». [Электронный ресурс]. URL: <http://bellet.sakha.gov.ru/> (дата обращения: 26.08.2023).
13. Муниципальное образование «Национальный наслег Анамы». [Электронный ресурс]. URL: <http://anamy.sakha.gov.ru/> (дата обращения: 26.08.2023).
14. Федеральный закон от 7 мая 2001 г. N 49-ФЗ «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: base.garant.ru/12122856/3d3a9e2eb4f30c73ea6671464e2a54b5/?ysclid=lnympgmqzo351044094 (дата обращения: 26.08.2023).
15. Закон Республики Саха (Якутия) от 13 июля 2006 г. 370-3 N 755-III «О территориях традиционного природопользования и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: base.garant.ru/26706917/ (дата обращения: 26.08.2023).
16. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 22.06.2006 г. N 267 «Об утверждении положения о территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс]. URL: garant.ru/hotlaw/yakut/141218 (дата обращения: 21.08.2023).
17. Закон Республики Саха (Якутия) 910-3 №731-IV от 01.03.2011 г. «Об особо охраняемых природных территориях РС(Я)». [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/zakon-rsja-910-z-731-iv-ot-01032011-g-ob-osobo-ohranjaemyh-prirodnih-territorijah-rsja?ysclid=lnymwkwk19517205706> (дата обращения: 26.08.2023).
18. Геопортал Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://sakhagis.ru/> (дата обращения: 23.08.2023).

СТАТЬИ

УДК 550.461

DOI 10.17513/use.38152

**ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ
КАК ЭТАП ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ
СИСТЕМЫ «ВОДА – ПОРОДА»**

¹Зиппа Е.В., ²Пургина Д.В., ^{1,2}Дребот В.В.

¹*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, e-mail: zippaev@ipgg.sbras.ru;*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

В работе представлены данные о газовом, химическом и изотопном составе термальных вод Байкальской складчатой зоны. Показано, что термальные воды являются азотными, пресными, щелочными, с восстановительной обстановкой водной среды и относятся к гидрокарбонатно-сульфатному натриевому и сульфатному натриевому химическим типам. По результатам анализа изотопного состава воды установлен метеорный генезис терм. С использованием данных о химическом составе исследуемых вод произведена оценка характера равновесия терм с минералами вмещающих пород и изменения интенсивности растворения и площадей активных поверхностей первичных минералов. Показано, что термальные воды и горные породы образуют равновесно-неравновесную систему. Это означает, что термы неравновесны с одними минералами (анортит, анальцит, форстерит), которые растворяют, и равновесны с другими (каолинит, монтмориллонит, кальцит, флюорит, альбит и т.д.), которые формируют. По мере взаимодействия терм с горными породами интенсивность растворения и площади активных поверхностей первичных минералов уменьшаются. Это обосновывается увеличением масштабов вторичного минералообразования на протяжении всего времени взаимодействия терм с горными породами. Вторичные минералы перекрывают первичные, уменьшая тем самым интенсивность растворения и площадь активной поверхности последних.

Ключевые слова: термальные воды, химический состав, газовый состав, изотопный состав, взаимодействие воды с горными породами, система «вода – порода», растворение/осаждение, равновесно-неравновесное состояние системы «вода – порода», эволюция состава терм, площади активных поверхностей минералов

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-1408.2022.1.5.

**THE THERMAL WATERS OF BAIKAL FOLD SYSTEM
AS THE CERTAIN STAGE OF THE WATER-ROCK
INTERACTION GEOLOGICAL EVOLUTION**

¹Zippa E.V., ²Purgina D.V., ^{1,2}Drebot V.V

¹*Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics in the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: zippaev@ipgg.sbras.ru;*

²*National research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

The paper presents data on the gas, chemical and isotopic composition of thermal waters of the Baikal Fold System. It was shown that thermal waters are nitric, fresh, alkaline, with the reducing aquatic environment and belong to the sodium bicarbonate-sulfate and sodium sulfate chemical types. Based on data of the water isotopic composition, the thermal waters have meteoric origin. Using data on the springs' chemical composition, the equilibrium of the thermal waters with minerals and the changes of dissolution intensity and minerals reactive surface areas were evaluated. It is shown that thermal waters-rock system forms equilibrium-nonequilibrium system. This means that the hydrotherms are not in equilibrium with some minerals (anorthite, analcime, forsterite), which dissolve, and are in equilibrium with others (kaolinite, montmorillonite, calcite, fluorite, albite, etc.) which form. Due to the thermal waters-rock interaction, the dissolution intensity and the reactive surface areas of primary minerals decrease. This is justified by the increase in the scale of secondary mineral formation throughout the entire time of interaction of thermal waters with rocks. Secondary minerals overlap the primary ones, thereby reducing the intensity of dissolution and the active surface area of the latter.

Keywords: thermal waters, chemical composition, gas composition, isotopic composition, water-rock interaction, water-rock system, dissolution-precipitation, equilibrium-nonequilibrium state of the water-rock system, evolution of the thermal waters composition, minerals reactive surfaces area

The work was carried out with financial support from the Grant of the President of the Russian Federation No. MK-1408.2022.1.5.

Формирование состава термальных вод является дискуссионным и актуальным вопросом современной гидрогеохимии. Решению этого вопроса посвящен широкий

спектр исследований [1–3], которые базируются на разных подходах. Исследование основывается на концепции д.г.-м.н., профессора С.Л. Шварцева о геологической

эволюции системы «вода – порода» [4–6]. Суть концепции заключается в равновесно-неравновесном состоянии системы «вода – порода», которое подразумевает, что вода всегда неравновесна относительно эндогенных минералов, которые растворяет, но равновесна к определенному набору минералов, которые формирует. При этом состав подземных вод определяется разностью между количеством элементов, поступающих в раствор путем растворения горных пород, и количеством элементов, связываемых образующимися вторичными минералами. Система «вода – порода» развивается непрерывно и поэтапно. Каждый этап эволюционного развития системы «вода – порода» характеризуется определенным геохимическим типом вод, набором образованных вторичных минералов и определенной геохимической средой [6].

Настоящая работа является частью большого исследования, направленного на изучение термальных вод Байкальской складчатой области, оценку их равновесно-неравновесного состояния на основе новых данных о составе терм. Результаты исследования позволят в дальнейшем выявить процессы и механизмы формирования состава термальных вод, что, в свою очередь, послужит основой для построения концептуальной модели. В связи с этим целью работы представляется оценка равновесно-неравновесного состояния терм Байкальской складчатой зоны с дальнейшим выявлением процессов и механизмов взаимодействия в системе «вода – порода».

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование основано на результатах гидрохимического опробования, проведенного в 2022 г. на территории Байкальской складчатой области в пределах Республики Бурятия. Химический состав определен согласно известным методикам в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (г. Томск) и описан ранее [5]. Изотопный анализ воды (D, ^{18}O) проводили с использованием изотопного масс-спектрометра с анализатором элементов TC/EA-IRMS (Finnigan MAT 253, Thermo Scientific, США) в Центре химического анализа и физических испытаний (ECUT, Наньчан, Китай). Состав свободных газов определен методом газовой хроматографии в лаборатории Производственно-геологической компании «Сибгеоком» (Иркутск, Россия).

Оценка характера равновесия термальных вод с минералами горных пород осуществлялась методом равновесной термодинамики с применением программного комплекса Geochemist's Workbench (GWB) [7]. Степень насыщения термальных вод к минералам вмещающих пород оценена с помощью индекса насыщения (SI), рассчитанного как отношение квотанта реакции к ее константе (1).

$$SI = \log Q / K. \quad (1)$$

При $SI < 0$ водный раствор недонасыщен к минералу, что означает непрерывное растворение исходного минерала водой. При $SI > 0$ раствор пересыщен по отношению к минералу, что подразумевает возможность образования вторичных фаз. Если $SI = 0$, то система «вода – порода» находится в равновесии. Физико-химические расчеты выполнялись для условий нормального атмосферного давления при температуре разгрузки вод. Результаты расчета равновесий проиллюстрированы на диаграммах полей устойчивости минералов, построенных в GWB при 20, 80 и 100°C.

Для расчета площадей активной поверхности растворяемых минералов (S) применена методика [8–10], где в качестве исходных данных использован химический состав терм.

Оценить изменения S в системе «вода – порода» можно с помощью расчета скорости растворения минералов R_i , равной количеству вещества, поступающего в раствор в единицу времени (2) [11]:

$$R_{\phi, i, j} = S_i \cdot \bar{R}_i (dt / d\phi), \quad (2)$$

где $R_{\phi, i, j}$ – скорость растворения минерала в реальных условиях; S_i – площадь активной поверхности i -го минерала; \bar{R}_i – скорость растворения минерала в лабораторных условиях. При этом скорость растворения минерала в реальных условиях представляет собой частную производную молярной концентрации каждого катиона как функцию процесса пертурбации (ϕ), под которым понимается изменение химического состава терм под влиянием внешних факторов, равное отношению суммы основных катионов родника к максимальному значению этой суммы по выборке.

Результаты исследования и их обсуждение

В административном отношении термальные воды Байкальской складчатой области расположены на территории Республики

Бурятия. Исследуемые воды разгружаются в пределах баргузинского комплекса, сложенного интрузивными породами протерозойского возраста. Выходы терм приурочены к глубинным разломам, что позволяет им циркулировать на значительных глубинах.

Результаты анализа газового состава термальных вод Байкальской складчатой зоны показали, что преобладающим газом является азот. Однако тип терм меняется от N_2 - CH_4 до N_2 . Содержание N_2 варьирует от 34 до 99 об.%, при этом термы с содержанием N_2 более 85 об.% относятся азотным термальным водам. Также выявлены два источника, где доминирование переходит от азота к CH_4 . Концентрации N_2 ниже 40 об.%, а содержание CH_4 около 61–62 об.%. В данном случае эти два источника относятся к термальным водам N_2 - CH_4 . Содержание остальных газов не превышает 1 об.%, за исключением O_2 и CO_2 , концентрации которых достигают 7 и 3 об.% соответственно.

Согласно результатам анализа химического состава, исследуемые термы являются пресными (минерализация 266–858 мг/л), щелочными (рН 8,2–9,7), с восстановительной обстановкой водной среды (Еh составляет от –350 до –110 мВ), в единичных случаях Еh встречается выше 0 (родники Гусихинский и Алгинский), где Еh соответственно 38 и 124 мВ. Температура термальных вод в местах разгрузки составляет 21–72°C [5].

Рассматриваемые термальные воды относятся в основном к HCO_3 - SO_4 - Na и

SO_4 - Na , реже к SO_4 - HCO_3 - Na [5]. В анионном составе отмечены попеременное доминирование SO_4^{2-} и HCO_3^- , концентрации которых соответственно составляют 40–365 мг/л и 27–154 мг/л, и низкие концентрации Cl^- (3,5–40,5 мг/л). Среди катионов преобладающим является Na^+ (104–211 мг/л), за исключением Алгинского источника, где доминирующим катионом является Ca^{2+} (81,7 мг/л). В целом, содержание Ca^{2+} в термах составляет 1,6–81,7 мг/л. В значительно меньших количествах содержатся Mg^{2+} (<2,5 мг/л) и K^+ (<6 мг/л). Кроме этого, химический состав исследуемых терм характеризуется высокими концентрациями F^- (3–20 мг/л) и SiO_2 (47–125 мг/л) [5].

Распределение макрокомпонентов относительно величины рН представлено на рисунке 1, из которого видно, что наряду с уменьшением общей минерализации по мере роста рН уменьшаются и концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и SO_4^{2-} . В то же время концентрации карбонатных ионов, F^- , однако, Na^+ ведет себя неоднозначно, и сложно выявить какую-либо закономерность.

Анализ изотопного состава воды показал вариации величины δD от –156,3 до –124,5 ‰ и $\delta^{18}O$ –22,1 до –17,3 ‰. Если нанести значения δD и $\delta^{18}O$ на график соотношения изотопного состава термальных вод (рис. 2), то видно, что фигуративные точки терм расположились вдоль локальной линии метеорных вод. Это, в свою очередь, свидетельствует об их метеорном происхождении.

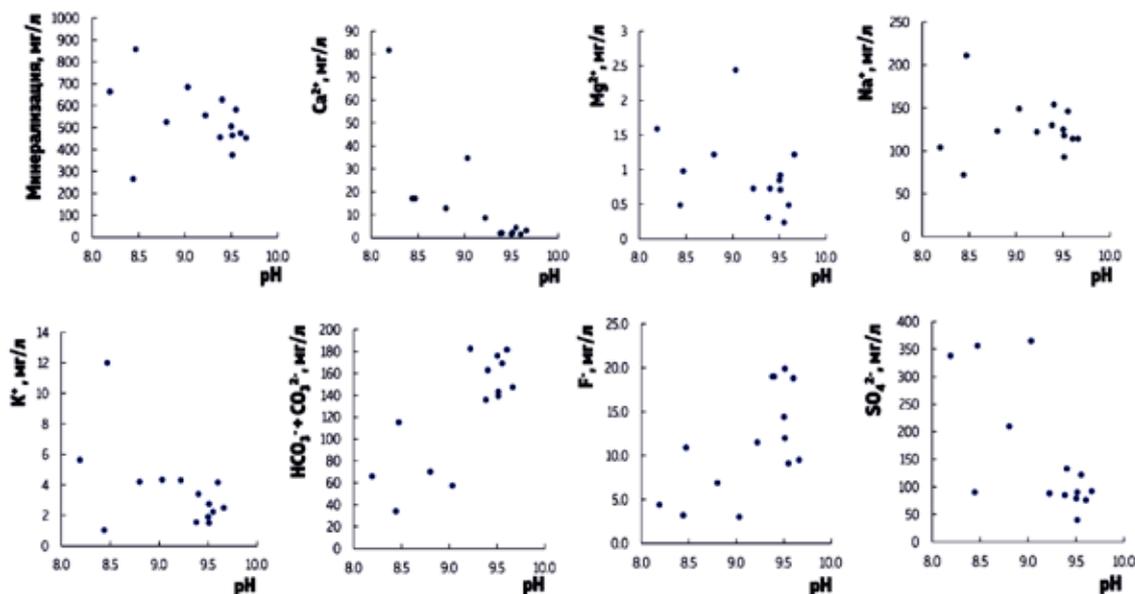


Рис. 1. Распределение макрокомпонентов относительно величины рН

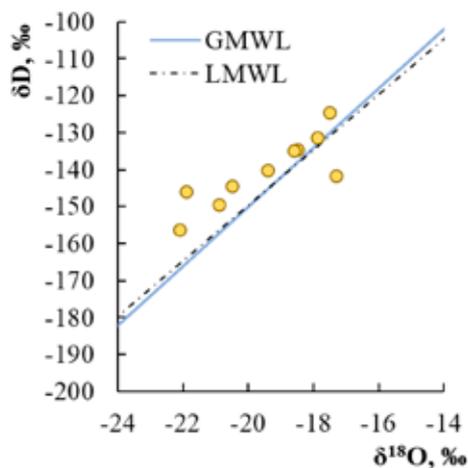


Рис. 2. Соотношение изотопного состава кислорода и водорода термальных вод Байкальской складчатой зоны

Изучение характера равновесия термальных вод по отношению к минералам горных пород необходимо для обоснования формирования состава термальных вод. Результаты расчетов показали, что термальные воды Байкальской складчатой зоны находятся в равновесии с одними минералами и неравновесны с другими. Равновесие с карбонатными минералами на примере кальцита (рис. 3а) и магнезита (рис. 3б) представлено на рисунке 3, из которого видно, что исследуемые термальные воды насыщены по отношению к кальциту (SI от 0,2 до 1,1) и частично к магнезиту (SI от -1,8 до 0,4). Равновесие с кальцитом и доломитом становится геохимическим барьером, препятствующим накоплению Ca^{2+} и Mg^{2+} в рассматриваемых водах.

Наряду с карбонатными минералами получено равновесие термальных вод с флюоритом (SI от -0,4 до 0,7). Причем насыщение флюорита достигается при более низких температурах, чем карбонатов.

В отличие от насыщенности карбонатными минералами, характер равновесия исследуемых терм с алюмосиликатными минералами более сложный (рис. 4). С одной стороны, термальные воды насыщены по отношению к каолиниту, монтмориллониту, альбиту, ломониту и др. С другой стороны, термы неравновесны с первичными алюмосиликатными минералами, например анортитом, анальцимом, форстеритом и др.

Согласно предложенной последовательности вторичного минералообразования [6], термальные воды Байкальской складчатой области находятся на поздней стадии эволюционного развития системы «вода – порода», поскольку достигли стадии образования альбита. Поскольку термы являются метеорными, атмосферные осадки проникают в горные породы, начинают с ними взаимодействовать и нагреваться по мере движения на глубину. Первым в системе «вода – порода» формируется каолинит, далее, с течением времени взаимодействия, формируются монтмориллонит и кальцит. Такой набор вторичных минералов является типичным для зоны гипергенеза [6]. Но по мере движения воды на глубину масштабы вторичного минералообразования увеличиваются, и среди минералов появляются ломонит, мусковит, микроклин и альбит, часто имеющие гидротермальный генезис.

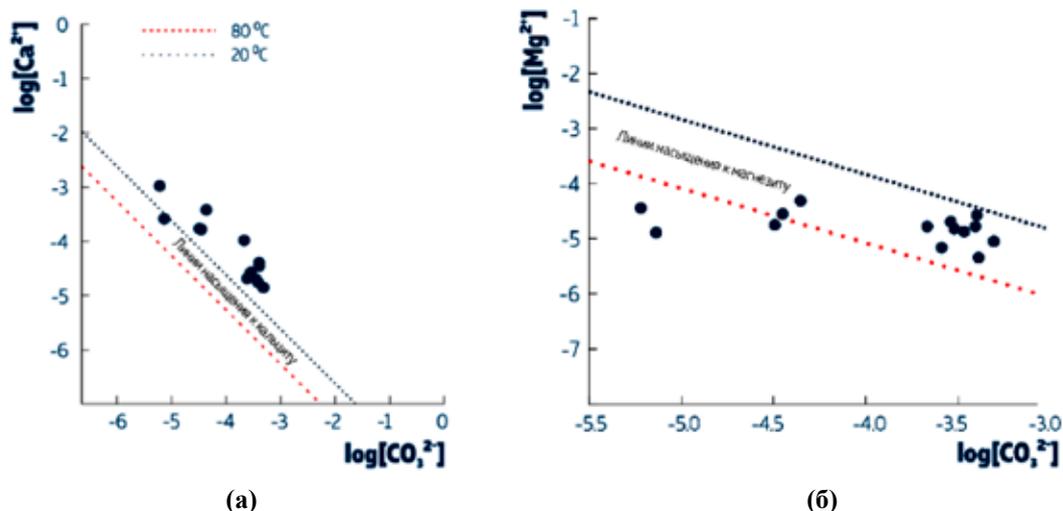


Рис. 3. Равновесие термальных вод Байкальской складчатой области с кальцитом (а) и магнезитом (б) при температуре 20 и 80°C

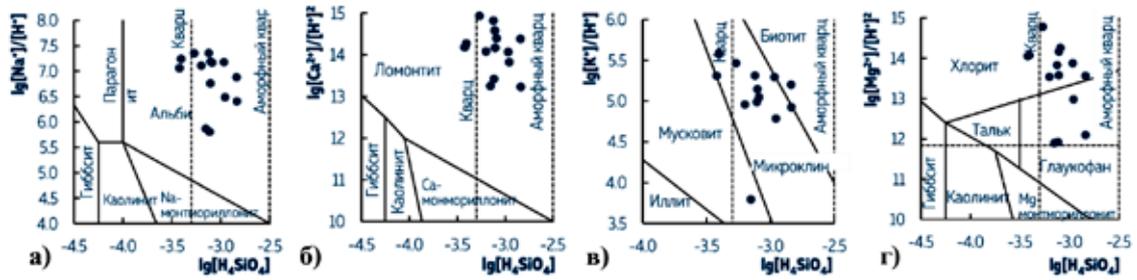


Рис. 4. Равновесие термальных вод Байкальской складчатой области с алюмосиликатными минералами в системе (а) $HCl-H_2O-Al_2O_3-Na_2O-SiO_2$; (б) $HCl-H_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$; (в) $SiO_2-Al_2O_3-K_2O-H_2O$; (г) $HCl-H_2O-Al_2O_3-MgO-SiO_2$ при $100^\circ C$

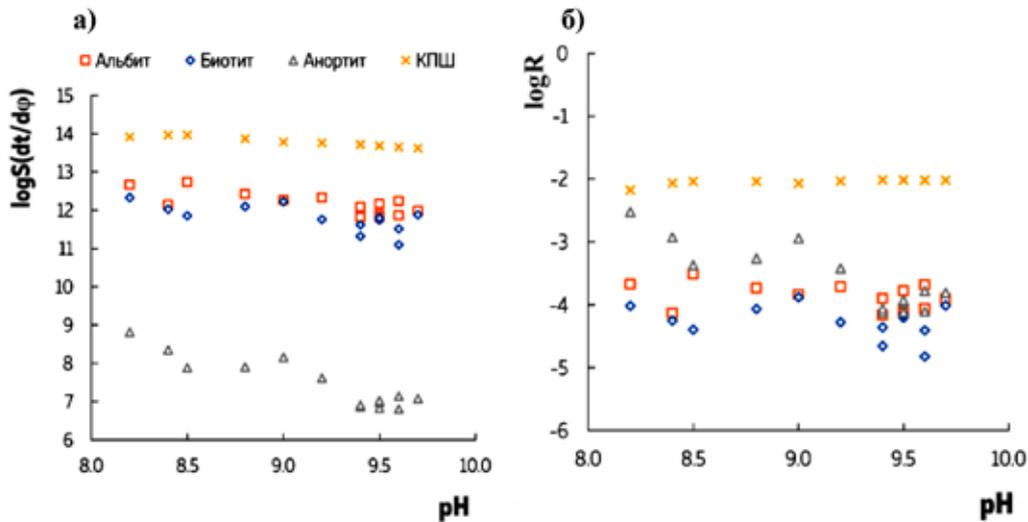


Рис. 5. Изменение площадей активных поверхностей минералов (а) и интенсивности их растворения (б) по мере увеличения значений величины рН

Выявленные отличия в составе воды термальных родников Байкальской складчатой области и в характере их взаимодействия с горными породами могут быть объяснены поступающими в систему «вода – порода» газами или наличием других внешних факторов, влияющих на процессы растворения/осаждения минералов, поступление в раствор и накопление химических элементов, кислотно-щелочные свойства и геохимическую обстановку в целом. Кроме этого, площадь активной поверхности первичных минералов (S) изменяется при протекании процессов растворения/осаждения. Активная поверхность минералов является важным параметром при физико-химическом моделировании, поскольку влияет на масштабы вторичного минералообразования [11–13].

Согласно формуле (2) и упомянутой методике [10], рассчитаны площади активных поверхностей минералов. Как известно,

К-полевой шпат, биотит, альбит, в том числе анортит и другие минералы, относятся к основным породообразующим минералами в гранитах. В связи с этим для расчета S использованы реакции растворения упомянутых минералов, которые являются источниками K^+ , Mg^{2+} , Na^+ и Ca^{2+} . Результаты расчетов показали, что более щелочные термы контактируют с меньшей площадью активной поверхности основных минералов (рис. 5а). При этом интенсивность растворения последних минералов уменьшается по мере увеличения значений величины рН (рис. 5б).

Это служит дополнительным расчетным подтверждением, что азотные термальные воды Байкальской складчатой области формируют широкий спектр вторичных минералов и находятся на позднем этапе развития системы «вода – порода». Вторичные минералы, в свою очередь, перекрывают растворяемые первичные мине-

ралы и уменьшают площадь контакта терм с ними. Вследствие увеличения масштабов вторичного минералообразования и уменьшения площадей активных поверхностей первичных минералов уменьшается и интенсивность растворения последних (рис. 5б). Однако, если обратить внимание на альбит, интенсивность растворения которого практически не меняется (рис. 5б), то можно косвенно объяснить и поведение Na^+ относительно рН (рис. 1), его постоянный рост в исследуемых водах по мере роста значений величины рН. Таким образом, на протяжении времени взаимодействия терм с горными породами интенсивность растворения плагиоклазов не меняется, обеспечивая при этом постоянное поступление натрия иона в раствор.

Выводы

Термальные воды Байкальской складчатой области являются азотными, пресными, щелочными, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ и $\text{SO}_4\text{-Na}$ типа и метеорного генезиса. В ходе взаимодействия «вода – порода» термальные воды непрерывно растворяют первичные минералы, с которыми далеки от равновесия, и формируют вторичные минералы, с которыми достигают насыщения, а сама система «вода – порода» находится в непрерывном развитии, достигая этапа формирования альбита. При этом новообразованные минеральные фазы перекрывают первичные минералы, тем самым уменьшая интенсивность растворения последних и площадь их активных поверхностей.

Список литературы

1. Замана Л.В., Пиннекер Е.В. Особенности формирования карбонатной системы азотных термальных вод Забайкалья // Доклады Академии наук. 1999. Т. 366, № 6. С. 803-805.

2. Плюснин 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. DOI: 10.1016/j.ggg.2013.04.002.

3. Шварцев С.Л., Замана Л.В., Плюснин 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. DOI: 10.1134/S0016702915060087.

4. Шварцев С.Л. Механизмы концентрирования фтора в азотных термах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 12. С. 105-115.

5. Зиппа Е.В., Пургина Д.В., Дребот В.В. Химический состав и геотермальный режим термальных вод Байкальской складчатой области (Республика Бурятия) // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 110-115. DOI: 10.17513/use.37958.

6. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исп. и доп. М.: Недра, 1998. 366 с.

7. Bethke C.M., Farrell B., Yeakel S. The Geochemist's Workbench, Version 12.0: GWB Essentials Guide. Aqueous Solutions. Illinois, US: LLC Champaign, 2018. 159 p.

8. Scislawski A., Zuddas P. Estimation of reactive mineral surface area during water-rock interaction using fluid chemical data // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2010. V. 74. P. 6996-7007. DOI: 10.1016/j.gca.2010.09.015.

9. Zippa E., Zuddas P. Estimation the reactive surface area of minerals during fluid-rock interaction in hydrothermal Ji-angxi Province (SE China) // *Applied Geochemistry*. 2020. V. 120. P. 104675. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104675.

10. Bolourinejad P., Shoeibi O.P., Herber R. Effect of reactive surface area of minerals on mineralization and carbon dioxide trapping in a depleted gas reservoir // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2014. V. 21. P. 11-22. DOI: 10.1016/j.ijggc.2013.11.020.

11. Kweon H., Deo M. The impact of reactive surface area on brine-rock-carbon dioxide reactions in CO_2 sequestration // *Fuel*. 2017. V. 188. P. 39-49. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.10.010.

12. Zuddas P., Rillard J. Estimating the Reactive Surface Area of Minerals in Natural Hydrothermal Fields: Preliminary Results // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2013. V. 7. P. 953-957. DOI: 10.1016/j.proeps.2013.03.170.

13. Beckingham L.E., Mitnick E.H., Steefel C.I. Evaluation of mineral reactive surface area estimates for prediction of reactivity of a multi-mineral sediment // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2016. V. 188. P. 310-329. DOI: 10.1016/j.gca.2016.05.040.

УДК 550.8:551.21
DOI 10.17513/use.38153

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-МУТНОВСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (КАМЧАТКА)

Павлова В.Ю.

*ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга»,
Петропавловск-Камчатский, e-mail: verpavlova88@gmail.com*

Данная работа является частью исследований, направленных на решение основной цели, которая заключается в создании научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах. Одна из решаемых задач, затрагиваемая в данных исследованиях, заключается в оценке применимости и последующей адаптации метода георадиолокации для изучения вулканических областей. Район исследования находится на полуострове Камчатка – в юго-восточной части, рядом с вулканами Вилучинский, Горелый и Мутновский. Исследуемый участок расположен на территории Северо-Мутновской вулcano-тектонической зоны рядом с эксплуатируемым Мутновским месторождением парогидротерм. На данный момент важны детальные исследования условий геолого-структурной локализации гидротермальных систем и близлежащей территории для определения проведения детальных разведочных работ на геотермальных месторождениях Камчатки. Метод георадиолокации как раз помогает в выявлении геолого-структурных особенностей исследуемых территорий и в последнее время стал применяться для этих целей на Камчатке. Метод георадиолокации на этой территории применен впервые. Измерения проведены с помощью имеющегося в наличии георадара «ОКО-250». В результате выявлены некоторые особенности детального геологического строения приповерхностной территории: переслаивание слоев вулканического пепла разного состава с включениями крупнообломочного материала; аккумулятивные отложения; трещинные зоны; разрывные нарушения. Метод георадиолокации возможно применять на Камчатке для детального изучения территории и картирования геологических структур.

Ключевые слова: Камчатка, Северо-Мутновская вулcano-тектоническая зона, геологическое строение, метод георадиолокации, радарграмма

Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030. Дальний Восток».

RESULTS OF GPR RESEARCH IN THE TERRITORY OF THE NORTH-MUTNOVSKY VOLCANO-TECTONIC ZONE (KAMCHATKA)

Pavlova V.Yu.

*Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky,
e-mail: verpavlova88@gmail.com*

This work is part of research aimed at solving the main goal, which is to create a scientific and methodological basis for the ground penetrating radar (the GPR) method in relation to Kamchatka, including methods for processing and interpreting data, taking into account practical experience of application at various sites. One of the problems addressed in these studies is to assess the applicability and subsequent adaptation of the ground penetrating radar method for studying volcanic areas. The study area is located in the southeastern part of the Kamchatka Peninsula. The Mutnovsky, Gorely, and Vilyuchinsky volcanoes are located here. The study area is located on the territory of the North-Mutnovskaya volcano-tectonic zone next to the exploited Mutnovsky steam-hydrothermal field. At the moment, detailed studies of the conditions of the geological and structural localization of hydrothermal systems and surrounding areas are important to determine the conduct of detailed exploration work in the geothermal fields of Kamchatka. The ground penetrating radar method helps in identifying the geological and structural features of the study areas and has recently begun to be used for these purposes in Kamchatka. The georadar method was used for the first time in this area. The measurements were carried out using the available georadar «OKO-250». As a result, some features of the detailed geological structure of the near-surface territory were revealed: interlayering of layers of volcanic ash of different composition with inclusions of coarse material; accumulative deposits; crack zones; rupture violations. The georadar method can be used in Kamchatka for a detailed study of the territory and mapping of geological structures. The work was carried out as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030. Far East”.

Keywords: Kamchatka, North-Mutnovsky volcano-tectonic zone, geological structure, ground penetrating radar method (the GPR), radargram

The work was carried out as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030. Far East.”

Актуальность исследований заключается в следующем:

1. Для оптимизации метода георадиолокации необходимо сопоставление и анализ результатов наблюдений в различных геологических условиях.

2. Поскольку метод георадиолокации интенсивно развивается в последние годы, то теоретические исследования в области обработки данных необходимо иллюстрировать многочисленными примерами практического использования георадаров на разных объектах исследования.

Данная работа является частью исследований, направленных на решение основной цели, которая заключается в создании научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах.

Одна из решаемых задач, затрагиваемая в данных исследованиях, заключается в оценке применимости и последующей адаптации метода георадиолокации для изучения вулканических областей.

Район исследования находится в юго-восточной части полуострова Камчатка. Здесь расположены вулканы Мутновский, Горелый, Вилючинский. Исследуемый участок – территория Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны. Общая протяженность георадарных исследований составила 420 м, что связано со сложным рельефом и небольшой равнинной территорией, где можно было провести измерения с помощью георадара (рис. 1).

Северо-Мутновский район раньше рассматривался как перспективный, поэтому на участке Пенистый была пробурена глубокая рекогносцировочная скважина. Но она оказалась непродуктивной. Однако сейчас делается упор на детальное изучение этого района с целью наращивания ресурсов теплоносителя Мутновского месторождения парогидотерм.

Согласно исследованиям А.В. Кирюхина с соавт., на данной территории температура на глубине составляет до 125°C. При бурении здесь не обнаружены продуктивные зоны, поэтому имеющиеся ранее скважины ликвидированы [1].

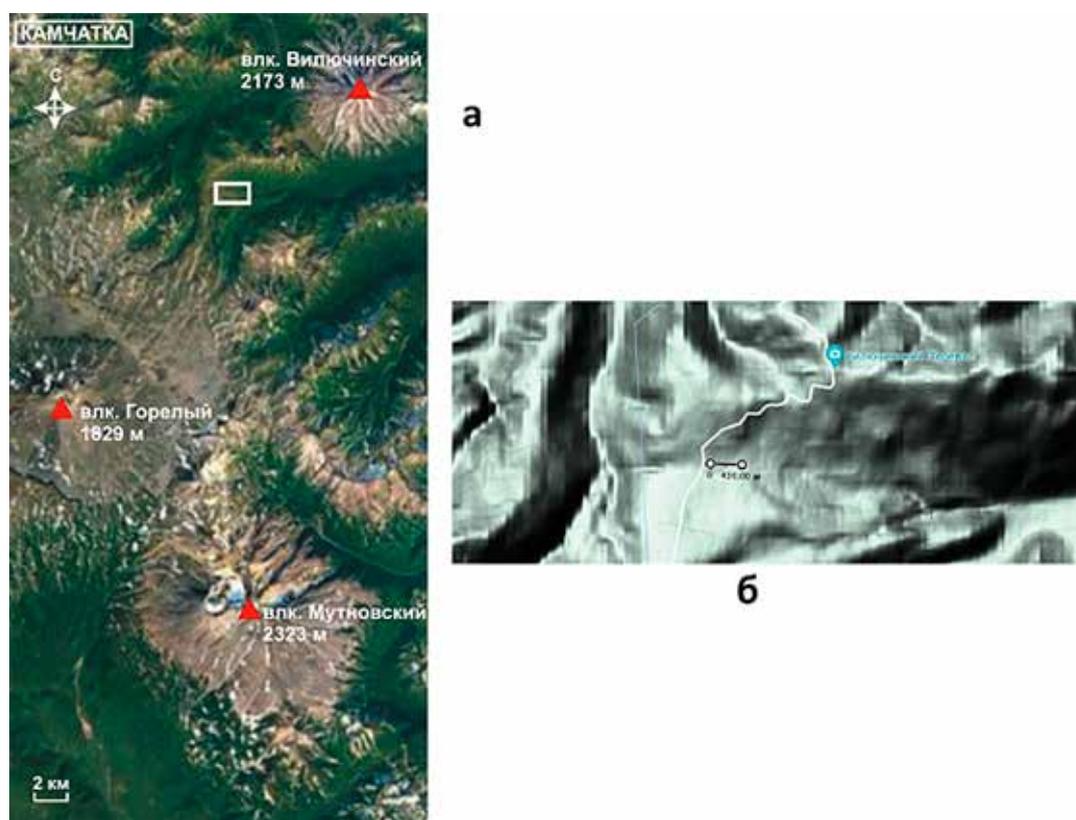


Рис. 1. Территория исследований: а – карта района работ (Камчатка), участок исследования отмечен прямоугольником; б – участок работ, 420 м – общая протяженность георадарных исследований

В позднелайстоцен-голоценовое время во всех районах происходит формирование новейшей сети разломов северо-северо-восточного (ССВ 20–30°) и менее выраженного субширотного (ЗСЗ 280–300°) простираний [2]. Так же как среднеплейстоценовые разломы северо-восточного простирания, эти разломы формируют раздвижки, выраженные на поверхности грабенообразными структурами [2]. Их необходимо рассматривать как поверхностное проявление Восточно-Камчатского глубинного разлома, выделенного многими авторами. В позднем плейстоцене-голоцене вдоль этого разлома произошла активизация, выразившаяся в образовании новейшей зоны растяжения [2].

В формировании геотермального резервуара главную роль сыграла образованная субмеридиональными сбросами грабенообразная депрессия, осевая часть которой проходит через кратеры Мутновского вулкана и далее на север, названная Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоной [3]. Грабенообразная депрессия Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны – часть субмеридионального глубинного разлома [3]. По данным исследований ряда авторов здесь выделяются предполагаемые тектонические нарушения [4].

На данный момент важны детальные исследования условий геолого-структур-

ной локализации гидротермальных систем и близлежащей территории для определения проведения детальных разведочных работ на геотермальных месторождениях Камчатки. Метод георадиолокации как раз помогает в выявлении геолого-структурных особенностей исследуемых территорий и в последнее время стал применяться для этих целей на Камчатке.

Материалы и методы исследования

Работы с помощью метода георадиолокации проведены впервые на этой территории. Использован имеющийся в наличии георадар «ОКО-250» (рис. 2, 3). Метод георадиолокации применяется для детального изучения отложений в их естественном залегании, а также в картировании и выявлении контуров деформационных геологических структур [5]. Глубина зондирования – до 10 м. Обработка результатов измерений – в программе GeoScan32.

Метод георадиолокации (англ. Ground-penetrating radar, GPR) – это метод геофизического исследования, который основан на излучении широкополосного сигнала радиочастотного диапазона в толщу среды, далее происходит регистрация отклика (сигнал, который является суперпозицией амплитуд прямых, преломленных и отраженных волн, достигающих приемной антенны) [6].



Рис. 2. Оператор с прибором георадар «ОКО-250»

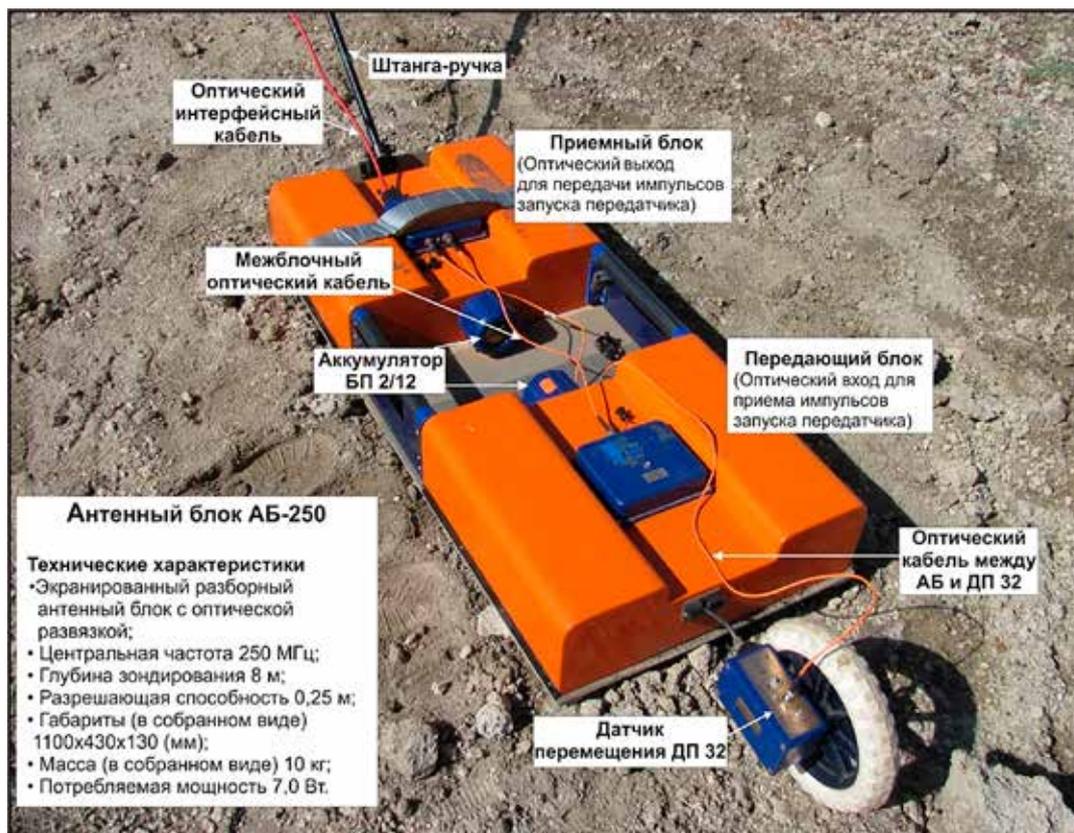


Рис. 3. Схема прибора георадар «ОКО-250»

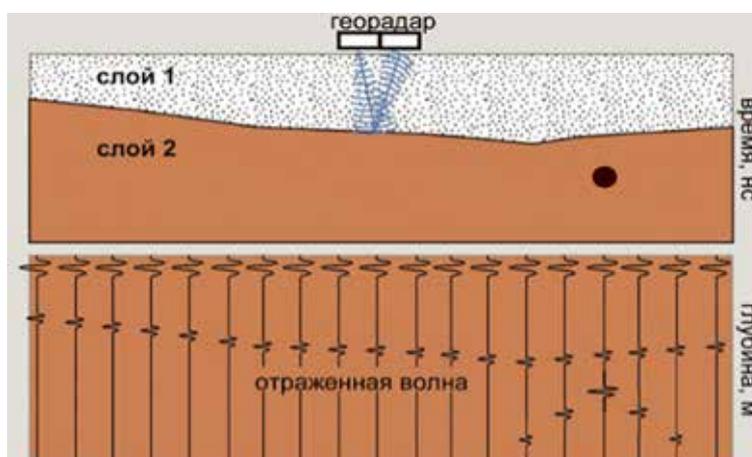


Рис. 4. Принцип метода георадиолокации [7]

Метод основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства: электропроводность и диэлектрическая проницаемость [6] (рис. 4). В результате метода георадиолокации получают данные в виде радарограммы [8] (рис. 5).

Результаты исследования и их обсуждение

На территории Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны имеются небольшие озера, характерны неровности рельефа в виде пологих склонов, а также наблюдаются трещинные зоны.

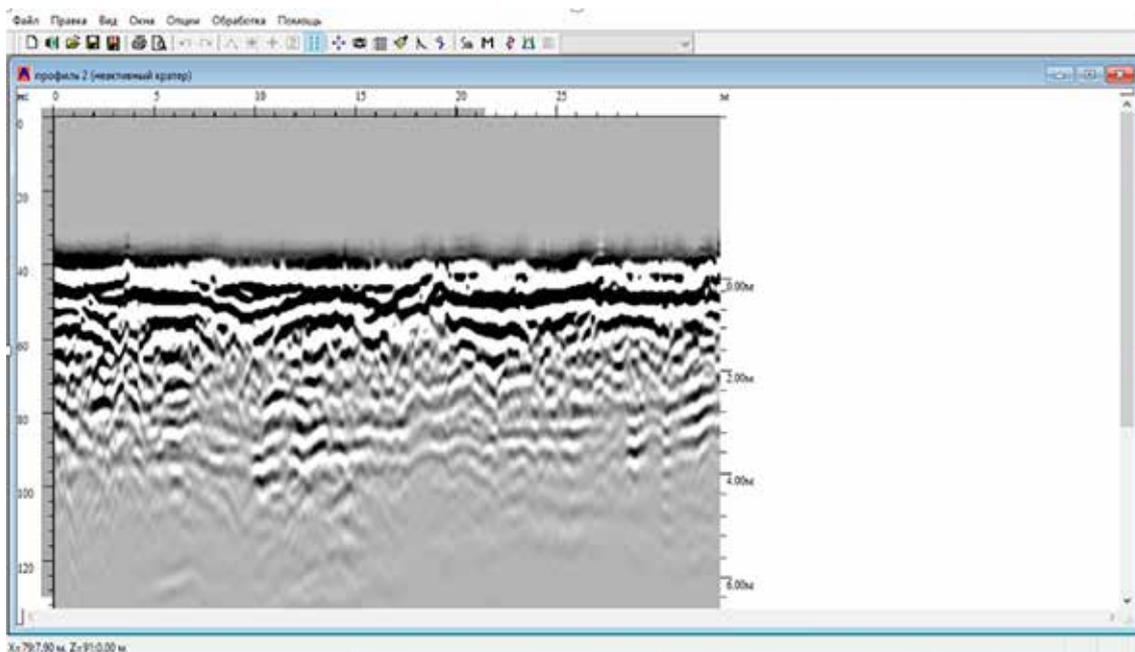


Рис. 5. Изображение радарограммы в программе GeoScan32. По горизонтали – расстояние в метрах, по вертикали – время прихода отраженного сигнала в наносекундах. Белые – отрицательные полуволны. Черные – положительные полуволны



Рис. 6. Исследуемый участок: 1 – почвенно-растительный покров; 2 – озера; 3 – обнажения горных пород; 4 – трещинные зоны

На поверхности встречаются обломки игнимбритов трещинных ареальных извержений, андезитов, дацитов, риолитов, а также слои вулканических пеплов разного состава (рис. 6).

Вулканический пепел представлен чередованием слоев желтого, светло-коричневого, темно-коричневого, черного цвета с синеватым отливом. Также имеется слой

мелкой пемзы (до 5 мм). На всех радарограммах эти слои представлены протяженными горизонтальными осями синфазности, что указывает на долгий период вулканической деятельности на данной территории, что, соответственно, за длительный период времени привело к накоплению разного состава вулканических отложений (рис. 7).

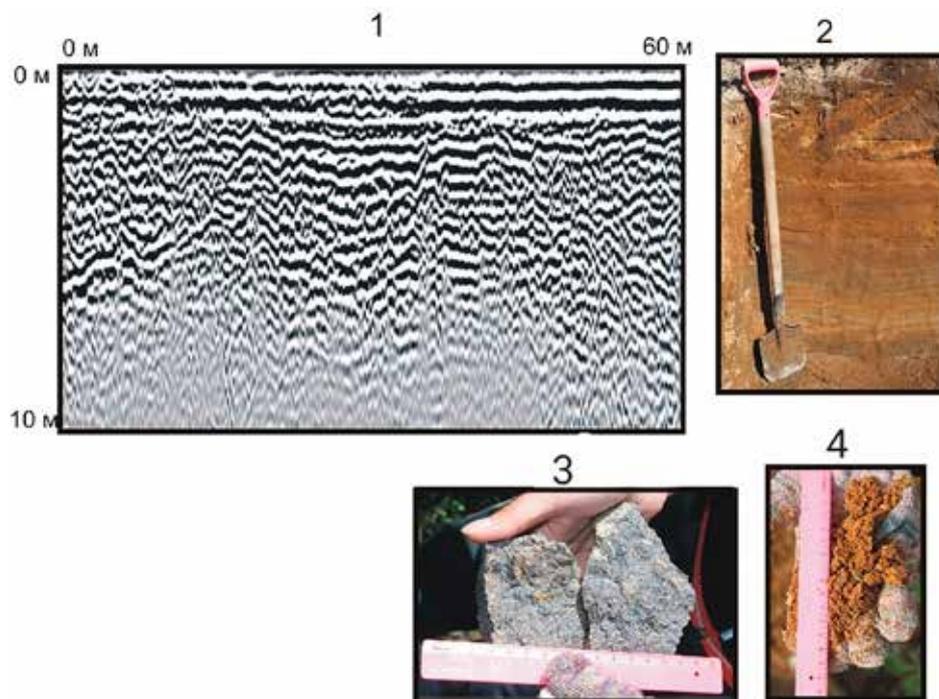


Рис. 7. Профиль георадарной съемки с интерпретацией. Условные обозначения: 1 – радарограмма; 2 – переслаивание слоев вулканического пепла разного состава; 3 – образец горной породы; 4 – почвенный слой с включениями крупнозернистого песка

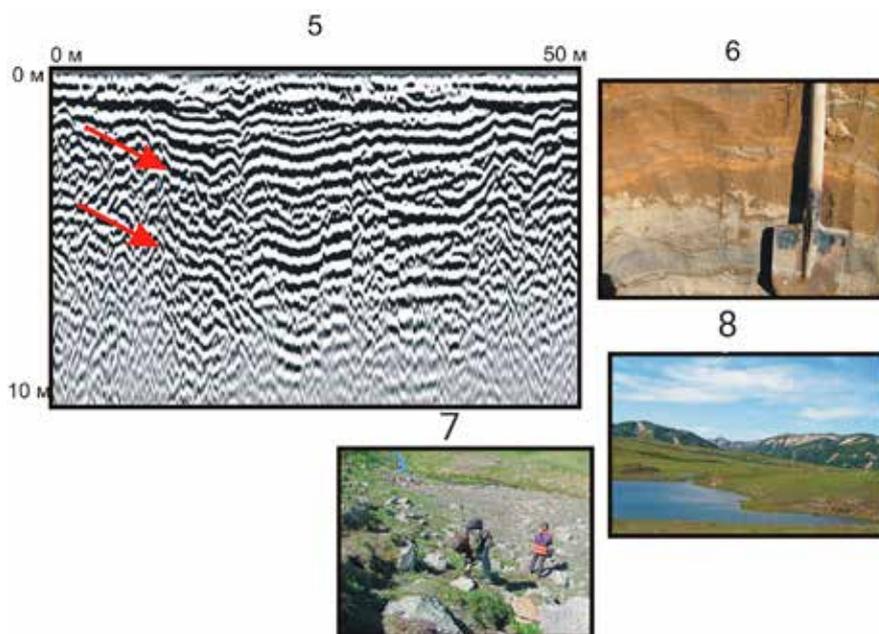


Рис. 8. Профиль георадарной съемки с интерпретацией. Условные обозначения: 5 – радарограмма; 6 – переслаивание слоев вулканического пепла разного состава; 7 – ручей Пенистый; 8 – озера

На радарограммах хорошо выделяется участок влагонасыщенных отложений в виде понижения, расположенного у ручья Пенистый и небольших озер. Волновая кар-

тина представлена горизонтально расположенными осями синфазности – это отложения аккумулятивных равнин, где имеются вулканические пески (рис. 8).

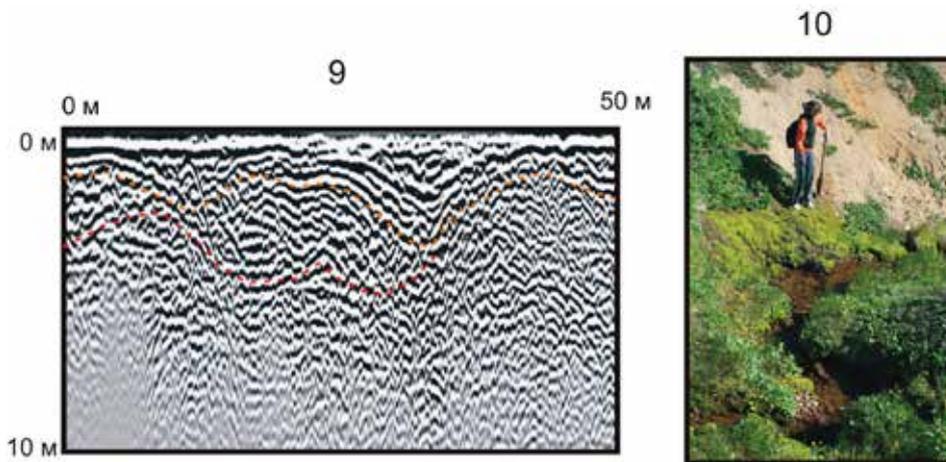


Рис. 9. Профиль георадарной съемки с интерпретацией.
Условные обозначения: 9 – радарограмма; 10 – трещинные зоны

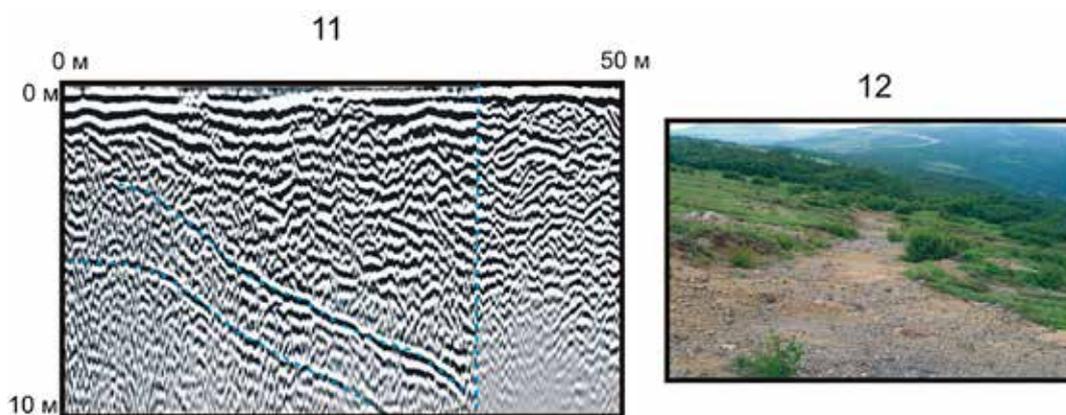


Рис. 10. Профиль георадарной съемки с интерпретацией.
Условные обозначения: 11 – радарограмма; 12 – разрывные нарушения

На радарограммах выделяются чашеобразные мульды со смятием слоев в складки. Границы слоев согласны друг другу, но при этом выделяются угловые несогласия (рис. 9).

На радарограммах также хорошо выделяются участки с наклонным залеганием слоев и видимым нарушением их параллельности с резким смещением относительно друг друга, что указывает на наличие не предполагаемых, а явных разрывных нарушений, имеющих на этой территории (рис. 10).

Заключение

Особенности детального геологического строения приповерхностной территории по данным метода георадиолокации: переслаивание слоев вулканического пепла разного состава с включениями крупнообломочного материала; аккумулятивные отложения; трещинные зоны; разрывные

нарушения. Эти особенности указывают на длительные процессы тектономагматической активности на этой территории и на явные признаки геолого-структурной локализации геотермального района. Однако это исследование приповерхностной части, но даже эти результаты указывают на важность проведения детального глубокого исследования.

Метод георадиолокации является важным методом для детального изучения территории и картирования геологических структур вулканических областей Камчатки. Однако исследования стоит проводить в комплексе и с георадаром с большей глубиной зондирования и низкой центральной частотой. Поскольку вулканические отложения имеют сложное геологическое строение, то интересно изучать всю толщу этих отложений, а также сам вулканический рельеф.

Список литературы

1. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., Usacheva O.O., Kiryukhin P.A. Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2018. P. 36–55.
2. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
3. Феофилактов С.О. Блоковая структура Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка): новая геолого-геофизическая модель: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Петропавловск-Камчатский, 2022. 15 с.
4. Поляков А.Ю. Анализ условий водного и газового питания Мутновского геотермального резервуара (Камчатка): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Петропавловск-Камчатский, 2018. 116 с.
5. Соколов К.О. Алгоритм обработки данных георадиолокации для выявления контуров деформационных геологических структур // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018. № 10. С. 138–144.
6. Прокофьев И.В., Марков М.А., Пуртов А.И., Шибалкова Л.В., Ющенко В.П. Влияние свойств грунта на дальность зондирования в геолокации // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019: 15 междунар. науч. конгр. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: сб. материалов междунар. науч. конф. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.)*. В 9 т. Новосибирск: Изд-во СГУГиТ, 2019. Т. 2. № 4. С. 237–245.
7. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Око-2. Раменское: ООО «Логические Системы», 2007. 93 с.
8. Алыков А.Н. Разработка алгоритма для обработки результатов георадиолокации с целью обнаружения объектов под землей // *Вестник науки и образования*. 2017. Т. 1, № 6 (30). С. 18–21.

УДК 556.561/.565
DOI 10.17513/use.38154

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОЛАНДШАФТОВ ВЕРХОВОГО БОРЕАЛЬНОГО БОЛОТА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Сеянина С.Б., Орлов А.С., Зубов И.Н.

*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова» Уральского отделения Российской академии наук,
Архангельск, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

Болота верхового типа занимают значительные территории на Европейском Севере и выполняют важную экологическую роль в устойчивом развитии региона, а их функционирование определяется совокупностью геохимических условий. Представлены данные по изменению физико-химических параметров: pH, общей минерализации, Eh₄ и содержанию растворенного вещества в болотных поровых водах по глубине залежи в безморозный период 2022 г. с учетом сезонных флуктуаций гидротермических условий. Исследования проводили на ненарушенных участках верхового болота на следующих специфических этапах развития: грядово-озерковый комплекс, граница грядово-озеркового и грядово-мочажинного комплекса, сформировавшийся грядово-мочажинный комплекс и формирующийся грядово-мочажинный комплекс. Полученные экспериментальные результаты позволяют говорить о наличии в залежах апробированных площадок контрастного окислительного режима и в целом единой вертикальной динамике физико-химических условий, определяемых в текущей работе. Наиболее статистически значимые отличия между исследуемыми участками зафиксированы по показателям pH и минерализации. Величина средних значений Eh₄, напротив, отличается незначительно, а выявленные сезонные колебания данного параметра обусловлены, по-видимому, вариациями гидрометеорологических условий в период измерения. Стадия генетического развития участка определяет и мощность аэрируемого слоя залежи, и интервал сезонных колебаний показателя Eh₄, при этом максимальные значения приурочены к находящемуся на заключительной стадии генетического развития верхового болота грядово-озерковому комплексу.

Ключевые слова: верховое бореальное болото, физико-химические параметры, pH, Eh, минерализация болотных вод, содержание растворенных веществ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках разработки темы фундаментальных исследований № 122011400386-6 «Особенности формирования и диагенеза органического вещества в условиях водно-болотных экосистем Арктической зоны Российской Федерации».

PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF A BOREAL BOG SITES AT DIFFERENT STAGES OF GENETIC DEVELOPMENT

Selyanina S.B., Orlov A.S., Zubov I.N.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

The bogs occupy large areas in the European North, and play an important ecological role in the sustainable region development. The functioning of such bogs is determined by a combination of geoclimatic conditions. The data on the change of physico-chemical parameters were obtained. The pH, the total mineralization, the Eh₄ and the dissolved matter content in pore bog waters according to the deposit depth and taking into account the hydrothermal conditions seasonal fluctuations were measured during the frostless period of 2022. The research was carried out on the undisturbed sections of the bog at the following stages of development: the hummock-pool complex, the hummock-pool and hummock-hollow complexes boundary, the formed hummock-hollow complex and the emerging hummock-hollow complex. The obtained experimental results suggest that there is a contrast oxidative regime in the study sites and a uniform vertical dynamics of the physico-chemical conditions. The most statistically significant differences between the study sites are recorded for pH value and total mineralization. In contrast, the mean values of Eh₄ values are not significantly different, and the seasonal variation of this parameter appears to be due to variations in hydrometeorological conditions during the measurement period. The stage of genetic development of the site determines both the thickness of the aerated layer of the deposit, and the interval of seasonal fluctuations of the Eh₄ value. At the same time, the maximum values are observed on the hummock-pool complex, which is at the final stage of genetic development of the raised boreal bog.

Keywords: boreal bog, physico-chemical parameters, the pH, the Eh, mineralization of bog waters, dissolved matter content

The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the development of fundamental research topic No. 122011400386-6 "Features of the formation and diagenesis of organic matter in the conditions of wetland ecosystems of the Arctic zone of the Russian Federation".

Болотные экосистемы занимают огромные площади (более 30% территорий Российской Арктики) и относятся к основным биоценозам Европейского Севера России. Верховые (омбротрофные) торфяники являются наиболее распространенным типом бореальных болот. Их доля составляет 70% от общей площади заболоченных территорий. Они вносят заметный вклад в стабильное существование и устойчивое развитие не только близлежащих природных комплексов, но и целых регионов.

С позиции системного подхода в геоэкологии болота представляют собой сложную, развивающуюся, саморегулирующуюся на высших стадиях развития экосистему с положительным балансом органического вещества и энергии [1]. Функционирование торфяной залежи, как неотъемлемой составляющей болотных экосистем, обусловлено совокупностью сложных химических и биохимических (в том числе окислительно-восстановительных) процессов, которые задают ритм торфообразования и во многом определяются гидротермическими условиями [1; 2]. Эти условия могут быть подвержены существенной пространственно-временной изменчивости даже в пределах одного болотного массива, что обуславливает возможные отличия физико-химических параметров участков, находящихся на разных стадиях морфогенетического развития. Это позволяет выдвинуть предположение о различиях в режиме их функционирования, особенности которого для верховых бореальных торфяников остаются недостаточно изученными. При этом наиболее сильные колебания характеристических физико-химических параметров гидроморфных почв, среди которых чаще всего выделяют рН, Eh, минерализацию и содержание растворенных в поровых болотных водах веществ [2–4], ожидаемо будут приурочены к верхней части залежи, наиболее подверженной внешним стрессовым воздействиям.

Цель исследования состоит в изучении физико-химических параметров микроландшафтов верхового бореального болота, находящихся на разных стадиях генетического развития, на примере Иласского болотного массива Архангельской области.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран Иласский болотный массив (ИБМ) в составе болотной системы Иласское боло-

то. Исследуемая система болотных массивов является характерным представителем южноприбеломорских олиготрофных болот с характерным сочетанием микроландшафтов, которые можно классифицировать как комплексные грядово-мочажинно-озерковые и комплексные грядово-озерковые с олиготрофным типом растительности на грядах и в мочажинах [5]. В пределах территории исследуемого болотного массива были выделены 4 тестовые площадки (рис. 1), приуроченные к его различным морфогенетическим частям: 1) ГОК (грядово-озерковый комплекс, 64°20'05,77" N, 40°36'31,43" E); 2) ГМОК (граница грядово-озеркового и грядово-мочажинного комплекса, 64°19'56,89" N, 40°36'33,75" E); 3) ГМК (сформировавшийся грядово-мочажинный комплекс, 64°19'43,42" N, 40°36'44,79" E); 4) К (формирующийся грядово-мочажинный комплекс, 64°19'32,48" N, 40°36'45,1" E).

Определение окислительно-восстановительных условий (ОВП) с послойной градиацией (0–10 см, 10–20 см и т.д.) по глубине проводилось в акротелме и верхней части катотелма (на глубину до 100 см) исследуемых торфяных залежей методом прямой потенциометрии [1; 3]. Оценку параметра осуществляли на универсальном анализаторе жидкостей ЭКС-ПЕРТ-001 (Эконикс, Россия) с применением разработанных авторами оригинальных щупов-измерителей на основе комбинированного платинового редоксметрического электрода ЭРП-105 для измерения ОВП в жидких и гетерогенных средах. Данный способ позволяет оценивать величину Eh непосредственно в залежи до глубины 1 м, без извлечения образцов торфа, что исключает влияние кислорода воздуха. Полевые определения рН проводили с использованием комбинированного электрода ЭСК-10603 в торфяной воде, отжатой из торфа, который извлекали с помощью пробоотборника для торфяных отложений из нержавеющей стали Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) с соответствующих (0–10, 10–20 см и т.д.) горизонтов залежи. Параллельно с измерением ОВП фиксировали температуру слоя торфяной залежи с использованием термощупа, изготовленного на основе металлического термодатчика ТДС-3. Погрешность измерения Eh и рН не превышает ±20 мВ и ±0,05 ед. рН соответственно. Все измерения проводили в трех повторностях.

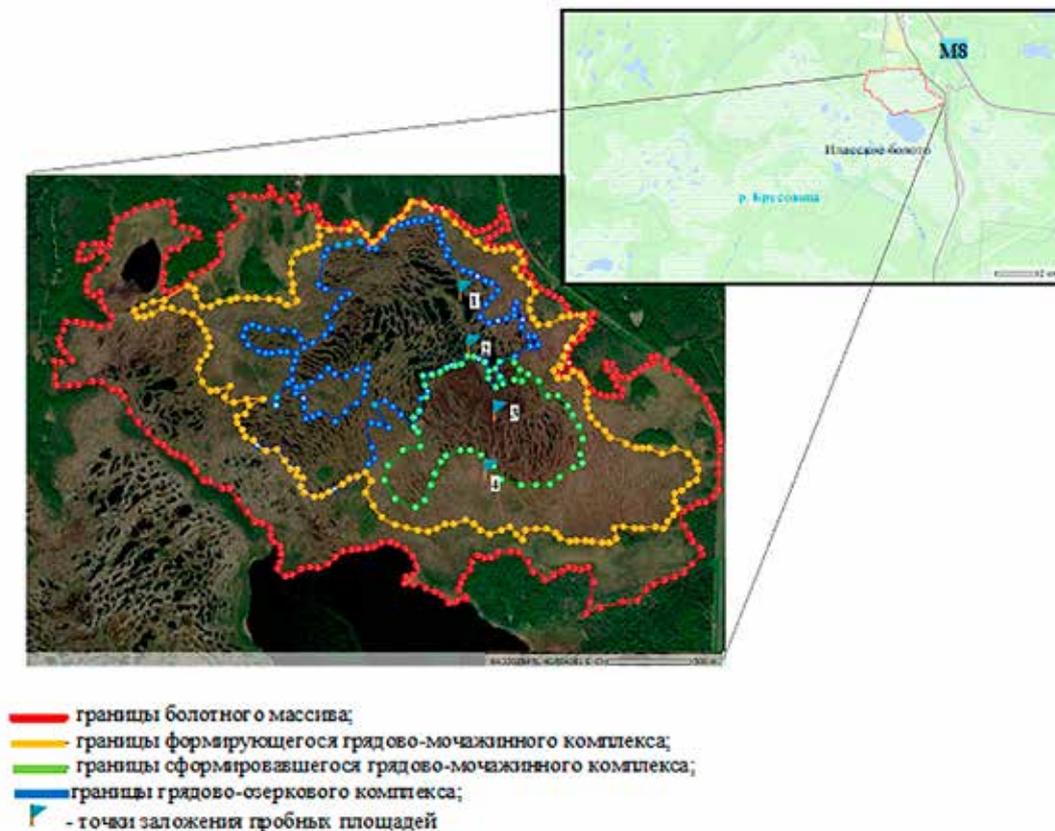


Рис. 1. Расположение морфогенетических частей Иласского болотного массива в составе болотной системы Иласское болото: 1 – пробная площадь на грядово-озерковом комплексе; 2 – пробная площадь на границе грядово-озеркового комплекса и грядово-мочажинного комплекса; 3 – пробная площадь на сформировавшемся грядово-мочажинном комплексе; 4 – пробная площадь на формирующемся грядово-мочажинном комплексе

Пересчет полученных результатов ОВП к стандартным условиям ($t = 25^{\circ}\text{C}$ и $pH = 4,0$) осуществляли по формуле [3]:

$$E_{н4} = (E + 197 - 0,76 * (t - 25)) + 56,2 * (pH - 4), \quad (1)$$

где E – измеренное значение ОВП, мВ;

197 – поправка на хлорсеребряный насыщенный полуэлектрод для приведения отсчета к нормальному водородному электроду при $t = 25^{\circ}\text{C}$, мВ;

t – температура торфа в момент измерения, $^{\circ}\text{C}$;

pH – измеренное значение pH;

0,76; 56,2 – коэффициенты пересчета согласно [3].

Определение общей минерализации болотных вод проводили кондуктометрическим методом с помощью универсального анализатора жидкостей АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Россия) и датчика ДКВ-1. Погрешность измерения не более $\pm 5\%$.

Оценку суммарного содержания минеральных и органических компонентов, рас-

творенных в поровой болотной воде, проводили гравиметрическим методом. Для этого свежееотжатую болотную воду центрифугировали на лабораторной центрифуге ЦЛн-16 (Xiangzhi Centrifuge, Китай) при 11000 об/мин в течение 5 мин, а затем отфильтровывали на мембранном фильтре 0,45 мкм для удаления взвешенных частиц. Аликвоты полученного фильтрата объемом 15 мл помещали в предварительно доведенные до постоянной массы при 105°C чашки Петри и высушивали при 105°C . Расчет содержания растворенных веществ (C_p , мг/л) проводили по формуле

$$C_p = (m_2 - m_1) / 0,015, \quad (2)$$

где m_1 – масса пустой абсолютно сухой чашки Петри, г;

m_2 – масса чашки Петри с аликвотой болотной воды после высушивания при 105°C , г;

0,015 – объем аликвоты болотной воды, л.

Погрешность определения содержания растворенных веществ не превышает $\pm 5\%$.

Уровень болотных вод в течение полевого сезона 2022 г. (безморозного периода) на участках исследования определяли в стационарных гидрологических колодцах ТДБС «Брусовица» Севгидромета.

Средние значения и величину стандартного отклонения рассчитывали в программе Microsoft Excel 2010. Достоверность различий между выборками устанавливали с использованием непараметрического критерия U Манна – Уитни на доверительном уровне $P = 95\%$, в программе SPSS Statistics 11 [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценку сезонной динамики физико-химических параметров торфяной залежи и поровой воды (рН, минерализация, окислительно-восстановительный потенциал, растворенные вещества) проводили в верхнем метровом слое ввиду того, что именно верхние части залежи наиболее чувствительны к внешним стрессовым воздействиям и формируются в настоящее время, а следовательно, соответствуют в каждом случае современному этапу болотообразовательного процесса [3].

В ходе исследований гидротермического режима выбранных участков болотного массива зафиксированы некоторые отличия в колебаниях уровня болотных вод и температурных режимах торфяной залежи. Значения УБВ варьируют в интервалах: на ГОК – от 0 до -23 см; на ГМОК – от 0 до -14 см; на ГМК – от 0 до -17 см и на К – от 0 до -7 см. Для торфяной залежи всех исследуемых участков характерен единый температурный тренд по глубине, выраженный в монотонном снижении от поверхности к катотелму. Отличия заключаются в максимальных значениях температуры прогрева залежи и амплитуде сезонных колебаний. Для ГОК они находятся в интервале от 5,0 до 21,1 °С, ГМОК – от 7,7 до 16,0 °С, ГМК – от 7,6 до 19,5 °С и К – от 7,7 до 19,5 °С.

Результаты определения физико-химических параметров в торфяных залежах исследуемых участков верхового бореального болота в безморозный период приведены в графическом виде на рис. 2–5.

По представленным на рис. 2 данным хорошо видно, что в торфяной залежи ГОК в период вегетации величины рН заметно варьируют. В мае и сентябре наблюдается постепенное снижение значений рН по глубине с 4,2–4,5 до 3,95. В период июльской межени значение рН по профилю залежи

заметно выше и меняется неравномерно. В первых 30 см наблюдается рост значений с 4,6 до максимума (4,9), затем на глубине 60–70 см происходит стабилизация значений на уровне 4,4–4,5 ед. рН.

Тенденции изменения общей минерализации поровой воды по профилю залежи единообразны во все сезоны. Наибольшие значения отмечены в верхней части поверхностного слоя (0–10 см), максимум наблюдается в мае (137 мг/л), а минимум – в сентябре (40 мг/л). На глубине 30 см значения минерализации снижаются до 19–28 мг/л и далее не меняются. Такое распределение закономерно для омбротрофного болота, питание которого происходит исключительно за счет атмосферных осадков.

Максимальные значения показателя E_{h4} (до 770 мВ) поровой воды наблюдаются во время летней межени. В весенний (май) и осенний (сентябрь) периоды значения E_{h4} существенно ниже и составляют соответственно 570 и 630 мВ. По глубине залежи значения E_{h4} снижаются и, начиная с горизонта 50–60 см, стабилизируются в диапазоне 20–60 мВ во все сезоны. При этом, несмотря на общую тенденцию к снижению величин показателя, в горизонте 10–20 см сезонные различия наиболее заметны. Разница значений E_{h4} июля и мая составляет 485 мВ, июля и сентября – 400 мВ, сентября и мая – 85 мВ. Выявленные тенденции логично интерпретировать следующим образом. Снижение уровня болотных вод в июле повышает степень аэрации залежи, что в совокупности с ее прогревом стимулирует активизацию микробиологических процессов и, соответственно, окисленность органического вещества.

Содержание растворенных веществ в поровой воде этой пробной площади изменяется в интервале от 0,29 до 0,88 г/л. Изменения по глубине залежи во все сезоны однотипны, причем максимальные значения наблюдаются у поверхности и в нижней части изученных профилей.

Результаты обследования ГМОК приведены на рис. 3. На данной пробной площади при измерении физико-химических показателей выявлены следующие тенденции. Значения рН варьируют в диапазоне от 4,9 до 4,3 в июле, а в сентябре в более узких пределах, чем на рассмотренном выше участке ГОК, – от 4,1 до 4,4. Вид профилей рН по глубине также заметно отличается. В частности, ниже зоны акротелма наблюдается незначительный рост значений рН по глубине залежи до 4,4–4,5.

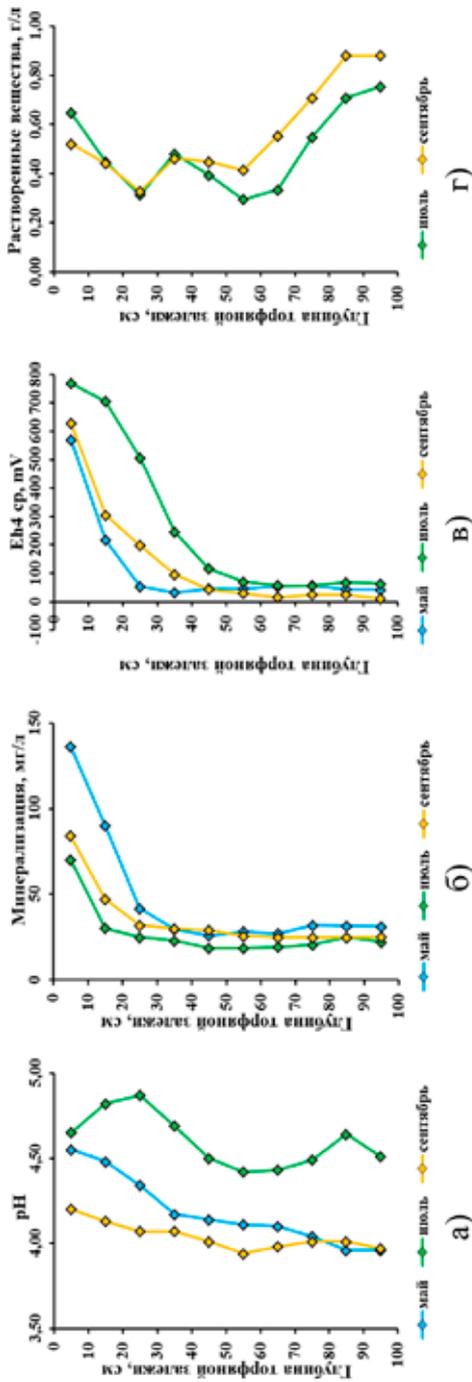


Рис. 2. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГОК: а) pH; б) минерализация; в) Eh4 и г) содержание растворенных веществ

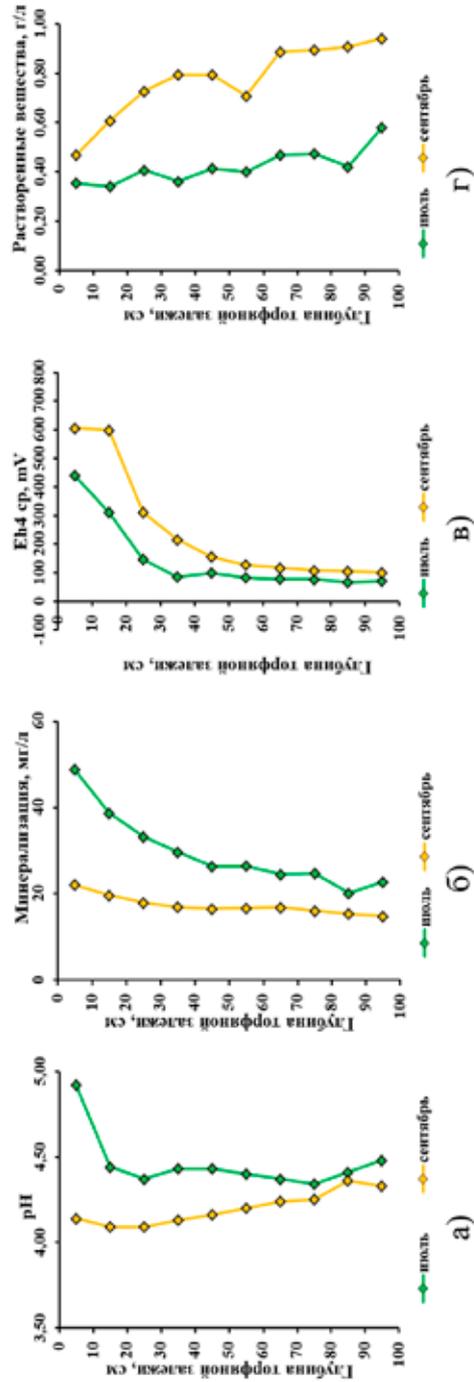


Рис. 3. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГМОК: а) pH; б) минерализация; в) Eh4 и г) содержание растворенных веществ

Кроме того, в период летней межени происходит существенное раскисление водной фазы в верхнем слое залежи (0–10 см), тогда как на ГОК такие величины рН выявлены на глубине 20–30 см.

Изменения показателя минерализации поровой воды по профилю залежи, несмотря на тенденцию к снижению значений данного параметра с глубиной, как и на рассмотренном выше участке ГОК, имеют существенные отличия. Значения на исследуемой пробной площади варьируют в значительно более узком диапазоне от 20 до 49 мг/л (в июле) и от 15 до 22 мг/л (в сентябре). Наибольшие значения показателя свойственны, как и в предыдущем случае, верхнему (поверхностному) горизонту (0–10 см), а ниже глубины 40 см происходит стабилизация минерализации на уровне 15–16 мг/л (сентябрь) и 22–25 мг/л (июль).

Показатель E_{h4} торфяной залежи ГМОК также изменяется в более узком диапазоне, чем на участке ГОК, при более низких значениях верхнего предела и более высоких – верхнего. Вместе с тем общий вид профилей E_{h4} участков аналогичен рассмотренным выше. Максимальные значения выявлены в верхнем слое акротелма. Абсолютный максимум приходится на июль и составляет 605 мВ. В акротелме величина показателя E_{h4} по глубине залежи снижается, а ниже глубины 40 см достигает минимальных значений и практически не меняется (в июле 60–80 мВ, в сентябре 100–120 мВ).

Содержание растворенных веществ в поровой воде на данной пробной площади изменяется в интервале от 0,35 до 0,48 г/л в июле и от 0,47 до 0,95 г/л в сентябре. Минимальные значения приходятся на поверхностный слой, по глубине залежи происходит рост содержания растворенных соединений, достигая максимума на нижнем исследованном горизонте – 90–100 см.

Данные, полученные в ходе исследований на пробной площади ГМК, приведены на рис. 4. Профили изменения исследуемых параметров имеют как сходство, так и отличия от выявленных на рассмотренных выше площадках. Значения рН варьируют примерно в тех же пределах, что и в первом случае (май от 3,9 до 4,3, июль от 4,1 до 4,8, сентябрь от 3,7 до 4,1). При этом во все сезоны профили рН демонстрируют характерный максимум в поверхностном слое (0–10 см), ниже которого в последующих 10–20 см происходит довольно резкое снижение значений. Максимальный спад приходится на июль и составляет порядка

0,7 единиц рН, а в остальные сезоны – около 0,4 единиц рН. В дальнейшем значения показателя вновь повышаются с глубиной на 0,3–0,4 единицы рН. Абсолютный максимум наблюдается в мае у поверхности залежи (4,8), а минимум – в сентябре на горизонте 10–20 см (3,7).

Тенденции в изменении минерализации поровой воды по глубине залежи летом аналогичны выявленным на ГОК, а осенью и весной – на ГМОК. На ГМК они варьируют в диапазоне от 21 до 30 мг/л в начале вегетационного периода (май), от 18 до 72 мг/л в летнюю межень (июль) и от 20 до 42 мг/л в конце вегетации (сентябрь). Сезонные максимумы, так же как и на предыдущих площадках, выявлены в приповерхностном горизонте (0–10 см). Абсолютный максимум на участке приходится на июль – 72 мг/л. Существенные различия между сезонными замерами характерны лишь для зоны акротелма (0–30 см), при переходе в катотелм происходит снижение минерализации болотных поровых вод до стабильных значений (19–28 мг/л) во все исследованные периоды.

Тренд показателя E_{h4} по глубине залежи имеет такой же вид, как и на других пробных площадках. Диапазон изменения E_{h4} в мае – от 32 до 464 мВ, в июле – от 69 до 611 мВ, в сентябре – от 43 до 531 мВ. Максимальные значения выявлены в верхних слоях акротелма. Они стабилизируются в катотелме (ниже 30 см) на уровне 32–55 мВ в мае, 69–110 мВ в июле, 43–160 мВ в сентябре. Стоит отметить, что сезонные колебания показателя E_{h4} на ГМК менее выражены по сравнению с другими обследованными пробными площадками.

Содержание в поровой воде растворенных веществ колеблется в интервале от 0,21 до 0,59 г/л в мае, от 0,22 до 0,74 г/л в июле и от 0,15 до 0,41 г/л в сентябре. Профили изменения по глубине залежи сходны для всех сезонов обследования. Минимальные значения (0,15–0,22 г/л) определены в поровой воде на глубинах 60–70 см. При этом амплитуда колебаний величины параметра на разных горизонтах достигает 0,40 г/л.

Торфяная залежь на пробной площадке К имеет минимальную из всех изученных участков мощность и отличается наименьшей амплитудой колебаний УБВ. Профили физико-химических параметров торфяника приведены на рис. 5. Значения рН в различные сезоны варьируют в близком диапазоне от 4,5–4,9 в верхнем 10-сантиметровом слое до 3,8–3,9 на глубине.

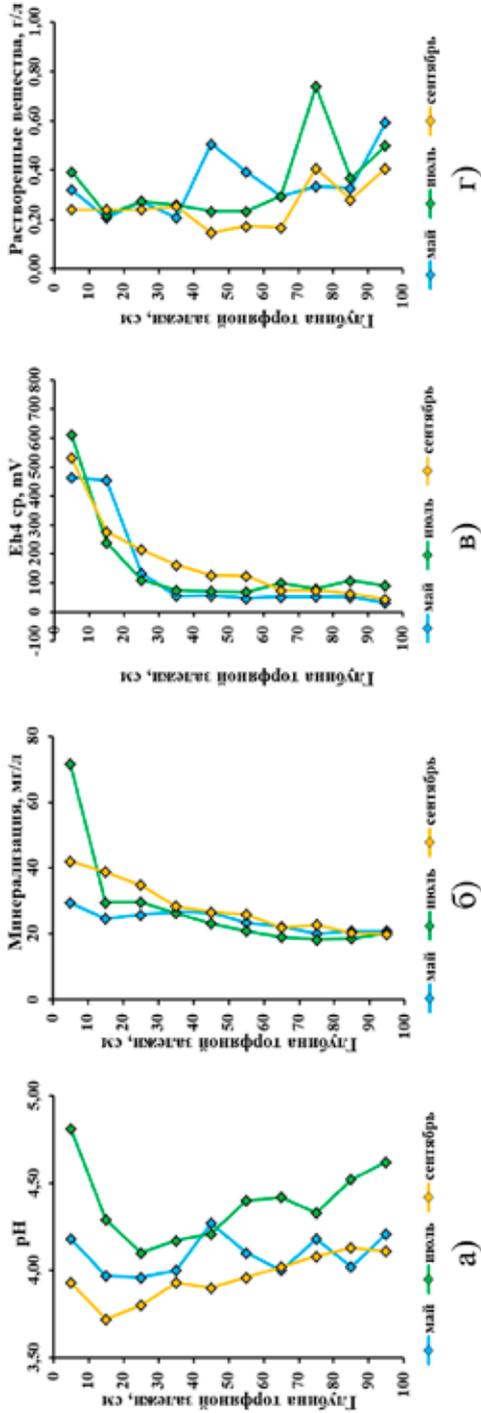


Рис. 4. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГМК: а) рН; б) минерализация; в) Еh₄ и г) содержание растворенных веществ

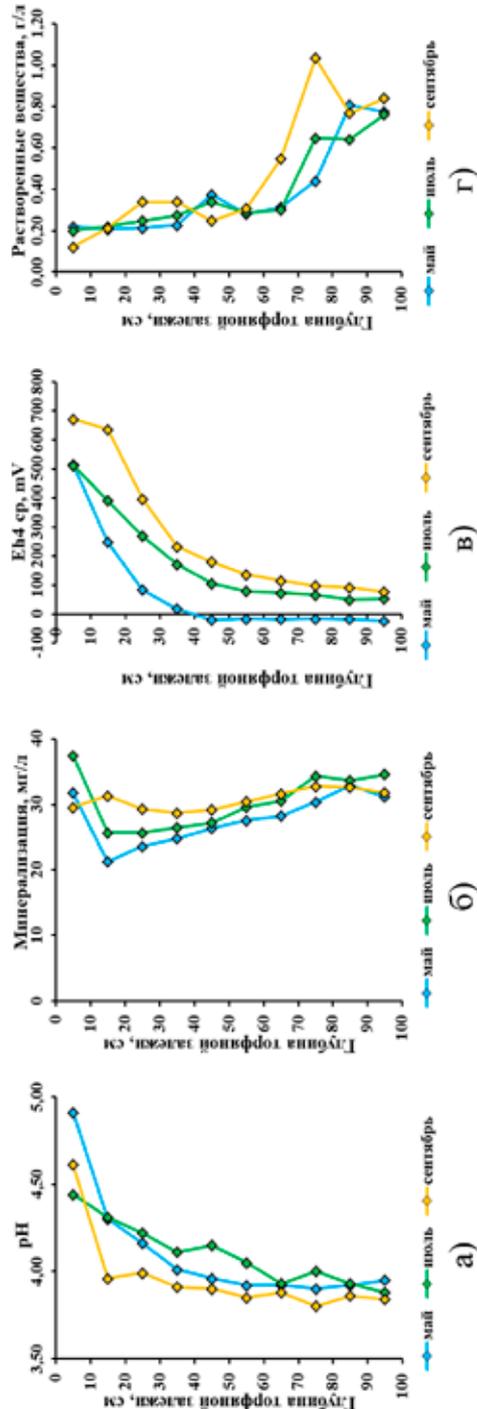


Рис. 5. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка К: а) рН; б) минерализация; в) Еh₄ и г) содержание растворенных веществ

Результаты U-теста Манна – Уитни для исследуемых площадок
по выбранным физико-химическим параметрам (по среднесезонным значениям)

Площадки		Параметры			
		pH	Минерализация	E _h ₄	Растворенные вещества
Урасч.*	ГОК/ГМОК	33,5	18	31	35
	ГОК/ГМК	24	31	35	13
	ГОК/К	14	34,5	46,5	27
	ГМОК/ГМК	13	40,5	28,5	4
	ГМОК/К	10	14,5	34	28
	ГМК/К	23	24	42	40,5
Укрит. (p ≤ 0,05)		27	27	27	27

Примечание. * – Отличия статистически значимы если Урасч. < Укрит.

В более обводненные периоды (май и сентябрь) раскисление в поверхностном слое более заметно и профили pH имеют вид, аналогичный профилям pH ГМК, – резкое снижение pH в зоне акротелма (до 10–30 см) с последующей стабилизацией на уровне 3,8–4,0. В период летней межени понижение pH с глубиной залегания происходит более плавно.

Значения минерализации болотных вод на участке К варьируют в достаточно узком диапазоне от 21–29 до 33–39 мкСм/см в сентябре. Заметные колебания параметра выявлены только в поверхностном горизонте (до глубины 10–20 см), после чего минерализация с глубиной плавно повышается до 29–33 мкСм/см.

Показатель E_{h4} меняется с глубиной залежи в диапазоне от -24 до 515 мВ в мае, от 48 до 511 мВ в июле и от 75 до 671 мВ в сентябре. Профили E_{h4} по глубине залежи аналогичны рассмотренным выше, но с более четкой сезонной градацией. Вместе с тем это единственный участок, где на исследованных глубинах наблюдаются отрицательные значения показателя E_{h4}. Данный факт свидетельствует о сильно восстановительных условиях на глубине залежи ниже 40 см. Известно, что это может способствовать протеканию процессов образования и эмиссии парниковых газов, в частности метана.

Содержание растворенных веществ в поровой воде на данной пробной площади изменяется в интервале от 0,22 до 0,81 г/л весной (май), от 0,20 до 0,76 г/л в летнюю межень (июль) и от 0,12 до 1,03 г/л осенью (сентябрь). Изменения по глубине залежи однотипны и демонстрируют значительный (4–5-кратный) рост содержания растворенных веществ в нижних горизонтах.

Для оценки статистической значимости отличий исследованных участков верхового болота на разных стадиях генетического развития по выбранному спектру физико-химических параметров использовали непараметрический U-тест Манна – Уитни [6], результаты которого представлены в таблице.

Сопоставление параметров Урасч. и Укрит. (p ≤ 0,05) позволяет сказать, что наиболее значимые отличия зафиксированы по параметру pH и приурочены к площадкам ГОК/К, ГМОК/ГМК и ГМОК/К. Для площадок ГОК/ГМК и ГМК/К отличия выражены слабо, а для ГОК/ГМОК разница по показателю pH не является статистически значимой. Значимые отличия по среднесезонным значениям параметра минерализации болотных вод выявлены для площадок ГОК/ГМОК, ГМОК/К и в меньшей степени для ГМК/К, а по содержанию растворенных веществ для ГОК/ГМК и ГМОК/ГМК. При этом следует отметить отсутствие статистически значимых отличий для всех выбранных площадок по средним значениям показателя E_{h4}, а выявленные вариации данного параметра на разных участках болотного массива обусловлены преимущественно разницей его сезонной динамики.

Заключение

Для всех изученных в работе площадок характерен контрастный окислительно-восстановительный режим, который характеризуется снижением параметра E_{h4} с глубиной залегания, причем наиболее выраженное уменьшение данного параметра ограничивается глубиной 30–45 см, что соответствует деятельному слою залежи. Несмотря на некоторые отличия в гидро-

термическом режиме, для исследованных участков, находящихся на разных стадиях генетического развития, не выявлено ожидаемых статистически значимых отличий по среднесезонным значениям Eh_4 , а выявленные сезонные флуктуации обусловлены вариациями гидрометеорологических условий в период измерения. В целом для изученных торфяных профилей характерна схожая вертикальная динамика по каждому физико-химическому параметру из выбранного спектра. При этом наиболее значимые отличия обнаруживаются по показателю pH.

Таким образом, стадия генетического развития не нарушенного верхового болота определяет мощность аэрируемого слоя (акротелма), а также величину сезонных колебаний показателя Eh_4 . Максимальные значения характерны для находящегося на заключительной стадии генетического

развития верхового болота, грядово-озеркового комплекса (ГОК).

Список литературы

1. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев. А.А. Физика и химия торфа. М.: Недра, 1989. 304 с.
2. Tokarz E., Urban D. Soil redox potential and its impact on microorganisms and plants of wetlands // *Journal of Ecological Engineering*. 2015. Vol. 16, Is. 3. P. 20–30. DOI: 10.12911/22998993/2801.
3. 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. 28. Art. 05. P. 1–16. DOI: 10.19189/MaP.2020.GDC.StA.1987.
4. Husson O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy // *Plant Soil*. 2013. Vol. 362. P. 389–417. DOI: 10.1007/s11104-012-1429-7.
5. Иванов К.Е. Водобмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 279 с.
6. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016. 125 с.

УДК [551.2+551.73+552.32]:552.11:550.4:550.93
DOI 10.17513/use.38155

ПЛЮМОВАЯ ПРИРОДА И КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ БАЗИТОВ ЭМСА – ЭЙФЕЛЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ

Семиряков А.С., Гринев О.М., Бестемьянова К.В.,
Гринев Р.О., Морозова Е.Н., Адылбаев Р.Р.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск,
e-mail: alexey.semiryakov@mail.ru, tomskgrom@yandex.ru, ksenijavt@mail.ru,
jadestone@yandex.ru, Morozova-KatR97@yandex.ru, ruslan_ggf@mail.ru

В работе представлены результаты последних геохимических и изотопных исследований базитового магматизма северо-востока Рудного Алтая на примере оливиновых пироксенитов и габброидов I фазы алейского комплекса (эмс) массива «Мохнатые сопки», базальтов мельничной свиты (эмс-эйфель) и субвулканических долеритов (эйфель) Змеиногорского прогиба. По результатам Nd-Sr изотопных исследований установлена плюмово-мантийная природа базитового магматизма со следами взаимодействия с корово-литосферным веществом. Единым протолитом для эффузивов и интрузивов определяется шпинельный лерцолит. Долериты депрессионных зон сохраняют мантийную изотопную последовательность с близостью к источнику PREMA за счет сохранения связи подводящих каналов с мантийными глубинами, а габброиды Алейского гранитно-метаморфического купола контаминированы в большей степени за счет ассимиляции пород рамы. Выплавка преобладающих в объемном отношении магм кислого состава возможна при разрыве связи головной части плюма с мантийным веществом с формированием промежуточных магматических камер, продуцирующих риолитовую и гранитную магмы. По ряду современных геохимических дискриминационных диаграмм устанавливается влияние источников N-MORB для оливиновых пироксенитов, E-MORB и IAB для габброидов, базальтов и долеритов. Предположено объяснение наличия геохимических признаков обстановки IAB вследствие переработки вещества каледонского зеленосланцевого фундамента, сформированного в островодужный этап развития АССО.

Ключевые слова: Центрально-Азиатский складчатый пояс, Рудный Алтай, Змеиногорск, девон, плюмовый магматизм, Nd-Sr, U-Pb, LA-ICP-MS

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-35-90036; в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ № 0721-2020-0041; с использованием оборудования Томского регионального Центра коллективного пользования в рамках гранта РФ № 075-15-2021-693.

PLUME COMPONENT AND GEOCHEMICAL CONVERGENCE FEATURES OF EMSIAN-EIFELIAN MAFIC ROCKS OF THE NORTHEASTERN RUDNY ALTAI

Semiryakov A.S., Grinev O.M., Bestemyanova K.V.,
Grinev R.O., Morozova E.N., Adylbaev R.R.

National Research Tomsk State University, Tomsk,
e-mail: alexey.semiryakov@mail.ru, tomskgrom@yandex.ru, ksenijavt@mail.ru,
jadestone@yandex.ru, Morozova-KatR97@yandex.ru, ruslan_ggf@mail.ru

The paper presents the results of the latest geochemical and isotopic studies of mafic magmatism in the northeast of Rudny Altai using the example of gabbroids and olivine pyroxenites of the first phase of the Alesky complex (Emsian) of the Mokhnatye Sopki massif, basalts of the mel'nichnaya formation (Emsian-Eifelian) and subvolcanic dolerites (Eifelian) of the Zmeinogorsk trough. Based on the results of Nd-Sr isotope studies, the plume-mantle nature of mafic magmatism with traces of interaction with crust-lithospheric material was established. The general protolith for effusive and intrusive rocks is spinel lherzolite. Dolerites of depression zones preserve the mantle isotopic sequence and there are affinity to the PREMA source due to the preservation of the connection of supply channels with mantle depths. The gabbroids of the Alesky granite-metamorphic dome were contaminated due to large-volume assimilation of host rocks. The smelting of dominant felsic magmas is possible when the connection between the plume head and the mantle material is broken, with the formation of intermediate magma chambers producing rhyolite and granite magmas. Based on a modern geochemical discrimination diagrams, the influence of N-MORB sources for olivine pyroxenites, E-MORB and IAB for gabbroids, basalts and dolerites is established. Presence of geochemical signs of the IAB due to the processing of the material of the Caledonian greenschist basement, formed during the island arc stage of the Altai-Sayan region formation.

Keywords: Central Asian fold belt, Rudny Altai, Zmeinogorsk, Devonian, Plume Magmatism, Nd-Sr, U-Pb, LA-ICP-MS

The study was carried out with financial support from the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20-35-90036; within the framework of the State assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 0721-2020-0041; using the equipment of the Tomsk Regional Center for Collective Use within the framework of the Russian Federation grant No. 075-15-2021-693.

Рудный Алтай, заключенный между Алтае-Саянской плюм-рифтогенной системой и поясом герцинских складчатых областей (Центрально-Западно-Сибирская, Обь-Зайсанская и Южно-Монгольская), имеет сложную историю формирования и ряд дискуссионных вопросов, касающихся обстановок его формирования и источников магматического и рудного вещества. В период его активного освоения и изучения в советское время разрабатывались крупнейшие барит- и колчеданно-полиметаллические месторождения, проводились детальные поиски на всей территории главных рудных районов (Змеиногорский, Рубцовский, Лениногорский и др.). Однако, несмотря на столь широкий охват, быстрое развитие аналитических методов дает возможность существенного уточнения некоторых важных элементов для понимания и осмысления истории развития региона.

В структурно-тектоническом отношении в пределах севера-востока Рудно-Алтайского мегапрогиба выделяются два типа морфоструктурных единиц. Первая – отрицательная – прибортовая депрессионная зона, приуроченная к Северо-Восточной зоне смятия, в состав которой входит Змеиногорский прогиб. Последний в эмс-эйфельское время стадийно заполнялся прибрежно-морскими терригенными и карбонатными отложениями с прослоями вулканогенного материала: эксплозивными отложениями кислого состава, лавами риолитов, риодацитов и резко подчиненными в количественном отношении лавами базальтов. Второй тип региональной морфоструктуры – положительный – Алейский гранитно-метаморфический купол (ГМК), сформированный интрузивными образованиями алейского (D_1a), змеиногорского ($D_{2,3z}$), устьянского (D_3u) и постдевонских комплексов. ГМК сложен в подавляющем объеме плагиогранитами, гранитами и лейкогранитами с локально проявленными штокавыми телами габброидов – преимущественно I фазы алейского и змеиногорского комплексов. По периферии Алейского ГМК и реже в центральной части выходят на дневную поверхность раннепалеозойские метаморфогенно-осадочные отложения корбалихинской толщи, формирующие каледонский фундамент северной части Рудного Алтая.

Базитовая составляющая вулканогенно-терригенных разрезов и интрузивных массивов, максимально связанная с исходным магматическим очагом, дают возможность

геохимически и изотопно-геохимически определить их природу на современном уровне понимания.

Целью является изотопно-геохимическая аттестация эффузивных и интрузивных базитовых образований северо-восточной части Рудного Алтая для установления природы и эволюции магматической системы в ранне- и (частично) среднедевонский этапы.

Материалы и методы исследования

В работе используется материал, собранный авторами в полевые сезоны 2011–2022 гг., а также керновый материал, представленный Рудно-Алтайской экспедицией.

Определения петро- и геохимического состава пород методами ICP-AES (iCAP7400Duo / Thermo Fisher Scientific) и ICP-MS (Agilent 7500 / Agilent Technologies), а также качественное определение минеральных фаз пород на РЭМ с применением PCMA (Tescan VEGA II LMU / INCA Energy 350) выполнены на оборудовании Томского регионального центра коллективного пользования НИ ТГУ. Центр поддержан Грантом Минобрнауки РФ № 075-15-2021-693 (№ 13.ЦКП.21.0012).

Изотопный анализ циркона проводился в лаборатории геохронологии и геодинамики ТГУ методом лазерной абляции и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA-Q-ICP-MS) с использованием системы лазерной абляции Analyte Excite (Teledyne Photon Machines) с эксимерным лазером (193 нм) и квадрупольного масс-спектрометра Agilent 7900. Диаметр лазерного пучка – 25, 35 и 50 мкм. Частота импульсов – 8 Гц, плотность полотка энергии – 3 Дж/см². Время анализа – 30 с, время измерения фона – 20 с. Используемые международные стандарты цирконов – Temora II, Plešovice и 91500. Для определения средневзвешенного конкордантного возраста цирконов использовались изотопные отношения $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Определения источника вещества проводились Sm-Nd (Finnigan MAT-262 RPQ) и Rb-Sr (МИ-1201) изотопными исследованиями в Центре коллективного пользования ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты.

1. Геолого-петрографическая характеристика

Согласно принятой геологической основе [1, 2], в северо-восточной части Рудно-Алтайского мегапрогиба базитовые породы эмс-эйфеля развиты в составе двух интрузив-

ных комплексов: (1) алейского габбро-плаггиогранитного и (2) змеиного габбро-плаггиогранит-лейкогранитового комплексов,

а также в составе стратиграфического разреза мельничной свиты (D_1mn) и мельнично-сосновского субвулканического комплекса.



Рис. 1. Основные разновидности базитовых пород Змеиного рудного района: А – оливиновый пироксенит (D,a), В – мелкозернистое габбро (D,a), С – среднезернистое мезократовое габбро (D,a), D – порфировый интергранулярный базальт (D,mn), E – мелкозернистый долерит (D,ms): Amp – амфибол, Cpx1 – вкрапленник клинопироксена, Cpx2 – клинопироксен основной массы, Ep – эпидот, Pl – ильменит, LB – лавобрекчия, Mag – магнетит, Ol – оливин, Pl1 – вкрапленники плагиоклаза, Pl2 – плагиоклаз основной массы, Pl* – метаплагиоклаз, Srp – серпентин. Николи: + – скрещены, || – параллельны

Базиты алейского комплекса (D_1a_1) развиты ограниченно и представлены останцами в гранитоидном батолите Алейского ГМК, в частности в составе массива «Мохнатые сопки». Тело формирует шток размером 2×4 км и представлено несколькими фазами внедрения и контактово-измененными разностями. Оливиновые пироксениты развиты в западной части штока и раскристаллизованы до средне-крупнозернистой размерности. В их состав входят: железисто-магнезиальный оливин; клинопироксен, занимающий промежуточное положение между геденбергитом и диопсидом; в неизмененных разностях встречается ортопироксен близкий к энстатиту, вторичные эпидот и серпентин (рис. 1, А). Пироксениты частично амфиболизированы с развитием вторичной идиоморфной роговой обманки.

Центральную часть штока слагают мелкозернистое порфировидное габбро, вкрапленники которого представлены плагиоклазом (до 1 мм) и клинопироксеном (до 2 мм по удлинению), а в основной массе развиты плагиоклаз № 53–70, клинопироксен (диопсид – геденбергит), рудные ильменит и магнетит (рис. 1, В). Эндоконтактовая фация габбро имеет мезократовую окраску, в ее состав входят преобразованный вторичными изменениями (сосюритизация, серицитизация) плагиоклаз, клинопироксен близкий к авгиту, амфибол, близкий к роговой обманке (рис. 1, С). Из рудных минералов методом РСМА установлены: ильменит, хромшпинелиды; из аксессуарных – фторпатит, перовскит.

Базиты Змеиногорского прогиба представлены эмс-эйфельскими базальтами мельничной свиты, вскрытые бурением Рудно-Алтайской экспедиции. Эмский возраст определен по остаткам флоры и фауны (брахиоподы, конодонты, кораллы) во вмещающих отложениях. Базальты представляют собой мезократовую порфировую породу с мелкозернистой основной массой (рис. 1, D). Вкрапленники сложены метаплагиоклазом (до 3 мм) и геденбергитом (до 0.4 мм). В основной массе развиты плагиоклаз № 40–55, диопсид, магнетит. Также в Змеиногорском прогибе отмечаются небольшие штоковые и дайковые тела долеритов, геохронологически и геохимически близкие эмским базальтам, вследствие чего они были отнесены к мельнично-сосновскому субвулканическому комплексу. Долериты сложены основным плагиоклазом (№ 60–72), клинопироксеном, по составу близким к геденбергиту и магнетитом (рис. 1, E).

2. Петро- и геохимическая дискриминация

Петрохимически рассматриваемые интрузивные породы массива «Мохнатые сопки» относятся к габбро-перидотитам, оливиновым пироксенитам, габбро-пироксенитам и габбро, а вулканические и субвулканические породы Змеиногорского прогиба представляют собой долериты, базальты, андезибазальты и трахиандезибазальты (рис. 2, А). По характеру распределения микроэлементов (рис. 2, В) все рассматриваемые магматиты имеют схожие черты с реперными спектрами базальтов островных дуг (IAB) и базальтами E-MORB. Уровень содержания микроэлементов у базальтов и габброидов в целом одинаковый, пироксениты обеднены относительно габбро на полпорядка, а эйфельский долерит на полпорядка обогащен микроэлементами. Резкий пик Ba у долерита объясняется его внедрением в пределах рудного поля барит-полиметаллического Змеиногорского месторождения.

Магматиты обнаруживают геохимические черты сразу нескольких геодинамических обстановок: на диаграмме Ta/Yb – Th/Yt (рис. 2, С) [3] фигуративные точки вулканистов, вулканисты ложатся преимущественно в поле активной континентальной окраины (ACM), а интрузивы равно попадают в поля ACM и внутриплитных вулканических зон (WPVZ).

На диаграмме La/Lu – Gd/Yb (рис. 2, D) [4] поле интрузивных и эффузивных пород тяготеет исключительно к реперу MORB, при этом малая часть базальтов эмса вытягивается к реперу IAB. По расположению точек можно говорить о высокой степени плавления вещества и об относительно небольшой глубине плавления, что, по-видимому, обуславливается воздействием аномально-го тепла плюма на верхние слои литосферы. На тройной диаграмме Y/15 – La/10 – Nb/8 (рис. 2, E) [5] вулканисты занимают поля континентальных толеитов, кальциево-щелочных базальтов и частично заходят в поле E-MORB. Габбро и пироксениты в свою очередь располагаются в полях кальциево-щелочных базальтов, толитовых островных дуг и задуговых бассейнов. На диаграмме Ce/Nb – Th/Nb (рис. 2, F) [6] базиты не дискриминируются между собой и расположены на равном удалении от реперов компонента зоны субдукции (SDC) и валового состава континентальной коры (BCC). Долерит эйфеля обособляется от всей группы точек и попадает под влияние полей OIB и E-MORB, однако с учетом других дискриминационных главенствующую роль здесь играет именно E-MORB.

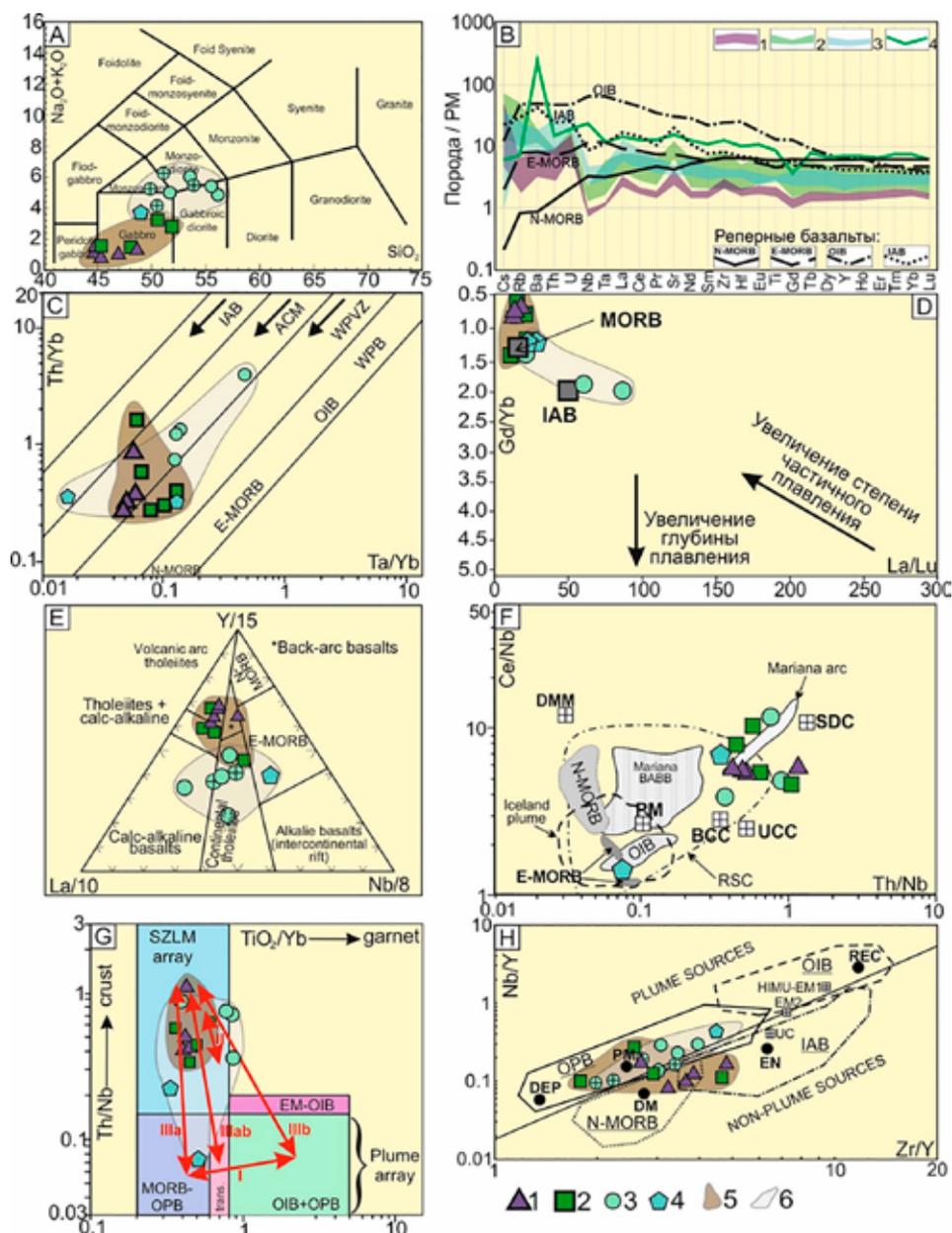


Рис. 2. Петро- и геохимическая аттестация и геодинамические обстановки формирования базитов Змеиногорского рудного района: А – TAS-диаграмма; В – спектры распределения микроэлементов; С – диаграмма Ta/Yb – Th/Yt по [3]; D – диаграмма La/Lu – Gd/Yb [4]; E – диаграмма Y/15 – La/10 – Nb/8 [5]; F – диаграмма Ce/Nb – Th/Nb [6]; G – Th/Nb – TiO₂/Yb [7]; H – диаграмма Nb/Y – Zr/Y [8]. Фигуративные точки: 1–2 – алейский комплекс: 1 – габбро, 2 – пироксениты; 3 – базальты мельничной свиты (⊕ – по данным [9]), 4 – долериты мельнично-сосновского комплекса; 5 – поля интрузивов; 6 – поля вулканитов

На диаграмме Th/Nb – TiO₂/Yb (рис. 2, G) [7] точки попадают преимущественно в поле метасоматизированной литосферы (SZLM) при частичном тяготении долеритов прогиба к полю базальтов океанического плато (MORB-OPB). По классификации [7] данные тренды укладываются во II и IIIa типы, обусловленные взаимодействием плюмового и литосферного вещества.

На диаграмме Nb/Y – Zr/Y (рис. 2, H) [8] напротив преобладают мантийные источники вещества: вулканиты Змеиногорского прогиба целиком попадают в поле базальтов океанического плато (OPB), в то время как интрузивные породы массива «Мохнатые сопки» распространяются в полях OPB, N-MORB и в поле базальтов островных дуг (IAB).

3. Источники вещества

На диаграмме La/Yb – Zr/Nb (рис. 3, А) [10] фигуративные точки выстраиваются вдоль линии мантийной последовательности, при этом непосредственно соприкасаются с ней лишь часть точек, находясь в близости к реперу E-MORB. Точки пироксенитов расположены вне области MOBR, при этом приближены к реперу нормальных базальтов COX (N-MORB).

На диаграмме в осях $\epsilon Nd(t)$ – $\epsilon Sr(t)$ (рис. 3, В) долериты Змеиногорского прогиба расположены в поле мантийной последовательности, при этом тяготеют к реперу PREMA. Его резко положительное значение $\epsilon Nd(t)$ говорит о происхождении долерита из остаточных твердых фаз резервуара, после удаления из него магмы в более ранний момент, вероятно в процессе многочисленных извержений в эмском веке. Точки

плутонических пород обладают повышенным отношением $^{87}Sr/^{86}Sr$ и укладываются в тренд контаминационной природы, что обуславливается характером взаимодействия интрузивных тел с вмещающими породами.

Обогащение радиогенным ^{87}Sr магм вполне ожидаемо в свете их контаминации флишоидных толщ континентального склона, где помимо выносимого терригенного материала присутствует карбонатное вещество. Причем процесс контаминации магм мог осуществляться как крупнообъемной ассимиляцией, так и путем миграции несовместимых LILE элементов в виде концентрированных растворов. Это подтверждает и формирование барит-полиметаллических месторождений и непосредственно баритовых рудных тел, приуроченных к риолитовым куполам [11, 12].

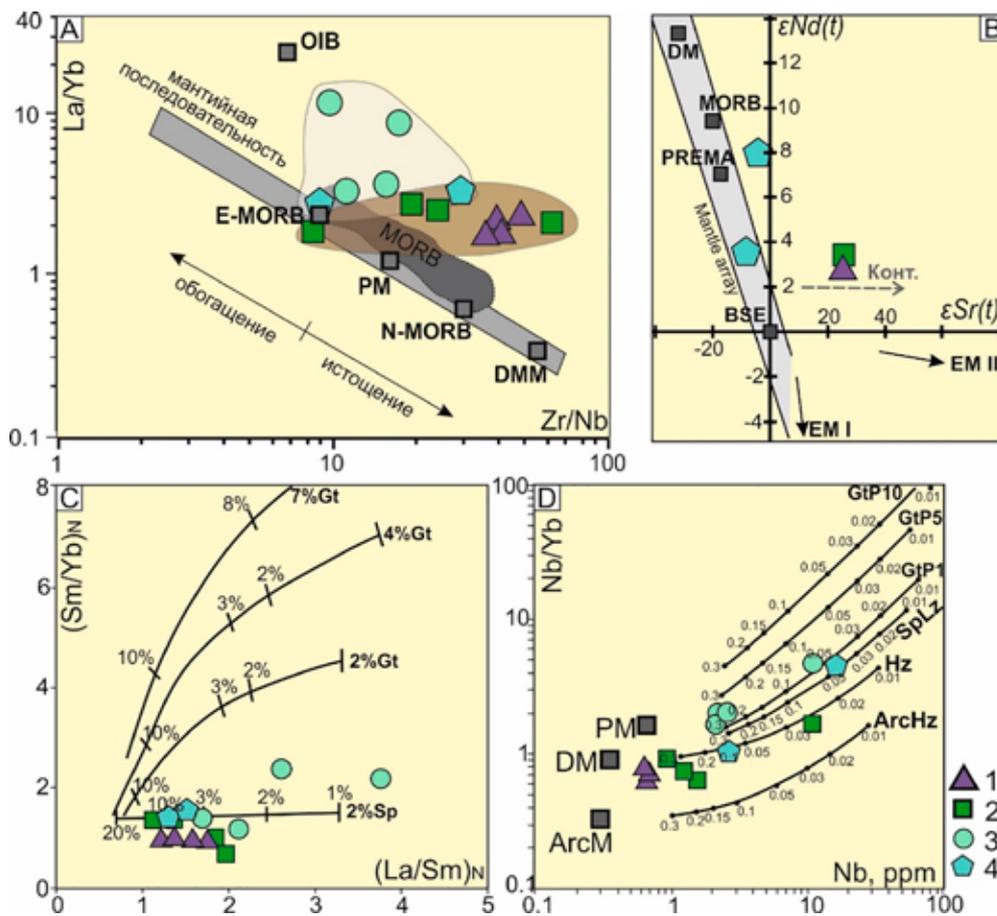


Рис. 3. Геохимические и изотопно-геохимические характеристики плюмово-мантийного компонента: А – диаграмма La/Yb – Zr/Nb [10]; В – диаграмма источников в осях $\epsilon Nd(t)$ – $\epsilon Sr(t)$; С – диаграмма $(Sm/Yb)_N$ – $(La/Sm)_N$ [13] с нормированными на хондрит (по Sun, McDonough, 1989) содержанием PЗЭ; D – диаграмма Nb – Nb/Yb [14]. Фигуративные точки: 1–2 – алейский комплекс: 1 – габбро, 2 – пироксениты; 3 – базальты мельничной свиты, 4 – долериты мельнично сосновского комплекса

Для оценки условий выплавления магм и установления возможных мантийных геохимических резервуаров использованы две индикаторные системы геохимического моделирования. Первая из них – диаграмма $(\text{Sm}/\text{Yb})_N - (\text{La}/\text{Sm})_N$ (рис. 3, С) [13], использующая нормированные значения редких земель по отношению к хондриту. В результате построений точки базитов как прогиба, так и алейского комплекса выстраиваются вдоль кривой двухпроцентного шпинелевого лерцолита (2 % Sp) с преимущественным плавлением от 3 до 10 %. Два базальта выбиваются из общей группы фигуративных точек, в сторону уменьшения степени плавления до 2 % и менее 1 %, при этом они так же приурочены к кривой шпинелевого лерцолита.

Вторая система – Nb–Yb (рис. 3, D) [14], согласно которой базиты дискриминируются по генетическому признаку: точки базальтов Змеиногорского прогиба и долерит Змеиногорского рудного поля выстраиваются вдоль кривой шпинелевого лерцолита (SpLz), генерируемого примитивной мантией (PM); точки пироксенитов, габброидов и даек Алейского комплекса, а также долерит Стрижковского рудного поля выстраиваются вдоль кривой гарцбургита (Hz), происходящего из деплетированной мантии

(DM). Процент плавления для интрузивов устанавливается на уровне от 3 до ~40%, причем наибольший процент выплавки наблюдается для оливиновых пироксенитов; для эффузивов – в интервале от 5 до 30%.

4. U-Pb датирование

Из мезократового среднезернистого габбро-алейского комплекса массива «Мохнатые сопки» было выделено 40 зерен циркона. При катодолюминесцентном исследовании они обнаруживают широкую зональность в ядерной части и более тонкую concentрическую зональность к периферии. При датировании из 40 зерен критерий конкордантности в диапазоне $\pm 10\%$ отвечают 28 замеров. В результате получен конкордантный возраст 402 ± 10 млн лет (рис. 4, А), что соответствует середине эмского века раннего девона.

В образцах из штоково-дайкового тела долеритов центральной части Змеиногорского месторождения было обнаружено шесть зерен циркона, два из которых имеют реликтовую природу. Их кристалломорфологическая форма описывается как простая тетрагональная призма с пирамидой (рис. 4, В). Поверхность этих зерен корродирована и шероховата, ребра округлые. Характер их зональности – слабовыраженный секториальный. Возраст их определен как AR_2 .

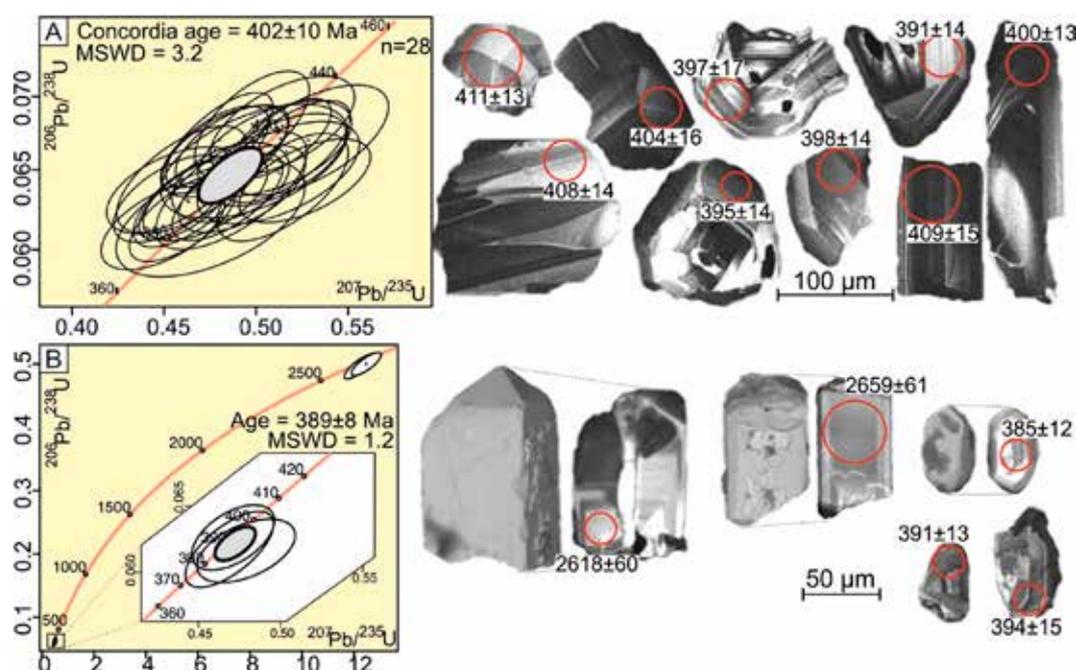


Рис. 4. Результаты U-Pb датирования цирконов методом LA-Q-ICP-MS:

А – среднезернистый габбро-алейского комплекса, массив «Мохнатые сопки»;
 В – долерит Змеиногорского прогиба. Возраст на CL изображениях указан по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ изотопной системе (для архейских зерен по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ системе). Величина ошибки $\pm 2\sigma$

Остальные зерна представлены слабо-выраженной дитетрагональной призмой и пирамидой, имеют размер по удлинению до 110 мкм. Их возраст установлен как 389 ± 8 млн лет, что относится к среднему эйфелю. Если эти зерна не являются так же захваченным, а истинный возраст долеритового тела более молодым, то устанавливается единовременное и единопостранственное проявление кислого и основного магматизма в районе, что говорит о наличии двух одновременно работающих магматических очагов на разных корово-литосферных уровнях, генерирующие контрастные по составу расплавы.

Результаты исследования и их обсуждение

По геохимическим и изотопно-геохимическим данным магматиты несут в себе черты изначально плюмового происхождения, что устанавливается по геохимическим и Nd-Rb изотопным данным, располагаясь в поле мантийной последовательности вблизи репера PREMA. Родоначальным протолитом определяется шпинелевый лерцолит, плавление которого по системе геохимического моделирования [13] достигало 40 % при средней оценке 3–10 %. Обнаруженный в образцах эмского габбро перовскит косвенно говорит о мантийном происхождении расплава. Мантийные источники подтверждаются и изотопией серы: $\delta^{34}\text{S}$ от -4,2 до +5,2 ‰, основная часть проб – от -2,2 до +2,0 ‰ [12]. В работе по исследованию изотопного состава серы сульфидов разных стадий минеральных комплексов барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района [15] отмечается смена мантийного источника серы на коровый.

Следы последующего взаимодействия вещества плюма с литосферой и земной корой (SZLM), устанавливаемые по ряду диаграмм, обуславливаются наличием каледонского структурного этажа, накапливающегося в $\text{E}_3\text{-O}$, за счет денудации островодужных комплексов Горного Алтая. Ассимиляция вещества фундамента не могла не привести к контаминации магмы и приобретению отдельных геохимических черт, характерных для островодужных базальтов, например, Ta-Nb минимум. Габброиды и пироксениты алейского комплекса, наиболее активно контаминируемые веществом фундамента, располагаются в начале кривой смещения магм основного состава с гранитизированной корой.

По-видимому, установленные сходства и различия магматитов обусловлены основными параметрами, определяющими проявление вулканизма и плутонизма. Для вулкаников Змеиногорского прогиба, приуроченного к прибортовой зоне, логично предположить непосредственную связь подводящих каналов с мантийными глубинами в пределах депрессионных зон. На характер проявления прибортового вулканизма оказывало влияние взаимодействие тектонических процессов, проходящих в смежных региональных структурах – Обь-Зайсанской области и Алтае-Саянской плюм-рифтогенной системе, в которых наблюдается региональная, а может, и глобально проявленная трансгрессивно-регрессивная цикличность. Можно предполагать, что это тектоническое взаимодействие мегаструктур способствовало периодическому нарушению связи плюмово-мантийного очага Рудного Алтая с верхними этажами литосферы.

Далее следует отметить, что для вулканизма Змеиногорского прогиба характерна слабая количественная роль базальтов в ходе раннего и среднего девона и, наоборот, явная доминанта риолитовых вулканических построек и массовых туфовых извержений кислого состава. Это наводит на мысль об особой роли в этом процессе тектоники и флюидно-магматического режима, заключающейся в непостоянной связи каналов литосферно-корового магматизма с плюмово-мантийным очагом. По-видимому, что-то подобное проявлялось при формировании Тунгусской мегасинеклизы Сибирской платформы, где массовым извержениям трапповых лав предшествовали обильные туфовые извержения основного состава.

Вследствие кратковременного тектонического перекрытия связи вулканических каналов с плюмово-мантийным очагом предположительно происходил «отрыв» флюидонасыщенной головной колонны и проникновение ее в пределы метасоматизированной субдуцированной литосферной мантии и в гранитно-метаморфический слой. Под влиянием аномального тепла плюма и активного воздействия его головной флюидно-магматической части возникали литосферно-коровые промежуточные очаги, генерировавшие массовые извержения риодацитовых и риолитовых туфов. Интрузивный магматизм осевой зоны Рудно-Алтайского мегапрогиба, представленный на северо-востоке Алейским ГМК, не имел сообщения с поверхностью, но по тем же причинам, что и вулканизм, переживал пре-

кращение связи с глубинным очагом после внедрения тел пироксенитов и габбро. Оторвавшаяся часть интрузивно-магматической колонны субсинхронно, но с некоторым временным отрывом от вулканизма формировала промежуточные очаги, генерировавшие большие объемы плагиогранитных и гранитных магм.

На завершающих этапах девонской истории связь с глубинным очагом возобновилась и способствовала внедрению многочисленных тел даек основного состава – габбро-долеритовые штоки и дайки V фазы змеиногорского комплекса (D₃fm). Характерно, что вулканизм прогибов так же завершался внедрением даек долеритов и излиянием базальтовых в составе каменевской и шипуновской свит (фран – фамен).

Выводы

1. Интрузивный магматизм в пределах Алейского ГМК начал проявляться с базитовой составляющей – габбро и пироксенитов – в эмском веке (402±10 млн лет), а в конце раннего девона сменился выплавкой больших объемов плагиогранитных, гранитных и лейкогранитных масс.

2. Эмский и эйфельский базитовый магматизм района имеет плюмовое происхождение, близкое к источнику PREMA. Единым протолитом является шпинелевый лерцолит.

3. Вулканисты прибортовых депрессионных зон, в частности Змеиногорского прогиба, через подводящие каналы имели непосредственную связь с мантийными глубинами, вследствие чего долериты сохранили мантийную последовательность. Интрузивные же фации вследствие объемной ассимиляции или за счет поглощения мигрирующих флюидов контаминированы коровым веществом островодужного этапа развития Горного Алтая.

4. Тектонический режим способствовал прерыванию связи литосферных промежуточных магматических очагов с мантийными источниками, вследствие чего происходила выплавка в раннем и среднем девоне преобладающих по объему кислых магм.

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист М-44-ХI (Змеиногорск). Объяснительная записка / Составители: С.И. Федак и др., редактор: В.М. Исаков. М. – СПб., 2008. 263 с.

2. Kruk N.N., Kuybida M.L., Murzin O.V. et al. Granitoids of the North-West Altai. Guide of geological excursions (21–27 August 2014, Zmeinogorsk, Russia) of the 2nd International Geological Conference «Granites and Earth's evolution: granites

and continental crust» (17–20 August 2014, Novosibirsk, Russia) / Sci. ed. A.G. Vladimirov. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2014. 84 p.

3. Gorton M.P., Schandl E.S. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for Arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks // *The Canadian Mineralogist*. 2000. Vol. 38, Is. 5. P. 1065–1073. DOI: 10.2113/gscanmin.38.5.1065.

4. Boyce J.A., Nicholls I.A., Keays R.R., Hayman P.C. Variation in parental magmas of Mt Rouse, a complex poly-magmatic monogenetic volcano in the basaltic intraplate Newer Volcanics Province, southeast Australia // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2015. Vol. 169 (11). DOI: 10.1134/S0869591121010082.

5. Cabanis B., Lecolle M. The La/10-Y/15-Nb/8 diagram: a tool for discrimination volcanic series and evidencing continental crust magmatic mixtures and/or contamination (en) // *Compte Rendus de l'Académie des Sciences. Series II*. 1989. Vol. 309, Is. 20. P. 2023–2029.

6. Khanna T.C. Sesha Sai V.V., Bizimis M., Krishna K. Petrogenesis of Basalt–high-Mg Andesite–Adakite in the Neoproterozoic Veligallu Greenstone Terrane: Geochemical evidence for a rifted back-arc crust in the eastern Dharwar craton, India // *Precambrian Research*. 2015. Vol. 258. P. 260–277. DOI: 10.1016/j.precamres.2015.01.004.

7. Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. LIP printing: Use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record // *Lithos*. 2021. Vol. 392–393. 106068. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106068.

8. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos*. 2005. Vol. 79, Is. 3–4. P. 491–504. DOI: 10.1016/j.lithos.2004.09.014.

9. Гринев О.М., Бестемьянова К.В., Гринев Р.О. Морфоструктуры и вещественный состав эмс-раннейфельских вулканистов Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // *Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы IX Всероссийской петрографической конференции с международным участием (28 ноября – 2 декабря 2017 г.)*. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2017. С. 118–127.

10. Yang G., Li Y., Xiao W., Sun Y., Tong L. Petrogenesis and tectonic implications of the middle Silurian volcanic rocks in northern West Junggar, NW China // *International Geology Review*. 2014. Vol. 56, Issue 7. DOI: 10.1080/00206814.2014.905214.

11. Гринев О.М., Семиряков А.С., Бестемьянова К.В., Гринев Р.О. Морфоструктура и этапность формирования Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 8. С. 81–95. DOI: 10.17513/use.37872.

12. Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Пяткова А.П., Бисатова А.Е., Мирошникова А.П., Кузьмина О.Н., Зимановская Н.А., Ойцева Т.А., Черненко З.И. К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // *Отечественная геология*. 2021. № 5. С. 3–16. DOI: 10.47765/0869-7175-2021-10024.

13. Bi J.-H., Ge W.-C., Yang H., Zhao G.-C., Xu W.-L., Wang Z.-H. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of the Dongfanghong gabbroic complex at the eastern margin of the Jiamusi Massif, NE China: Petrogenesis and tectonic implications // *Lithos*. 2015. Vol. 234–235. P. 27–46. DOI: 10.1016/j.lithos.2015.07.015.

14. Yang G., Li Y., Safonova I., Yi S., Tong L., Seltmann R. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system // *International Geology Review*. 2014. Vol. 56. P. 823–844. DOI: 10.1080/00206814.2014.902757.

15. Бестемьянова К.В., Гринев О.М. Минералогия барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021. Т. 332, № 9. С. 210–222. DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3370.

СТАТЬИ

УДК 624.139.62: 536.244
DOI 10.17513/use.38156

**ПРОГНОЗ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ГЛУБОКОЙ ЗОЛОТОРОССЫПНОЙ ШАХТЫ КРИОЛИТОЗОНЫ,
ЗАКРЕПЛЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ
ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПЬЮ**

Курилко А.С., Соловьёв Д.Е., Киселев В.В., Алексеев К.Н.

*ФГБУН «Институт горного дела Севера имени Н.В. Черского» Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru*

Одним из эффективных способов защиты от протаивания подземных горных выработок шахт и рудников Севера, эксплуатирующихся в знакопеременном или положительном тепловых режимах, является применение в том числе теплозащитных набрызгбетонных покрытий с легким наполнителем. В статье приведены результаты исследований на основе разработанной методики и программного комплекса по прогнозу динамики и особенностям формирования теплового режима в горных выработках золотороссыпной шахты криолитозоны закрепленных металлической и комбинированной теплозащитной набрызгбетонной крепью. Выполнены прогнозные расчеты параметров теплового режима выработок, представленных в графическом виде. Сделаны выводы, что теплозащитная крепь толщиной до 10 см не обеспечивает защиту горных выработок от растепления, и для предотвращения этого необходимо применение более совершенных крепей и регулирование теплового режима в шахте в летний период. В случае консервации шахты на летний период применение теплозащитного набрызгбетона позволит сместить срок консервации шахты на начало июня, тем самым продлив добычный сезон. Подчеркивается, что тепловой режим является основным фактором, определяющим условия работы горнодобывающего предприятия – круглогодичные или с консервацией на летний период, которые определяются технико-экономическим расчетом.

Ключевые слова: криолитозона, россыпная шахта, тепловой режим, теплозащитная крепь, набрызгбетон, математическое моделирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (тема № 0297-2021-0021, ЕГИСУ НИОКТР № 122011800083-0) с использованием (прибора, приборной базы, инфраструктуры и др.) ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках реализации мероприятий по гранту № 13.ЦКП.21.0016.

**FORECAST OF THERMAL REGIME OF MINING WORKINGS
IN A DEEP GOLD PLACER MINE IN THE CRYOLITHOZONE
SUPPORTED WITH METAL AND COMBINED THERMAL
PROTECTIVE SPRAYED CONCRETE SUPPORT**

Kurilko A.S., Solovjev D.E., Kiselev V.V., Alekseev K.N.

*Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru*

One of the effective ways to protect underground mines in mines of the North, operating in alternating or positive thermal conditions, from thawing is the use of heat-protective sprayed concrete coatings with light filler. The article presents the results of research based on the developed methodology and software package for predicting the dynamics and features of the formation of the thermal regime in the mine workings of a gold placer mine in the permafrost zone secured with metal and combined heat-protective shotcrete support. Forecast calculations of the parameters of the thermal regime of workings presented in graphical form were carried out. It was concluded that heat-protective support up to ten centimeters thick does not protect mine workings from thawing and to prevent this it is necessary to use more advanced supports and regulate the thermal regime in the mine in the summer. If the mine is mothballed for the summer, the use of heat-protective shotcrete will allow the mine mothballing period to be shifted to the beginning of June, thereby extending the mining season. It is emphasized that the thermal regime is the main factor determining the operating conditions of a mining enterprise – year-round or with conservation for the summer period, which are determined by technical and economic calculations.

Keywords: permafrost zone, alluvial mine, thermal regime, heat-protective support, shotcrete, mathematical modeling

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0297-2021-0021 of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800083-0) using the equipment of the Center for Collective Use of the Federal research center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», grant No. 13. Center for collective use 21.0016.

Рентабельная разработка глубокопогребенных мерзлых золотороссыпных месторождений Северо-Востока России требует строительства крупных высокомеханизированных шахт, эксплуатирующихся в круглогодичном режиме. Специалистами в области горной теплофизики подчеркивается неоспоримость утверждения о необходимости регулирования теплового режима (ТР) таких шахт [1, 2]. Известно, что ТР является одним из основных факторов, определяющих физико-механические свойства мерзлых дисперсных горных пород, устойчивость подземных сооружений и горных выработок в условиях криолитозоны, и в значительной степени предопределяет технологию ведения подземных горных работ, их эффективность и безопасность в значительной степени зависит от его правильного физико-технического обоснования.

Оценка криогенного состояния, физико-механических свойств горных пород и т.д. при различных аспектах ведения подземных горных работ в криолитозоне в настоящее время предопределяет необходимость математического моделирования тепловых процессов, происходящих в выработках и вмещающем их массиве мерзлых горных пород. Стремительное развитие вычислительной техники, позволяющей решать широкий класс тепловых задач с фазовыми переходами влаги в горных породах, характерных для криолитозоны, несомненно, способствует этому. Кроме того, во многих случаях математическое моделирование является наименее затратным и достаточно точным методом оценки как динамики формирования температурного поля мерзлого массива, вмещающего горные выработки, так и прогноза ТР [3].

Подземная разработка россыпных месторождений в криолитозоне характеризуется тесной взаимосвязью технологических процессов (система разработки, управление кровлей и др.) при ведении горных работ от температурного фактора [4]. В мерзлом состоянии дисперсные четвертичные отложения, слагающие россыпь, представляют собой монолитный массив за счет наличия в них льда-цемента. Прочность монолита зависит от температуры и повышается с ее понижением (возрастает более чем в три раза при понижении температуры от -1 до -18°C) [5]. При таянии содержащегося в песчано-глинистом заполнителе льда происходит обратный процесс – потеря цементирующих связей между минеральными частицами дисперсной породы и превращение ее в сыпучую или пластичную массу.

Одним из эффективных способов защиты подземных горных выработок шахт и рудников Севера, эксплуатирующихся в знакопеременном или положительном ТР, от протаивания в летний период за счет поступления атмосферного тепла, вносимого вентиляционным потоком, является применение, в частности, теплозащитных набрызгбетонных покрытий с легким наполнителем [6, 7]. Их применение обеспечивает устойчивость горных выработок, пройденных в мерзлых дисперсных породах, не допускающих протаивания или допускающих его на определенную глубину, тем самым снижая нагрузки на возведенную крепь (анкерную, рамную и др.). Помимо этого набрызгбетонная крепь защищает пристеночные горные породы выработок от морозного выветривания, тем самым повышая их устойчивость и срок службы.

Поддержание горных выработок на шахтах и рудниках Севера зачастую осуществляется с использованием анкеров или металлических рамных крепей из спецпрофиля СВП с затяжкой кровли и бортов деревом [6]. Анкерная крепь в комбинации с прочным набрызгбетонным покрытием обладает высокой несущей способностью (основную механическую нагрузку воспринимают анкера), податливостью и ремонтпригодностью. В комбинации с рамной крепью набрызгбетон помимо упрочнения приконтурных пород также играет роль затяжки и предохраняет металл от коррозии.

В работе представлены результаты исследований, посвященных выявлению особенностей влияния набрызгбетонной теплозащитной крепи на формирование теплового режима в горных выработках и вмещающем их массиве мерзлых пород глубокой высокомеханизированной золотороссыпной шахты Севера «Ручей Раковский».

Материалы и методы исследования

Наибольшее влияние на формирование температурного режима шахт и рудников Севера оказывают ряд таких факторов, как природные климатические условия района, вентиляционный режим и наличие многолетнемерзлых горных пород.

Математическое моделирование тепловых и вентиляционных процессов, протекающих в подземных горных выработках, и создание на их основе компьютерных программ позволяет решать сложные задачи, связанные с прогнозом ТР шахт и рудников Севера с учетом указанных выше факторов, а также динамики развития горных работ,

технологических процессов и др. В лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН разработан программный комплекс, позволяющий рассчитать воздухораспределение и ТР сети горных выработок криолитозоны с учетом интенсивности теплообмена воздушной струи с окружающим массивом пород и фазовых переходов влаги в них [3].

Поскольку шахтную вентиляционную сеть можно рассматривать как взаимосвязанную систему, то изменение отдельных параметров в одном из элементов вызовет их изменение в ее остальных частях. Воздухораспределение в вентиляционной сети шахты зависит и одновременно определяет динамику теплового режима в горных выработках. Поэтому необходимо задачу воздухораспределения в выработках россыпной шахты решать совместно с задачей теплообмена вентиляционного воздуха с вмещающим мерзлым горным массивом [3].

Алгоритм совместного решения такой задачи заключается в следующем. Сначала задается начальное распределение температур воздуха и массива горных пород вокруг выработок во всех ветвях вентиляционной системы шахты. При заданных температурах воздуха решается задача воздухораспределения, т.е. определяются расходы воздуха в каждой выработке сети. Далее, исходя из топологической информации, определяется порядок расчета температуры воздуха по ветвям. Расчет начинается с воздухоподающих выработок сети. Температура воздуха на входе в выработку является уже известной величиной (т.е. входящие ветви в узел, с которого начинается выработка, уже прошли через процедуру расчета температуры воздуха). Согласно установленному порядку проводится процедура расчета температуры воздуха во всех выработках сети [3].

Далее, используя рассчитанное распределение температур воздуха в сети, уточняется перераспределение расхода воздуха в ней путем решения задачи воздухораспределения. Таким образом, на каждом шаге по времени решаются последовательно две задачи: воздухораспределения и тепловая.

Результаты исследования и их обсуждение

Прогноз и выявления особенностей формирования ТР выработок строящейся золотороссыпной шахты «Ручей Раковский» осуществлялись на основе разработанного программного комплекса с учетом параметров вентиляционной струи, крепления горных горных выработок, теплофизических

свойств пород и др. Эта шахта, относящаяся к глубоким (пласт золотоносных песков залегает на глубине 200 м), разрабатывает глубокопогребенное золотороссыпное месторождение ручья Раковский, которое находится в Сусуманском районе Магаданской области. Необходимо отметить, что данное месторождение находится в зоне распространения «вялой» мерзлоты с высокими температурами пород $-1,5^{\circ}\text{C}$ (в пределах продуктивного пласта) и в связи с этим низкими прочностными характеристиками песков и торфов, во многом затрудняющими его разработку.

Схема горных выработок шахты на первый период строительства приведена на рис. 1. Свежий воздух подается с поверхности в шахту через наклонный вентиляционный съезд (ВНС), а исходящая струя выдается через наклонный транспортный съезд (НТС).

В период с июня 2020 г. по июль 2021 г. сотрудниками института в строящейся россыпной шахте проводились натурные наблюдения за динамикой формируемого температурного режима. Для этого были оборудованы стационарные термостанции, в которые были установлены термогириляды с терморезисторами типа ММТ-4.

В ходе проведенных наблюдений было установлено:

- естественная температура покрывающих дисперсных горных пород над продуктивным пластом не превышает -2°C , что подтверждает ранее проведенные сторонними организациями геотермические наблюдения;

- температура продуктивного пласта золотоносных песков месторождения на глубине 200 м находится в интервале от $-1,2$ до $-1,5^{\circ}\text{C}$.

На основе имеющихся горнотехнических и горно-геологических параметров, а также данных о физико-механических свойствах, полученных в процессе лабораторных исследований образцов горных пород (отобранных с золотороссыпного месторождения «Ручей Раковский»), задавались исходные значения для проведения численных расчетов. Исходные значения температур горного массива приняты по данным натурных наблюдений. В соответствии с требованиями ведомственных строительных норм (ВНС 126-90) толщина набрызг-бетонного покрытия применяемого в качестве расчетной несущей конструкции самостоятельно или в сочетании с анкерами или арками, должна быть не менее 5 см.

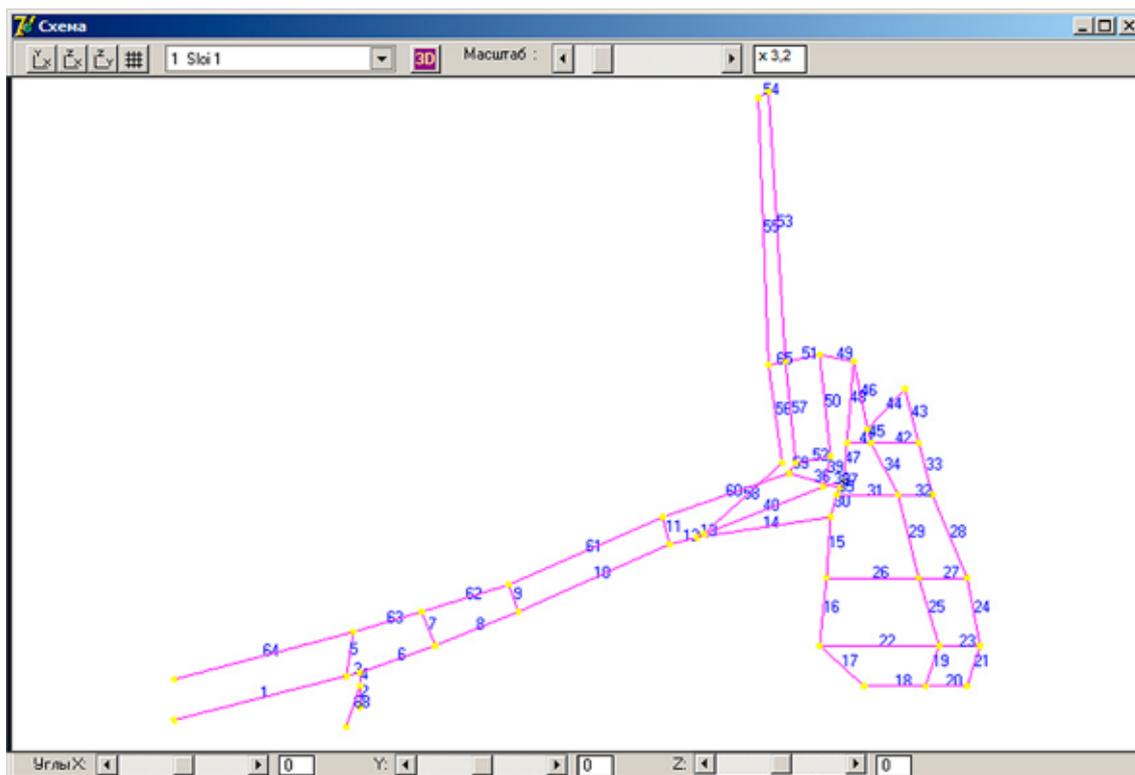


Рис. 1. Схема горных выработок россыпной шахты руч. Раковский (цифрами обозначены номера ветвей)

При численных расчетах теплозащитная набрызгбетонная крепь учитывается как термическое сопротивление при теплообмене шахтного воздуха с породным массивом, вмещающим горные выработки. В расчетах была принята толщина крепи равная 0,05 м, с коэффициентом теплопроводности 0,25 Вт/(м·К) при плотности вермикулитобетона 1086 кг/м³ [7].

При проведении прогнозных расчетов параметров ТР россыпной шахты рассмотрен вариант ее эксплуатации в круглогодичном режиме (в зимний период воздух, подаваемый в шахту, подогревается до температуры не ниже -20 °С) и с наличием двух видов крепи горных выработок:

I. металлических рамных крепей из спецпрофиля СВП и анкерной крепи;

II. металлических рамных крепей из спецпрофиля СВП и анкеров в комбинации с теплозащитной набрызгбетонной крепью.

Кроме улучшения санитарно-гигиенических условий горнорабочих необходимость подогрева вентиляционной струи в зимний период связана с тем, что в качестве индивидуальных средств защиты предполагается использование шахтных самоспасателей ШСС-1М, которые согласно

инструкции эксплуатируются при температуре не ниже -20°С.

В соответствии с проектом, требуемый объем воздуха для вентиляции шахты довольно значителен и составляет 130 м³/с, из-за необходимости разжижения выхлопных газов, выделяемых высокопроизводительным горным оборудованием с дизельным приводом.

Прогнозные расчеты параметров ТР горных выработок и вмещающего их горного массива россыпной шахты проводились на двухгодичный период эксплуатации, с марта 2022 г. по март 2024 г.

Результаты расчетов для первого варианта крепления горных выработок (без наличия теплозащитного набрызгбетона) показаны на рис. 2 и 3 в виде графиков динамики изменения температуры массива горных пород (на глубине 0,25; 0,5 и 1 м от стенки выработки) и шахтного воздуха в летний и зимний периоды эксплуатации шахты.

Как видно из рис. 2, по мере движения по горным выработкам теплый воздух, поступающий в шахту в летний период с поверхности для вентиляции, постепенно охлаждается, при этом сохраняя положительные значения на всем пути вплоть

до устья воздуховыдающей выработки. Наиболее интенсивные процессы теплообмена происходят в воздухоподающих выработках, по которым проходит наиболь-

ший объем воздуха для проветривания. Далее по мере движения воздушного потока интенсивность теплообменных процессов снижается.

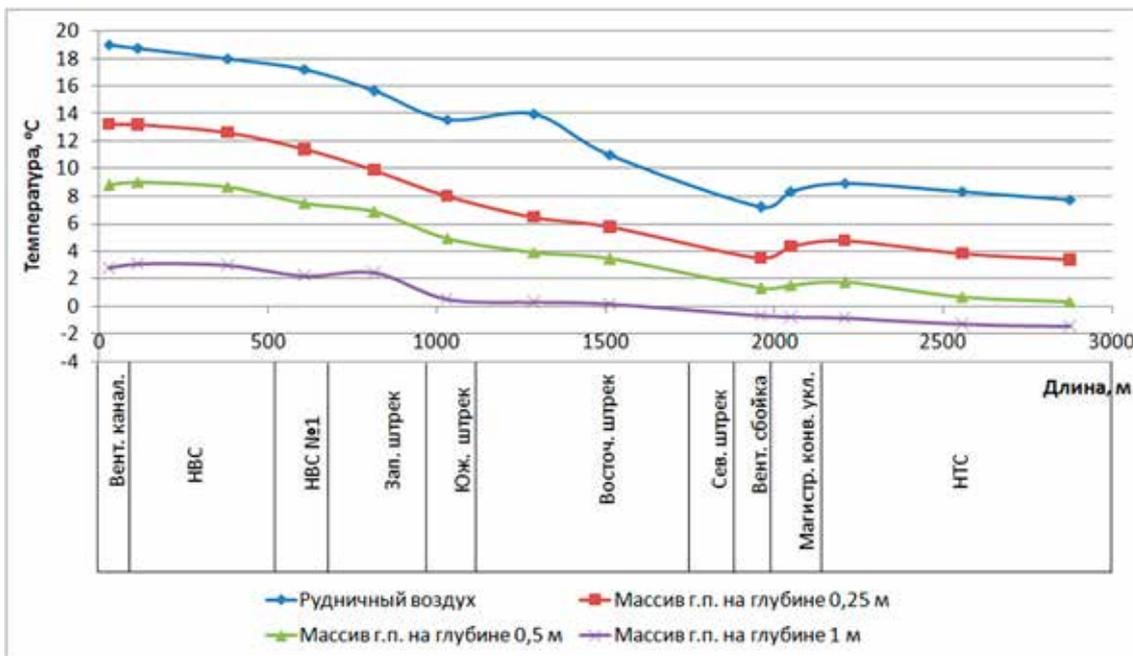


Рис. 2. Динамика температур массива горных пород и шахтного воздуха на дату 24 июля второго расчетного года эксплуатации РШ по пути вентиляционной струи. Для I варианта расчетов (металлическая крепь и анкера)

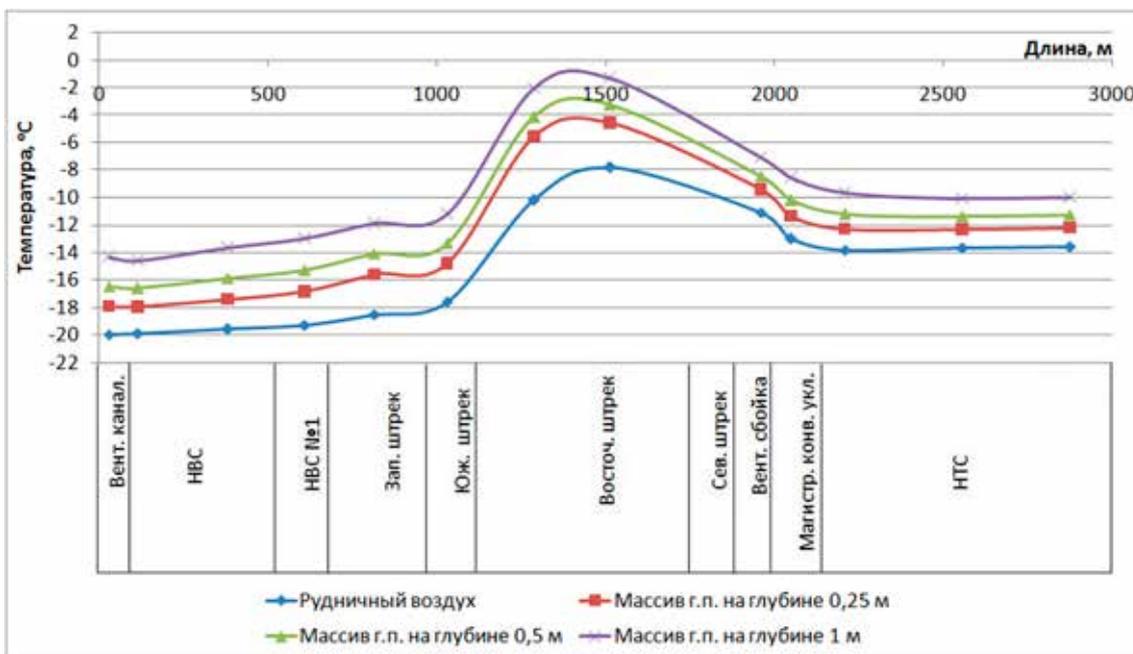


Рис. 3. Динамика температур массива горных пород и шахтного воздуха на дату 23 января второго расчетного года эксплуатации РШ по пути вентиляционной струи. Для I варианта расчетов (металлическая крепь и анкера)

Подача в шахту теплого воздуха объемом около $130 \text{ м}^3/\text{с}$ при относительно небольших ее размерах, приводит к интенсивному протаиванию мерзлых горных пород во всех выработках вентиляционной сети, в том числе и в наклонном транспортном съезде, через который отработанный воздух выдается из шахты. Максимальные размеры ореолов протаивания вмещающих пород, соответственно, также будут приходиться на воздухоподающие выработки. Так, в вентиляционном канале, вентиляционном наклонном съезде, западном штреке их размеры в летний период могут достигать 1,5 м вглубь горного массива. В очистных выработках, где естественные температуры продуктивного пласта песков относительно высокие (по данным натурных замеров составляют в среднем $-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$), также происходит подогрев шахтного воздуха от тепла, выделяемого работающей дизельной техникой. Это приводит к тому, что в данной области шахты (восточный штрек) также происходит существенное растепление вмещающих пород (размеры ореолов протаивания превышают 1 м). В наклонном транспортном съезде фиксируется самая низкая температура исходящей вентиляционной струи, которая понижается в два раза по сравнению с температурой в воздухоподающих выработках и это сказывается на размерах ореолов протаивания вмещающего массива горных пород, который не превышает 1 м.

Как видно из рис. 3, в зимний период за счет подогрева атмосферного воздуха, подаваемого в шахту, температура в горных выработках в соответствии с требованиями не опускается ниже -20°C . В зоне ведения очистных работ (восточный штрек) за счет теплообмена с горными породами, имеющими относительно высокие отрицательные значения, а также поступления тепловыделений от работающей дизельной техники приводят к локальному прогреву шахтного воздуха до -8°C , что создает относительно благоприятные условия труда для горнорабочих. Дальнейшее понижение температуры воздуха (как видно из приведенных графиков) обусловлено его смешиванием с более холодными вентиляционными струями, поступающими из других участков шахты.

В зимний период холодный атмосферный воздух, поступающий в шахту, приводит к обратному процессу повсеместного промораживания слоя оттаявших в теплый период года мерзлых горных пород. По ре-

зультатам численных расчетов, которые отражены на рис. 3, температура горных пород, вмещающих капитальные и подготовительные выработки, на конец января второго расчетного года будет иметь значения ниже -6°C , тем самым снижая риск обрушения кровли и бортов выработок и, соответственно, повышая безопасность ведения горных работ.

Основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать вывод, что применение теплозащитной набрызгбетонной крепи, при столь относительно большом расходе воздуха ($130 \text{ м}^3/\text{с}$), подаваемого в шахту, хотя и замедляет, но не обеспечивает защиту массива горных пород от протаивания в летний период (рис. 4). Как показали численные расчеты, толщина оттайки составляет немногим более одного метра, что создает дополнительную нагрузку (помимо горного давления) на основную несущую крепь и может привести к ее разрушению, обрушению кровли и стенок выработок.

Результаты расчетов для случая, когда толщина теплозащитного набрызгбетона составляет 0,1 м, приведены на рис. 5, видно, что двукратное увеличение толщины также не защищает породы от растепления. Размеры ореолов протаивания по длине вентиляционного пути будут находиться в пределах, не превышающих 1 м.

Таким образом, одним из вариантов обеспечения безопасной, круглогодичной эксплуатации шахты является увеличение толщины крепи из теплозащитного набрызгбетона, добиваясь допустимой глубины протаивания пород, вмещающих горные выработки в летний период. Кроме этого, специалистами [7], в частности, предлагается использовать на рудниках и шахтах криолитозоны двухслойные набрызгбетонные крепи, состоящие из тяжелого и легкого бетонов, обладающие высокими теплоизоляционными и прочностными показателями. Также в этих целях может быть рекомендовано применение высокомодульной базальтовой и низко модульной полипропиленовой фибры в качестве микроарматуры торкрет-бетонных крепей и теплозащитных покрытий [8–10]. Полученный на этой основе композиционный строительный материал обладает повышенной стойкостью к статическим и динамическим нагрузкам, что, в свою очередь, способствует долговременной устойчивости бетонных конструкций и повышению безопасности труда горнорабочих.

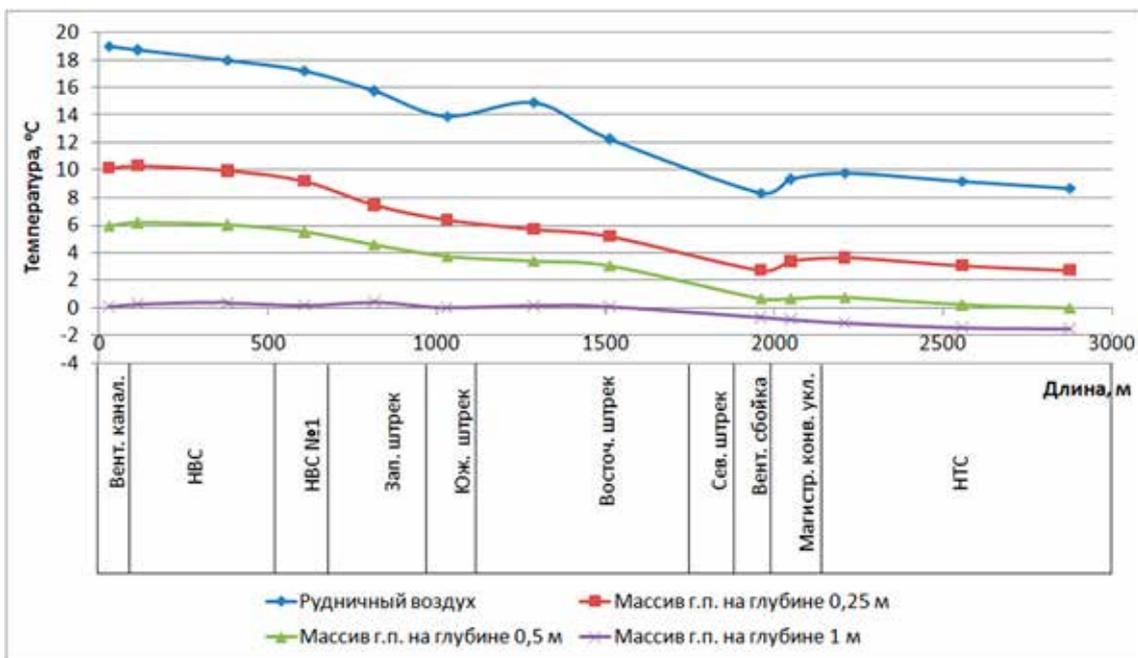


Рис. 4. Динамика температур массива горных пород и шахтного воздуха на дату 24 июля второго расчетного года эксплуатации РШ по пути вентиляционной струи. Для II варианта расчетов (металлическая крепь, анкера и теплозащитный набрызгбетон толщиной 0,25 м)

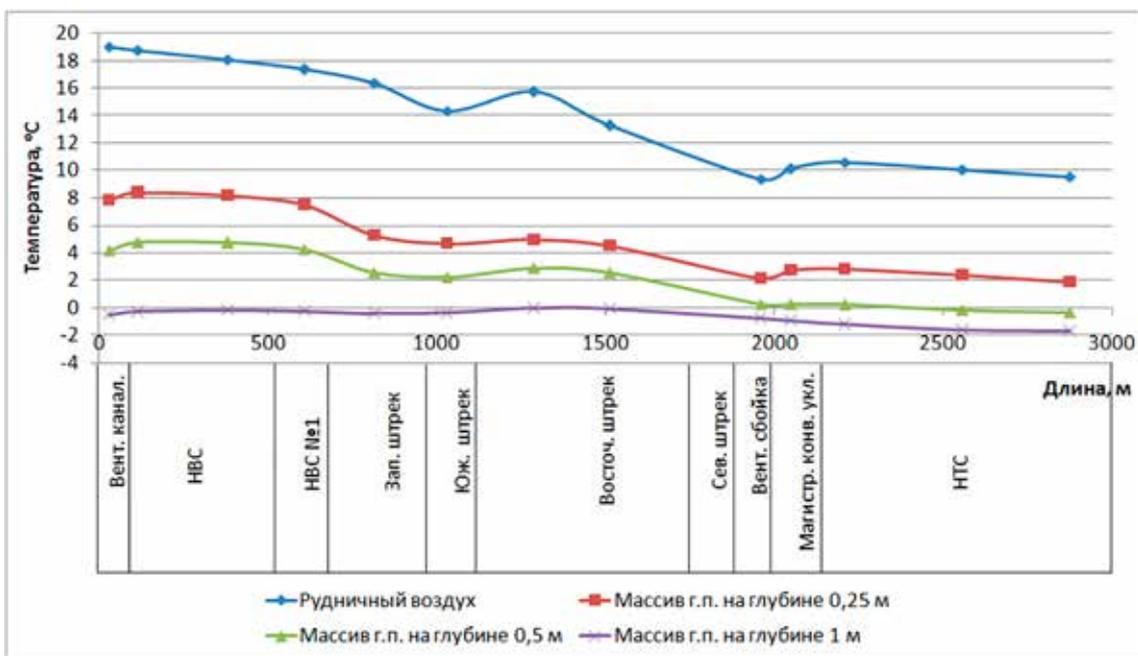


Рис. 5. Динамика температур массива горных пород и шахтного воздуха на дату 24 июля второго расчетного года эксплуатации РШ по пути вентиляционной струи. Для II варианта расчетов (металлическая крепь, анкера и теплозащитный набрызгбетон толщиной 0,1 м)

Также возможно считать обоснованной необходимость применения различных способов регулирования ТР шахты (как в зимнее, так и в особенности в летнее время) для

снижения температуры шахтного воздуха, циркулирующего по горным выработкам, и, как следствие этого, уменьшения растепления пород. Все это потребует дополнитель-

ных технико-экономических расчетов для обоснования целесообразности эксплуатации шахты в летний период.

В случае невозможности обеспечения безопасной эксплуатации шахты в летний период рекомендуется ее временная консервация, которая по результатам численных расчетов должна осуществляться на период с 15 мая по 15 сентября. Применение теплозащитного набрызгбетона позволит сменить срок консервации шахты на начало июня, тем самым продлив добычный сезон.

Заключение

Таким образом, как показали численные расчеты, применение теплозащитного набрызгбетона (толщиной до 0,1 м) в климатических и горно-технических условиях глубокой, высокомеханизированной золотороссыпной шахты «Ручей Раковский» не обеспечивает защиту от протаивания породного массива, вмещающего горные выработки. Эксплуатация шахты с естественным (нерегулируемым) ТР в летний период может создать угрозу обрушения горных выработок из-за интенсивного протаивания вмещающих мерзлых горных пород на глубину до 1 м.

Чтобы обеспечить безопасную круглогодичную эксплуатацию золотороссыпной шахты, необходимо либо увеличивать толщину возводимой крепи из теплозащитного набрызгбетона, добиваясь допустимой глубины протаивания пород, либо применять различные способы регулирования ТР шахты (не только в зимний, но и в летний периоды) для снижения температуры шахтного воздуха, циркулирующего по горным выработкам, до отрицательных значений.

Есть основание утверждать, что разработка проектов на строительство круглогодичных россыпных шахт в северных регионах РФ должна в обязательном порядке включать раздел по регулированию

ТР как в зимний, так и в летний периоды ее эксплуатации.

Тем самым тепловой режим наряду с вентиляционным при подземной отработке глубокопогребенных золотороссыпных месторождений (находящихся в зоне «вялой» мерзлоты) является основным фактором, определяющим режим работы горного предприятия и выполнения технологических операций, а также при выборе механизмов и оборудования.

Список литературы

1. Степанов А.В., Попенко Ф.Е., Рожин Ф.Е. Основы инженерной защиты объектов строительства в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2014. 448 с.
2. Васильев В.И. Моделирование распределения нестационарных температурных полей в криолитозоне при проектировании геотехнических сооружений. М.: КУРС, 2017. 624 с.
3. Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е. Математическое моделирование тепловых процессов в горных выработках шахт и рудников Севера. Новосибирск: Гео, 2013. 185 с.
4. Марков В.С., Лабутин В.Н., Елшин В.К. Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 176 с.
5. Шерстов В.А., Скуба А.Н., Лубий К.И., Костромитинов К.Н. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1981. 188 с.
6. Шапошник С.Н., Шапошник Ю.Н., Крупник Л.А., Нуршайыкова Г.Т. Обоснование эффективности применения набрызгбетонной крепи горных выработок в криолитозоне // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2020. № 1. С. 86–91.
7. Галкин А.Ф., Киселев В.В., Курилко А.С. Набрызгбетонная теплозащитная крепь. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 164 с.
8. Alekseev K.N., Kurilko A.S. Strength characteristics of fiber-reinforced light shotcrete // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 192. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201020.
9. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волоконистого высокопрочного бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14, № 5. С. 396–403. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-5-396-403.
10. Соболев Г.М., Зотов А.Н. Морозостойкость и водонепроницаемость модифицированного мелкозернистого бетона с полипропиленовой фиброй // Вестник научных конференций. 2018. № 5–2 (33). С. 89–91.

УДК 621.928.6:622.342.1
DOI 10.17513/use.38157

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПНЕВМОСЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ И КРУПНОСТИ

Лебедев И.Ф.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук» Институт горного дела Севера
им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: gds@ysn.ru*

В статье приводятся результаты проведенных многолетних исследований в области воздушного (сухого) способа разделения (обогащения) минералов полезных ископаемых. Даны результаты изготовленного пневматического сепаратора типа ПОС-2000, который прошел опытно-промышленные испытания в ряде золотосодержащих рудных месторождений Якутии и Амурской области. В работе описаны наработки по совершенствованию конструктивных и производственных параметров установки, где актуальным и востребованным в данное время, особенно для мобильных передвижных вариантов обогатительных установок, является уменьшение массогабаритных параметров. В статье показаны лабораторные экспериментальные работы, направленные на детализованное изучение особенностей динамики поведения многофазных сред в сложных камерах как в упрощенных ламинарных, так и в турбулентных случаях. Для более детального изучения влияния различного воздушного потока на процесс разделения различных минералов по плотности и крупности собрана экспериментальная лабораторная установка с тремя тороидальными зонами, состоящая из гибкой прозрачной пластиковой армированной трубы, изогнутой в виде винта (винтовой геликоид). Рассмотрены предельные углы подъема частиц по внутренней границе лабораторного стенда, скорости витания частиц в зависимости от плотности и размеров, предельные углы зависания и витания при разных воздушных скоростях. Проведены исследования распределения частиц в радиальном сечении на различных участках трубы (S_1 - S_3), в которых получены угловые различия по распределению из-за разного уровня соотношений центробежной и гравитационных сил, при испытанных скоростях и радиусах поворота. Показаны дальнейшие исследования, направленные на возможность модификации существующего пневмосепаратора для уменьшения массогабаритов, и разработка нового типа центробежного пневмосепаратора.

Ключевые слова: пневматический сепаратор, скорость витания, воздушный поток, аэродинамическая труба, минеральные частицы, многофазная среда, моделирование, центробежные силы

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0297-2021-0022 ЕГИСУ НИОКТР № 122011800089-2) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант № 13. ЦКП 21.0016.

THEORETICAL AND APPLIED FOUNDATIONS OF CREATION OF CENTRIFUGAL PNEUMUS SEPARATORS FOR ENRICHMENT OF PRECIOUS METALS BY DENSITY AND SIZE

Lebedev I.F.

Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" Institute of Mining of the North named after: N.V. Chersky Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: igds@ysn.ru

The article presents the results of many years of research in the field of air (dry) method of separation (enrichment) of minerals. The results of a manufactured pneumatic separator of the POS-2000 type, which passed pilot tests in a number of gold ore deposits in Yakutia and the Amur region, are presented. The work presents developments to improve the design and production parameters of the installation, where reduction of weight and size parameters is relevant and in demand at this time, especially for mobile mobile versions of enrichment plants. The article shows laboratory experimental work aimed at a detailed study of the dynamics of the behavior of multiphase media in complex chambers, both in simplified laminar and turbulent cases. For a more detailed study of the influence of different air flow on the process of separating various minerals by density and size, an experimental laboratory installation with three toroidal zones was assembled, consisting of a flexible transparent plastic reinforced pipe, bent in the form of a screw (screw helicoid). The maximum angles of rise of particles along the internal boundary of the laboratory stand, the speed of soaring of particles depending on density and size, the maximum angles of hovering and soaring at different air speeds are considered. Studies have been carried out on the distribution of particles in the radial section in different sections of the pipe (S_1 - S_3), in which angular differences in distribution were obtained due to different levels of the ratio of centrifugal and gravitational forces, at tested speeds and turning radii. Further research aimed at the possibility of modifying the existing pneumatic separator to reduce weight and size and the development of a new type of centrifugal pneumatic separator are shown.

Keywords. Pneumatic separator, soaring speed, air flow, wind tunnel, mineral particles, multiphase medium, modeling, centrifugal forces

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0297-2021-0022 of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800089-2) using the equipment of the Center for Collective Use of the Federal research center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», grant No. 13. Center for collective use 21.0016.

Пневматические методы переработки и обогащения тонкоизмельченных полезных ископаемых высокой плотности являются более экологически чистым способом переработки в горном производстве.

Для разделения тонкоизмельченных геоматериалов по узким классам крупности наиболее эффективным является использование воздушновихревых центробежных классификаторов и ротационных пневмосепараторов.

Улучшение технологии и аппаратов пневматического обогащения тонкоизмельченных полезных ископаемых и создание новых современных и эффективных аппаратов пневматического обогащения может быть реализовано только на основе фундаментальных исследований в области гидроаэродинамики мультифазных сред.

Экспериментальные исследования в гидроаэродинамических средах и разработка физической, математической модели связаны с техническими трудностями и экономическими показателями. Более детальную информацию о физическом процессе, происходящем внутри рабочих органов пневмосепараторов, можно получить лишь при разработке математической модели. Разработка математической модели поведения воздушного и песчано-воздушного турбулентного потока в рабочей зоне пневмосепараторов позволит выявить процессы, протекающие в них, что поможет в дальнейшем разработать новые эффективные технологические способы и конструкции пневматических сепараторов для обогащения мелкодисперсных минералов не только по крупности, но и по плотности.

В лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (ИГДС СО РАН) были разработаны и апробированы технологии пневматической (безводной) сепарации, использующие центробежные, гравитационные и газодинамические силы [1]. В перспективе использование сухого метода обогащения в горнодобывающей промышленности позволит в последующем отказаться от строительства больших обогатительных фабрик, за счет отказа от применения технологической воды, строительства затратных сооружений системы водоснабжения, хвостохранилищ, обеспечивающих технологических сооружений. Особенно это актуально для безводных мелких и малоресурсных месторождений [2].

Целью исследования является совершенствование конструкционных и производствен-

ных параметров модульной передвижной рудообогатительной установки (МПРОУ), где актуальным и востребованным, особенно для мобильных вариантов, является уменьшение массогабаритных параметров.

Материалы и методы исследования

Одним из самых успешно изготовленных и апробированных пневматических сепараторов для обогащения золотоносных руд является пневмосепаратор типа ПОС-2000 (рис. 1).



Рис. 1. Пневматический сепаратор ПОС-2000

Разработанный и изготовленный пневмосепаратор ПОС-2000 прошел опытно-промышленные испытания на месторождении Одолго (Амурская обл.), руда с прожилками молочного кварца в мусковит-серицитовой слюдянистой массе, с высокой долей свободного относительно крупнофракционного золота. Пневмосепаратор ПОС-2000 испытывался в комплексе с разработанными аппаратами дробления и измельчения. При обогащении тонкоизмельченного материала класса -2 мм на ПОС-2000 достигнуто сокращение в 14-16 раз, установлена максимальная влажность до 7% обогащаемого материала, при которой производится эффективная пневмосепарация без существенной потери производительности и извлечения золота [2], достигнуто извлечение золота до 98%, что доказывает возможность применения воздушного метода разделения и обогащения полезных ископаемых.

Пневмосепаратор может работать в двух режимах. Первый режим в последовательной совместной работе с центробежными измельчителями и раздельная пневмосепарация классифицированного геоматериала после грохочения. В первом режиме работы пневмосепаратора для обработки и анализа продуктов разделения пневмосепарации

ей полученный концентрат просеивается на два класса – 1 и + 1 мм. Затем класс – 1 мм обогащается на концентрационном столе СКО-0.5 для выделения черного концентрата [3]. Концентрат стола далее обрабатывается на анализаторе Мозли для получения золотой головки. Классы крупности +1 мм и хвосты пневмосепарации также анализируются прямым пробирным методом. Во втором режиме работы, при пневмосепарации продуктов грохочения класса крупности – 1 мм, концентрат пневмосепарации также для анализа качества разделения обогащается на концентрационном столе СКО-0.5. Концентрат стола для выделения золотой головки обрабатывается на столе Мозли.

При переработке золотосодержащих руд ряда месторождений: Нежданинское; Дуэт; Сарылах; Малтан; Нагорное; Якутское; Вьюн; Мало-Тарынское (Якутия); Гурбей (Иркутская обл.), получены положительные высокие результаты извлечения, подтверждающие эффективность сухого обогащения руд со свободным золотом [2].

На данном этапе, на базе исследований по опыту использования аппаратов воздушной классификации [4-6], проведенных в ИГДС СО РАН и ГБОУ ВПО СВФУ, проводятся работы по совершенствованию конструктивных и производственных параметров установки, где актуальным и востребованным, особенно для мобильных вариантов установок, является уменьшение массогабаритных параметров. Как показывает анализ – это возможно только при интенсификации сил, воздействующих на рабочее тело с полезными материалами, когда в основном процессе обогащения (разделения полезной фракции) ключевой упор делается на пару центробежных и газодинамических сил и минимизируется вклад гравитационной силы, имеющей фундаментальное физическое ограничение. Возрастает роль точного учета особенностей газовой динамики как самой несущей среды, так и рабочей многофазной среды с полезными ископаемыми, требующая для моделирования использование современной компьютерной техники [7-9].

Для анализа вышеуказанных направлений проводятся экспериментальные работы, направленные на детализованное изучение особенностей динамики поведения многофазных сред в сложных камерах, как в упрощенных ламинарных, так и турбулентных случаях [10-12].

Для более детального изучения влияния различного воздушного потока на процесс

разделения минералов по плотности и крупности собрана экспериментальная лабораторная установка с тремя тороидальными зонами (рис. 2), состоящая из гибкой прозрачной пластиковой армированной трубы, изогнутой в виде винта (винтовой геликоид). Установка собрана из стальных труб, с хомутами для изменения положения рабочей полости в пространстве и фиксации. Для подачи воздушного потока использовался промышленный пылесос. Скорость потока регулируется сферическим воздушным краном.

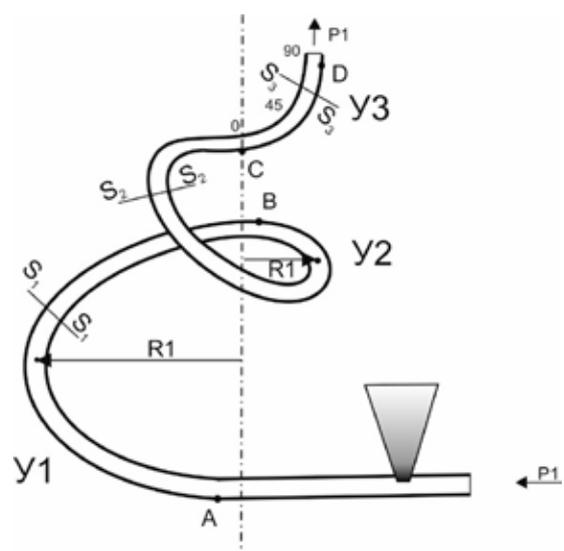


Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки

Для изучения поведения различного воздушного потока и его влияния на процесс разделения минералов по плотности и крупности установка разделена на 3 зоны.

1. Зона Y1 (точки А-В), с радиусом 1.5 м, без подъёма.
2. Зона Y2 (В-С), с радиусом 0.35 м, с винтовым подъёмом с углами 45-60 град.
3. Зона Y3 (С-Д) – с L-образным подъёмом, с углами от 0 до 90 град.

По результатам проведенных опытов были рассмотрены предельные углы подъёма частиц по внутренней границе трубы, скорости витания частиц в зависимости от плотности и размеров, предельные углы зависания и витания при разных воздушных скоростях.

Проведены исследования распределения частиц в радиальном сечении на различных участках трубы (S_1 - S_3), в которых получены угловые различия по распределению из-за разного уровня соотношений центробежной и гравитационных сил, при испытанных скоростях и радиусах поворота (рис. 3).

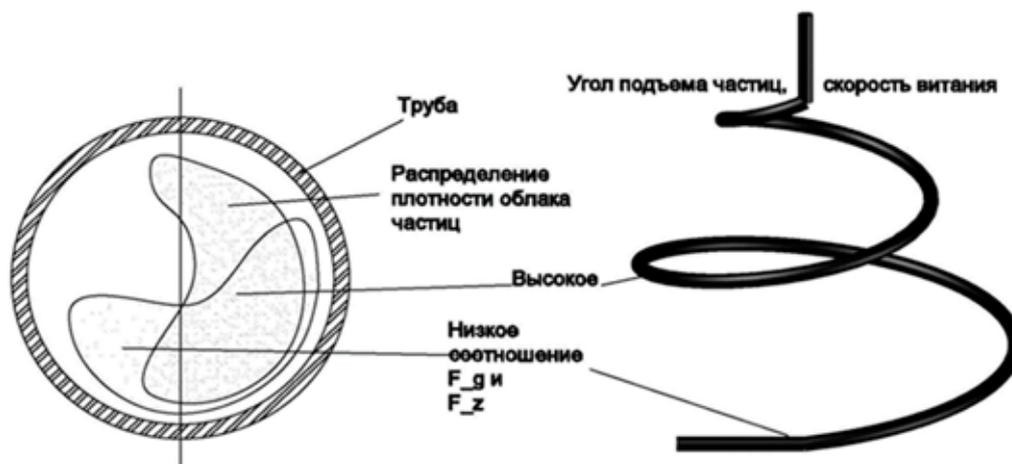


Рис. 3. Распределение частиц в разрезе аэродинамической трубы

В зависимости от радиуса кривизны пролета частиц, соответственно от соотношения центробежной силы к силе тяжести, менялось и распределение пролетающих частиц по квадрантам в поперечном сечении, которое фиксировалось в скоростной видеосъемке. Вид полученного распределения плотностей пролетающих частиц показал перспективность использования центробежных сил в дополнение гравитационным.

По проведенным исследованиям выявлены зависимости разделения минеральных частиц в воздушном потоке:

1) скорость витания частиц находится в пропорциональной зависимости от их гидравлической крупности;

2) зависимость скорости витания от гидравлической крупности частиц, которую можно выразить через плотность и толщину, что значительно упрощает расчеты;

3) миграционная способность частиц с высокой плотностью повышается при присутствии в потоке разделения мелкодисперсного геоматериала;

4) смещение частиц на определенный угол кривизны дуги при заданной скорости потока позволяет оценивать способность перемещения частиц волочением при их скорости витания;

5) изучены возможности замены гравитационных сил инерциальными (центробежными).

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа публикаций ИГДС СО РАН было проведено моделирование ряда задач, направленных на выяснение особенностей движения частиц для групп

частиц и многофазных сред. Исследование велось как для простых ламинарных видов движений, так и в усложненных и приближенных к реальным процессам турбулентных многофазных потоках, используемых в камерах со сложной геометрией, с учетом закономерностей газовой динамики для выделения рабочих фракций. Итоговое движение минеральных зерен вместе с потоками газа является результатом действия всех сил, приложенных на них (в т.ч. сопротивления воздуха, который учитывается по аналогии с витанием в поле тяготения). Замена силы тяжести на центробежные обусловлена тождеством инерциальности свойств, создаваемым за счет вращения ротора системы. Таким образом, в новой установке в основу положен принцип отделения частиц на потоках газовой струи и центробежных сил. Частицы с превышением скорости витания выталкиваются центробежными силами (с кориолисовой) в специальную камеру, а имеющие меньшую скорость вдуваются в специальную полость, откуда эвакуируются внутренними потоками воздуха.

Выводы

В результате анализа опытов и применяемых в обогащении руд конструкций воздушных сепараторов разработана конструкция многоступенчатого пневмосепаратора, в котором для первых ступеней разделения по крупности используются силы центробежного механического воздействия (от единиц до долей мм), а для более мелких фракций (до 50 мкм) – отделение витающих в рабочем теле частиц в турбулентном потоке с заранее вычисленными криволиней-

ными границами в центробежном газодинамическом потоке. В новой конструкции сепаратора более точно учитываются:

1) линейные размеры, геометрия и массовая разница частиц, подлежащих сепарации и классификации;

2) модификация направлений и характера воздействия сил, действующих на частицы, путем выбора оптимальных конструктивных решений установки (геометрии деталей ступеней, направления взаимодействия сил: радиально-осевые, парные и группы комбинации сил и др.);

3) динамика и структура образования областей для разных фракций, в т.ч. в ступенях конструкции, на основе цифровой модели. Например, для первых ступеней разделения по крупности (единицы и доли мм) используется сила контактного механического воздействия, а для более мелких фракций (от 200 до 50 мкм) – отделение витающих в рабочем теле частиц в центробежном вихревом поле с заранее вычисленными криволинейными границами;

4) сопряжение характеристик потоков газопылевых смесей в условиях непрерывного потока, балансировка режимов для поддержки технических параметров (скоростей, потоков, сечений, концентраций, радиусов движения частиц и пр.).

В результате изготовления модифицированного пневмосепаратора ожидается достижение следующих целей и решение задач:

1. Значительное уменьшение массогабаритных характеристик установки.

2. Обеспечение модульности, взаимозаменяемости и дополнительности узлов.

3. Увеличение диапазона крупности извлечения полезных минералов.

4. Удешевление и увеличение технологичности процессов изготовления опытного и серийного образцов.

Список литературы

1. Матвеев А.И., Филиппов В.Е., Федоров Ф.М., Григорьев А.Н., Яковлев В.Б., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С., Гладышев А.М., Винокуров В.П. Пневмосепаратор // Патент РФ №2167005, 7 В 07 В 7/08. 2001. Бюл. №14. Ч. 2. С. 346.

2. Матвеев А.И., Лебедев И.Ф., Винокуров В.Р., Львов Е.С. Научно-экспериментальные основы сухого обогащения руд полезных ископаемых // Записки Горного института. 2022. Т. 256. С. 613-622. DOI: 10.31897/PMI.2022.90.

3. Лебедев И.Ф. Технологические исследования свинцовых руд методом пневмосепарации // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXVII Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках XX Уральской горнопромышленной декады (г. Екатеринбург, 07–08 апреля 2022 г.). Екатеринбург: ИП Русских А.В., 2022. С. 228-233.

4. Богданов Л.Н., Бирюков А.Ю., Афанасьева С.А., Белов Н.Н., Обьедков А. К., Полошко В.А. Исследование параметров зоны воздушно-центробежной классификации в пневмоциркуляционном аппарате, существенно влияющих на процесс разделения тонкодисперсного материала // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56, № 9-3. С. 21-23.

5. Филиппов В.Е. Экспериментальные исследования характера поведения минеральных частиц в гидроэродинамической среде. Новосибирск: Гео, 2013. 85 с.

6. Перепелкин М.А., Склянов В.И. Динамическое моделирование подвижности минеральной постели в центробежных концентраторах // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 114–119.

7. Романюк Д.А., Циркунов Ю.М. Нестационарные двухфазные течения газа с частицами в решетках профилей // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2020. № 5. С. 33-45.

8. Любимов Д.А. Анализ турбулентных струйных и отрывных течений в элементах ТРД комбинированными RANS/LES-методами высокого разрешения: дис. ... докт. физ.-мат. Москва, 2014. 289 с.

9. Saxena S., Jothiprasad G., Bourassa C., Pritchard B. Numerical simulation of particulates in multistage axial compressors // J. Turbomach. March 2017. V. 139. DOI: 10.1115/1.4034982.

10. Ревизников Д.Л., Способин А.В., Сухарев Т.Ю. Численное моделирование обтекания затупленного тела сверхзвуковым полидисперсным потоком // Теплофизика высоких температур. 2017. Т. 55, № 3. С. 418–425.

11. Зайчик Л.И., Алипченков В.М. Статистические модели движения частиц в турбулентной жидкости. М.: Физматлит, 2007. 312 с.

12. Садретдинов Ш.Р., Шваб А.В., Евсеев Н.С. Исследование гидродинамики закрученного течения в вихревой камере с двумя зонами подвода газа // Вестник Пермского университета Математика. Механика. Информатика. 2011. № 5(9). С. 83-86.

УДК 622.764.7

DOI 10.17513/use.38158

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Матвеев А.И., Еремеева Н.Г., Нечаев П.Б.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», Институт горного дела Севера
имени Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук,
Якутск, e-mail: danng1@mail.ru*

Данная работа проводится в лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Севера и является продолжением исследований, проводимых на крутонаклонном концентраторе, защищенном патентом РФ. Ранее на основе проведенных экспериментальных работ на крутонаклонном концентраторе были выявлены неудовлетворительное извлечение полезного компонента, засоренность концентрата в накопительных камерах, неравномерность динамических процессов по всей площади рабочей поверхности концентратора. В целях дальнейшего усовершенствования концентратора был установлен клапан-отсекатель у патрубка для подачи воды по всему объему концентратора. Проведены экспериментальные исследования по повышению эффективности разделения минералов, где особое внимание уделено стабильности протекающих динамических процессов по всей рабочей камере концентратора, исключению образования застойных зон за счет управления потоками и повышению качества концентрата в целом. Благодаря регулировке режимов работы концентратора клапаном-отсекателем, в целом удается избавиться от этих негативных явлений и существенно увеличить площадь эффективной рабочей зоны. Определены наиболее рациональные результаты при наклоне деки концентратора 70°, где извлечение тяжелой фракции (магнетита) достигает 91,16% при скорости 0,35 л/с. Использование клапана-отсекателя дает возможность регулирования потока воды внутри концентратора, при котором найдены условия эффективного разделения минеральных частиц.

Ключевые слова: крутонаклонный концентратор, минеральная смесь, обогащение, извлечение, концентрат, хвосты, разделение

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0297-2021-0022, ЕГИСУ НИОКТР № 122011800089-2) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

EXPERIMENTAL WORK TO DETERMINE THE PARAMETERS OF A LABORATORY MODEL OF A STEEPLY INCLINED CONCENTRATOR

Matveev A.I., Eremeeva N.G., Nechaev P.B.

*Federal Research Center “Yakut Scientific Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences”, Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: danng1@mail.ru*

This work is carried out in the laboratory of the Laboratory of mineral processing Institute of Mining of the North and is a continuation of research conducted on a steep-slope concentrator protected by a patent of the Russian Federation. Earlier, on the basis of experimental work carried out on a steeply inclined concentrator, unsatisfactory extraction of the useful component, clogging of the concentrate in the storage chambers, uneven dynamic processes over the entire area of the working surface of the concentrator were revealed. In order to further improve the concentrator, a shut-off valve was installed at the nozzle for water supply throughout the entire volume of the concentrator. Experimental studies have been carried out to improve the efficiency of mineral separation, where special attention is paid to the stability of the dynamic processes occurring throughout the working chamber of the concentrator, the exclusion of the formation of stagnant zones due to flow control and improving the quality of the concentrate as a whole. Thanks to the adjustment of the operating modes of the concentrator by the shut-off valve, it is generally possible to get rid of these negative phenomena and significantly increase the area of the effective working area. The most rational results are determined when the deck of the concentrator 70° is tilted, where the extraction of heavy fraction (magnetite) reaches 91.16% at a speed of 0.35 l/s. The use of a shut-off valve makes it possible to regulate the flow of water inside the concentrator, at which conditions for effective separation of mineral particles are found.

Keywords: steeply inclined concentrator, mineral mixture, mineral processing, extraction, concentrate, tailings, separation

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0297-2021-0022 of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800089-2) using the equipment of the Center for Collective Use of the Federal research center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», grant No. 13. Center for collective use 21.0016.

В современных условиях в связи с истощением запасов россыпного месторождения, накоплением техногенных отвалов золото-содержащих руд все большую актуальность приобретает разработка новых эффективных технологий извлечения мелкого и тонкого золота. Гравитационные методы обогащения достаточно широко применяются при переработке полезных ископаемых. Преимущества этих методов – экономичность, отсутствие вреда для окружающей среды и высокая производительность [1, 2].

Необходимость повышения извлечения мелкого и тонкого золота ставит задачу совершенствования известных и разработку новых высокоэффективных, экологически безопасных обогатительных процессов и аппаратов [3–5].

Данная работа проводится в лаборатории ОПИ Института горного дела Севера и является продолжением исследований, проводимых на крутонаклонном концентраторе, защищенном патентом РФ [6]. Идея создания нового концентратора основана на ранее выявленных особенностях поведения минеральных частиц с различной плотностью и формой, увлекаемых восходящим потоком воды по наклонной поверхности.

На начальном этапе исследований были определены базовые конструктивные параметры концентратора. На основе проведенных экспериментальных работ на крутонаклонном концентраторе были выявлены следующие недостатки: неудовлетворительное извлечение полезного компонента, потери полезного компонента из-за высокого потока воды, неселективное заполнение камер для сбора концентрата. В связи с этим возникла необходимость продолжения исследовательских работ. В поисках устранения выявленных недостатков были внесены изменения в конструкцию донной части концентратора (добавление перечистных пластин с дополнительной системой подачи разжижающей воды). В статье приводятся результаты поисковых работ на последнем этапе опытно-конструкторских и экспериментальных исследований, предусматривающих корректировку конструкции и режимных параметров работы лабораторной модели крутонаклонного концентратора.

Постановка задачи

Крутонаклонный концентратор состоит из корпуса со вставленными пластинами, которые оснащены специальным рифлением. Концентратор имеет бункер для подачи материала, патрубков для подачи транс-

портной воды, патрубков для подачи воды по всему объему концентратора, накопители концентрата с системой разрыхления концентрата, разгрузочное устройство для удаления хвостов.

Концентратор работает следующим образом. Материал в виде гидросмеси (пульпы) поступает через питающую трубку в рабочую зону концентратора, под действием восходящего потока, подаваемого через патрубок, веерообразно перемещается по рифлям осадительной пластины, где происходит разделение частиц по крупности и плотности. В нижней части концентратора расположены камеры для сбора и концентрирования тяжелой фракции. Восходящий поток обеспечивает вынос частиц легкой фракции из разделяемого материала через сливной патрубок концентратора в хвосты.

Гравитационное разделение минеральной смеси в концентраторе в создаваемом потоке гидросмеси основано на двух механизмах: гидроклассификации твердых частиц по крупности и плотности в объеме потока пульпы и разделению минералов в тонком слое воды на поверхности нарифленной наклонной плоскости.

На раннем этапе исследований были определены базовые параметры концентратора: угол наклона хвостовой части не должен быть меньше 45° , наклон рифлей осадительной пластины концентратора – 60° , наклон самого корпуса концентратора – 70° относительно горизонтали [7].

На основе проведенных экспериментальных работ на крутонаклонном концентраторе были выявлены следующие недостатки:

- неудовлетворительное извлечение полезного компонента на примере разделения искусственной смеси, состоящей из речного песка и магнетита, до 50 %;
- высокая засоренность тяжелой фракции (концентрата) в накопительных камерах;
- неравномерность динамических процессов по всей площади рабочей поверхности концентратора.

Проведенные изменения в конструкции донной части концентратора (добавление перечистных пластин с системой подачи разрыхляющей воды) позволили частично сократить объем накапливаемой тяжелой фракции за счет перечистки материала на поверхности осадительных пластин под воздействием дополнительного разрыхляющего потока воды. Но при этом использование дополнительной перечистки в донной части концентратора увеличивает расход воды и усложняет конструкцию.

В целях дальнейшего усовершенствования концентратора продолжены экспериментальные исследования по повышению эффективности разделения минералов, где особое внимание уделено стабильности протекающих динамических процессов по всей рабочей камере концентратора, исключению образования застойных зон за счет управления потоками и повышению качества концентрата в целом.

Материалы и методы исследования

Для экспериментальных исследований в качестве испытуемого материала использовалась смесь речного песка ($\rho \sim 2,5 \text{ г/см}^3$) с магнетитом ($\rho \sim 5,2 \text{ г/см}^3$) крупностью 1,0 мм. Магнетит был выбран в качестве индикатора тяжелой фракции. Такой материал легко выделяется из продуктов обогащения с помощью магнитной сепарации, потому он играет и роль индикатора. Эксперименты проводились на лабораторной модели концентратора, представленной на рис. 1, а, состоящей из корпуса (1), бункера для подачи материала (2), патрубка для подачи транспортной воды (3), патрубка для подачи воды по всему объему концентратора (4), рифлей (5), накопителей концентрата (6), разгрузочного

устройства для удаления хвостов (7) и клапана-отсекателя (8).

В ходе экспериментальных исследований были испытаны варианты установки с регулирующим клапаном-отсекателем (8) для подачи основного потока воды под разными углами концентратора или регулировки вектора направления потока (рис. 1, в, г). При изменении положения клапана-отсекателя (рис. 1, б) появляется возможность управлять веерным (регулируемым) потоком по высоте и менять вектор его направления для того, чтобы установить рациональные скорости потоков по всей поверхности рабочей полости концентратора в зависимости от вещественного состава разделяемой минеральной смеси.

С помощью клапана-отсекателя регулируются потоки гидросмеси, по рабочей поверхности концентратора устанавливается более равномерная подача в надрифленное пространство рабочей полости и тем самым управляется скорость перемещения потока по высоте.

Клапан-отсекатель имеет три условных положения – верхнее, среднее и нижнее. На рисунке 1 представлены наблюдаемые линии потока в зависимости от устанавливаемого положения клапана-отсекателя.

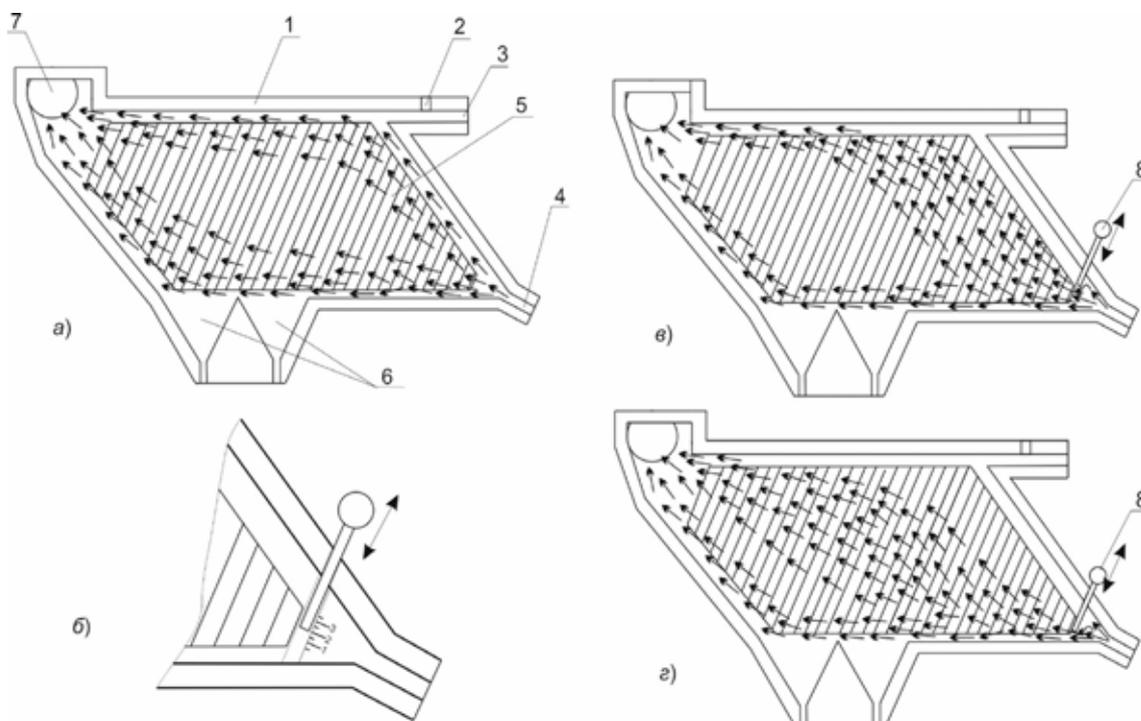


Рис. 1. Линии потоков воды в рабочей зоне крутонаклонного концентратора с клапаном-отсекателем: а) без клапана-отсекателя, б) клапан-отсекатель, в) верхнее положение клапана-отсекателя, г) среднее положение клапана-отсекателя

При свободном доступе потока в рабочую зону концентратора без клапана-отсекателя, поток воды формируется преимущественно в верхней и нижней части концентратора, образуя в центре деки концентратора застойные зоны.

В верхнем положении клапана-отсекателя (полуоткрытый вариант подачи воды) достигается равномерное распределение потока по площади надрифельного пространства, исключая движение гидросмеси по периферии рифлей, в особенности в верхней его части. В нижнем положении клапана наблюдается движение пульпы в нижней трети рифлей, что не обеспечивает использование всей площади для разделения минеральных смесей. А увеличение потока в нижней части увеличивает неселективный вынос тяжелой фракции. При учете всех принятых условий и конструктивных особенностей концентратора, в среднем положении клапана-отсекателя происходит более равномерное распределение потока гидросмеси и по большей площади надрифельного пространства, что не могло не повлиять на результаты по извлечению и выходу имитатора.

При проведении испытаний визуально определялось положение клапана-отсекателя, при котором достигается наиболее устойчивое положение потоков гидросмеси по всей высоте и площади рабочей зоны концентратора. Положение клапана-отсекателя на данном этапе подбирается опытным путем.

В каждом случае необходимы действия с клапаном-отсекателем для управления потоками, т.е. условиями разделения минералов.

Главным условием рациональности формирующихся потоков подаваемой воды и гидросмеси в рабочей зоне концентратора является необходимость исключения застойных зон на рабочей поверхности и зон «пробоя», по которым образуются потоки повышенной скорости.

Благодаря регулировке режимов работы концентратора клапаном-отсекателем, в целом удается избавиться от этих негативных явлений и существенно увеличить площадь эффективной рабочей зоны.

Эксперименты проводились с изменением скорости подачи воды от 0,26 до 0,42 л/с, определяемой расходомером в точке подачи исходной воды в патрубок ввода в концентратор и при углах наклона установки концентратора (деки) 60°, 70°, 80°.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что при малых скоростях подачи воды со скоростью 0,26 и 0,31 л/с при всех углах наклона концентратора, основной материал выпадает в зону накопления тяжелых фракций и происходит неселективное забивание камер, т.е. процесс разделения минералов не происходит. Также за пределы скорости подачи воды свыше 0,5 л/с в концентратор процесс разделения также расстраивается из-за высокой скорости потока.

Проведены серии экспериментов в пределах подаваемого объема потока воды и дебита подачи исходной минеральной смеси, состоящей из 200 г песка и 10 г магнетита, по которым установлены определенные закономерности разделения тяжелых минералов и выделены наиболее характерные точки по параметрам выхода продуктов разделения и извлечения тяжелой фракции (имитатора). При этом основным показателем работы является возможность сокращения материала и уровень потерь с хвостами индикаторов тяжелой фракции.

В табл. 1–3 приведены наиболее характерные (усредненные) результаты экспериментов показателей выхода песка и извлечение индикатора при подаче потока воды со скоростью 0,42 и 0,35 л/с при разных углах наклона концентратора (деки).

Из данных, приведенных в таблицах, следует, что при наклоне концентратора 60° основная масса материала выпадает в нижние накопительные камеры и процесса разделения не происходит. При наклоне концентратора 70° легкая фракция (песок) выделяется в хвостовой патрубок, но при увеличении скорости потока до 0,42 л/с происходит вынос и магнитных индикаторов (тяжелой фракции). Уровень потерь индикаторов 21,75%.

Графическое представление результатов на рис. 2 показывает, что использование клапана-отсекателя существенно влияет на показатели разделения: увеличивается извлечение практически при одинаковом выходе концентрата при скорости подаваемого потока воды 0,35 л/с начиная с угла наклона 70°. При увеличении скорости потока 0,42 л/с (рис. 3) четко вырисовывается условие рациональности разделения, достигающееся при угле наклона концентратора (деки) 70°, при котором сохраняется достаточно высокий уровень извлечения при минимальном значении выхода концентрата.

Таблица 1

Наиболее характерные (усредненные) показатели выхода песка
и извлечение индикатора при наклоне концентратора 60°

№	Продукт	Общий вес, г	Песок, г	Выход песка γ , %	Магнетит, г	Извлечение индикатора ϵ , %
Скорость потока воды 0,42 л/с						
1	Камера 1	14,76	9,23	4,97	5,54	56,16
2	Камера 2	76,86	73,08	39,37	3,78	38,36
3	Хвосты	103,85	103,31	55,66	0,54	5,48
	Всего	195,47	185,61	100,00	9,86	100,00
Скорость потока воды 0,35 л/с						
1	Камера 1	31,10	24,59	12,64	6,51	66,87
2	Камера 2	120,19	117,16	60,25	3,03	31,07
3	Хвосты	52,90	52,70	27,10	0,20	2,05
	Всего	204,18	194,45	100,00	9,74	100,00

Таблица 2

Наиболее характерные (усредненные) показатели выхода песка
и извлечение индикатора при наклоне концентратора 70°

№	Продукт	Общий вес, г	Песок, г	Выход песка γ , %	Магнетит, г	Извлечение индикатора ϵ , %
Скорость потока воды 0,42 л/с						
1	Камера 1	5,28	2,47	1,25	2,81	28,38
2	Камера 2	33,07	28,14	14,23	4,93	49,87
3	Хвосты	169,23	167,08	84,52	2,15	21,75
	Всего	207,57	197,68	100,00	9,89	100,00
Скорость потока воды 0,35 л/с						
1	Камера 1	18,43	12,48	6,41	5,95	60,78
2	Камера 2	51,54	48,57	24,95	2,98	30,39
3	Хвосты	134,46	133,60	68,64	0,87	8,84
	Всего	204,43	194,64	100,00	9,79	100,00

Таблица 3

Наиболее характерные (усредненные) показатели выхода песка
и извлечение индикатора при наклоне концентратора 80°

№	Продукт	Общий вес, г	Песок, г	Выход песка γ , %	Магнетит, г	Извлечение индикатора ϵ , %
Скорость потока воды 0,42 л/с						
1	Камера 1	2,55	1,01	0,53	1,54	15,66
2	Камера 2	15,43	11,43	6,05	4,00	40,66
3	Хвосты	180,81	176,52	93,42	4,30	43,68
	Всего	198,79	188,95	100,00	9,84	100,00
Скорость потока воды 0,35 л/с						
1	Камера 1	5,98	3,21	1,61	2,77	27,39
2	Камера 2	41,07	35,42	17,77	5,66	55,93
3	Хвосты	162,33	160,65	80,62	1,69	16,68
	Всего	209,39	199,27	100,00	10,11	100,00

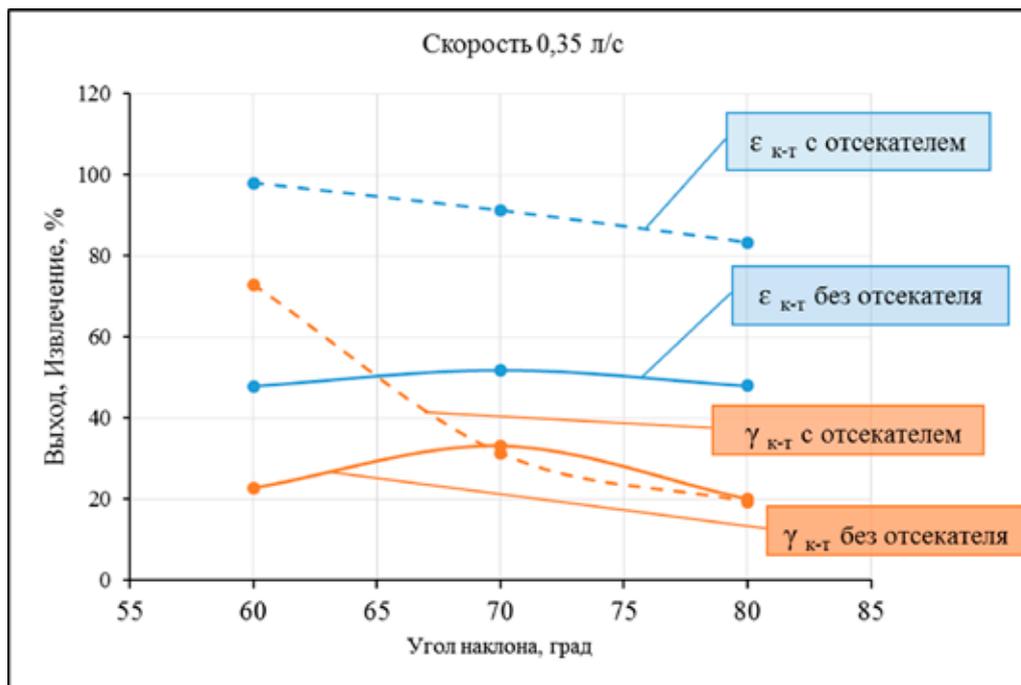


Рис. 2. Сравнительный график извлечения и выхода имитатора концентрата с использованием клапана-отсекателя и без него при скорости потока воды 0,35 л/с

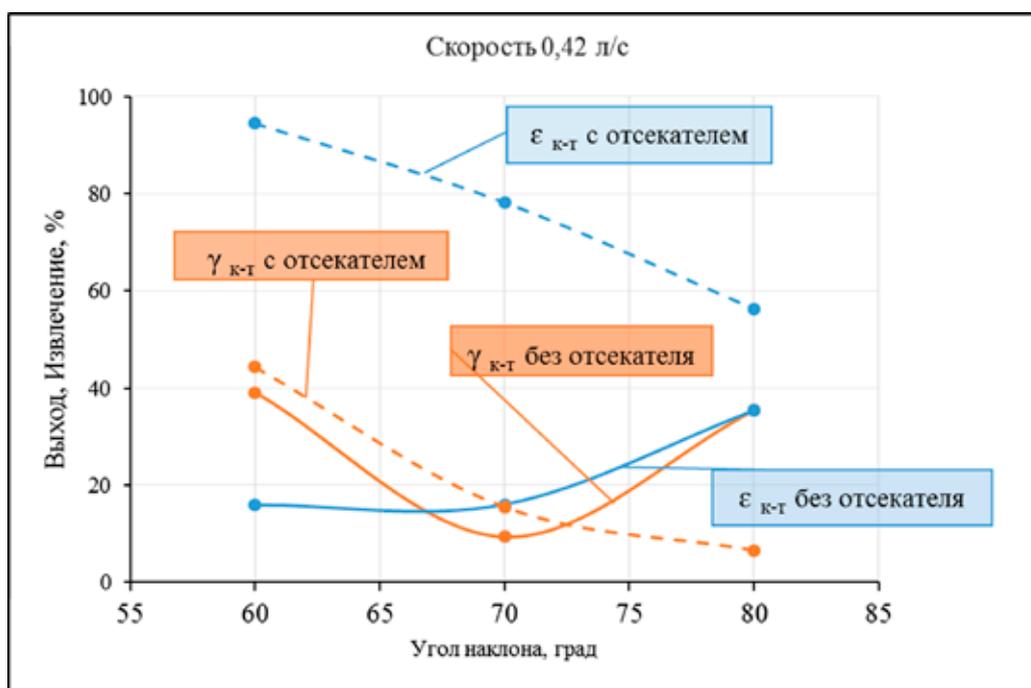


Рис. 3. Сравнительный график извлечения и выхода концентрата с использованием клапана-отсекателя и без него при скорости потока воды 0,42 л/с

При этом увеличение скорости подачи воды не всегда приносит положительный эффект. На рис. 4 даны сравнительные кривые выхода хвостов и связанные с ним по-

тери тяжелой фракции. Выявлена пропорциональная зависимость выхода и потери имитатора в зависимости от угла наклона и скорости потока.

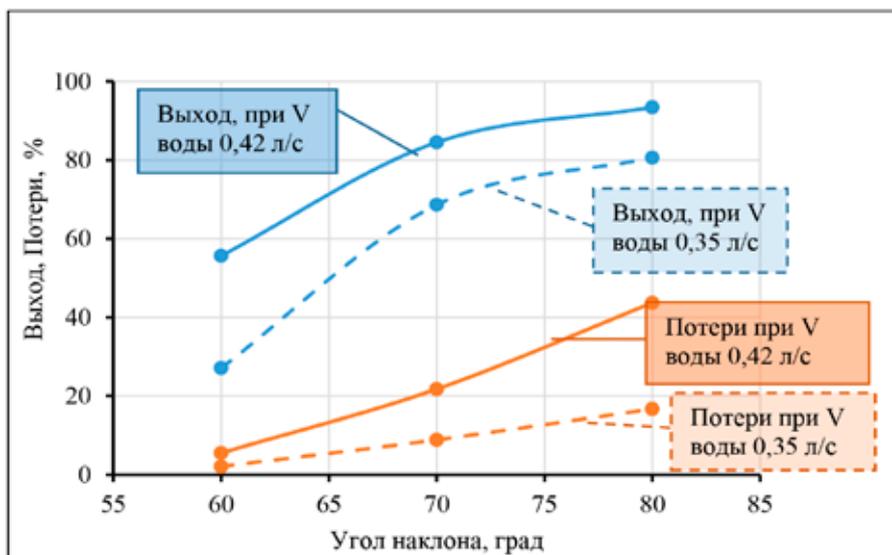


Рис. 4. Зависимость выхода в хвосты песка и потери индикатора

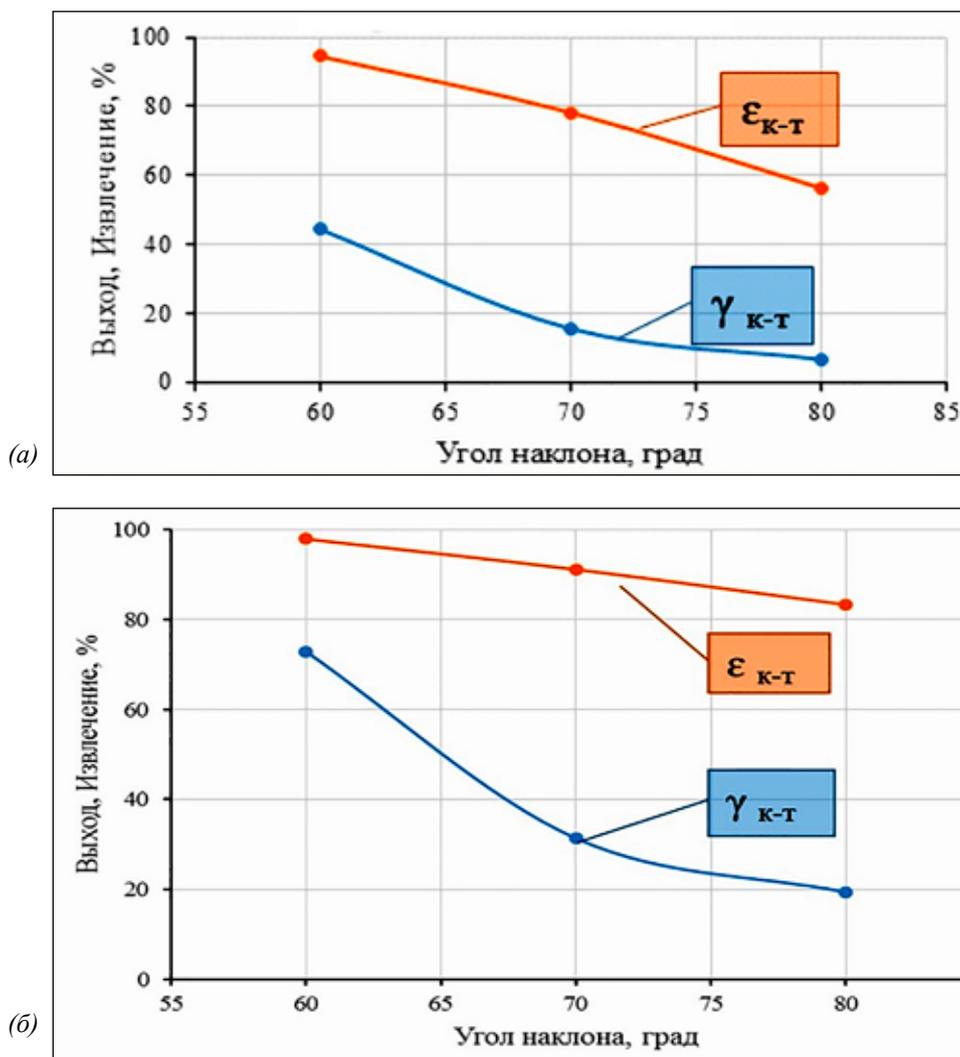


Рис. 5. Зависимости выхода концентрата и извлечения тяжелой фракции при различных углах концентратора и подачи потока воды со скоростью 0,42 (а) и 0,35 л/с (б)

В целом при рациональном положении клапана-отсекателя получены зависимости извлечения от 49 до 90,8% и выхода концентрата от 26 до 40% от наклона концентратора при скорости подачи воды 0,35 л/с (рис. 5, а). Аналогичные зависимости получены при подаче потока воды 0,42 л/с (рис. 5, б), где диапазон устойчивого выделения тяжелой фракции от 76 до 90,1% достигается при выходе концентрата в пределах от 22 до 40%.

Таким образом, при использовании клапана-отсекателя наиболее технологичные показатели достигаются при наклоне концентратора 70°, где извлечение тяжелой фракции (магнетита) достигает 91,16% при скорости 0,35 л/с.

Заключение

Использование клапана-отсекателя дает возможность регулирования потока воды внутри концентратора для улучшения извлечения тяжелой фракции. Найдены условия эффективного разделения минеральных частиц, наиболее рациональные результаты получены при наклоне концентратора 70°, где извлечение тяжелой фрак-

ции (магнетита) достигает 91,16% при скорости 0,35 л/с.

Список литературы

1. Кармазин В.В., Измалков В.А., Раджабов М.М. Анализ мирового опыта и исследования НТЦ МГГУ по извлечению мелкого тонкого золота при отработке россыпных и прибрежных районов золотосодержащих месторождений, включая техногенные // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 7. С. 73–78.
2. Раджабов М.М., Чапанов И.А., Местоева Х.Х., Шадыева Э.Б. Повышение извлечения мелкого и тонкого золота на основе применения вибрационно-гравитационного концентратора // Золото и технологии. 2020. № 2. С. 84–88.
3. Александрова Т.Н., Кусков В.Б. Разработка методов повышения эффективности гравитационного извлечения мелкого и тонкого золота из россыпей различного генезиса // Записки Горного института. 2014. Т. 210. С. 69–77.
4. Oparin V.N., Smolyanitsky B.N., Sekisov A.G., Trubachev A.I., Salikhov V.S., Zikov N.V. Promising mining technologies for gold placers in Transbaikalia // Journal of Mining Science. 2017. Т. 53. № 3. P. 489–496.
5. Kökkilç O., Langlois R., Kristian E. A design of experiments investigation into dry separation using a Knelson Concentrator // Minerals Engineering. 2015. Vol. 72. P. 73–86.
6. Филиппов В.Е., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С., Саломатова С.И. Крутонаклонный концентратор. Пат. РФ № 2001101048/03, Патентообладатель ИГДС СО РАН. 2003. Бюл. № 1.
7. Матвеев И.А., Еремеева Н.Г., Матвеев А.И., Монастырев А.М. Концентратор для обогащения мелкого золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 12. С. 61–68.

УДК 556.04

DOI 10.17513/use.38159

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЬГИНСКОГО УГОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (2012–2019 ГГ.)

Ноговицын Д.Д., Никулин К.В., Сергеева Л.П., Пинигин Д.Д.

*Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru*

В статье рассматривается потенциальное воздействие строительства и эксплуатации Эльгинского угольного комплекса (ЭУК) на гидрохимическое состояние поверхностных вод региона. Открытая разработка Эльгинского угольного месторождения в ходе развития ЭУК производится на водоразделе р. Мулам и Алгома, входящих в гидрографическую сеть р. Учур. В ходе полевых работ 2012–2019 гг. отбор проб воды для анализа выполнен в двух районах: на правых притоках р. Алгома и на оз. Большое Токо. По данным анализа отобранных проб выявлен новый гидрохимический состав водных объектов на основе общепринятых в РФ методик. Во всех пробах превышены предельно допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}), кроме оз. Большое Токо. Выявленные изменения носят предположительно сезонный характер. Сток на притоках Алгомы и Мулам в зимний период полностью прекращается или уменьшается до исчезающе малых величин. Для выявления закономерностей формирования качественного состояния водных объектов в зоне воздействия открытой добычи угля в условиях многолетнемерзлых пород необходимы дальнейшие систематические наблюдения в период после достижения проектной плановой добычи высококачественного угля, ориентированного для экспорта.

Ключевые слова: Эльгинское угольное месторождение, поверхностные воды, химический анализ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FWRС-2021-0014.

CHANGES IN THE HYDROCHEMICAL STATE OF SURFACE WATERS IN THE AREA AFFECTED BY THE ELGA COAL COMPLEX (2012–2019)

Nogovitsyn D.D., Nikulin K.V., Sergeeva L.P., Pinigin D.D.

*Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru*

The article examines the influence of the Elga Coal Complex (ECC) on the hydrochemical state of surface waters. Open-pit mining of the Elga coal deposit takes place on the watershed of the Mulam and Algoma rivers, which are part of the hydrographic network of the Uchur river. During field work in 2012–2019, water samples for analysis were taken in two areas: on the right tributaries of the Algoma river and Bolshoye Toko Lake. Based on the analysis of selected samples, a new hydrochemical composition of water bodies was identified based on generally accepted methods in the Russian Federation. All samples had exceeded the maximum permissible concentrations for water bodies of fishery importance (MPC_f), except for Lake Bolshoye Toko. The identified changes are presumably seasonal. In winter the flow on the tributaries of the Algoma and Mulam completely stops or decreases to vanishingly small values. To identify patterns in the formation of the qualitative state of water bodies in the zone affected by open-pit coal mining in permafrost conditions, further systematic observations are required until the planned production of high-quality coal oriented for export is achieved.

Keywords: Elga coal deposit, surface waters, chemical analysis

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FWRС-2021-0014.

Эльгинское угольное месторождение – одно из крупнейших месторождений коксующегося угля в мире – расположено в юго-восточной части РС(Я), на территории Нерюнгринского района. Разработка месторождения началась в 2008 г., а в августе 2011 г. добыт первый уголь. На Эльгинском месторождении применяют различные методы обогащения коксующегося угля, который отличается высоким содержанием летучих веществ, высокой текучестью,

низким содержанием серы, азота, фосфора и высокой теплотворной способностью [1].

Разработка месторождения неизбежно приводит к изменению природной среды, экологическим и социально-экономическим последствиям. В результате целостности природной среды, тесной взаимосвязанности ландшафтов и их компонентов любое антропогенное вмешательство в природные процессы сопровождается цепными реакциями [2].

Основное воздействие приходится непосредственно на водную среду, которая наряду с воздушной средой является наиболее мобильным компонентом геосистем [2]. Водные объекты в зоне Эльгинского угольного месторождения изучены неравномерно. Гидрохимический режим водных объектов рассматриваемой территории характеризуется слабой изученностью из-за большой удаленности от обжитых районов республики (от Нерюнгри 415 км) (рис. 1) [3].

В связи с этим сравнение результатов химического анализа проб воды водных объектов, примыкающих к Эльгинскому угольному месторождению, отобранных в летне-осеннюю межень разных лет, должно указывать на изменение интенсивности техногенеза на данной территории.

Цель работы – оценка изменения гидрохимического состояния поверхностных водных объектов вблизи Эльгинского угольного комплекса.

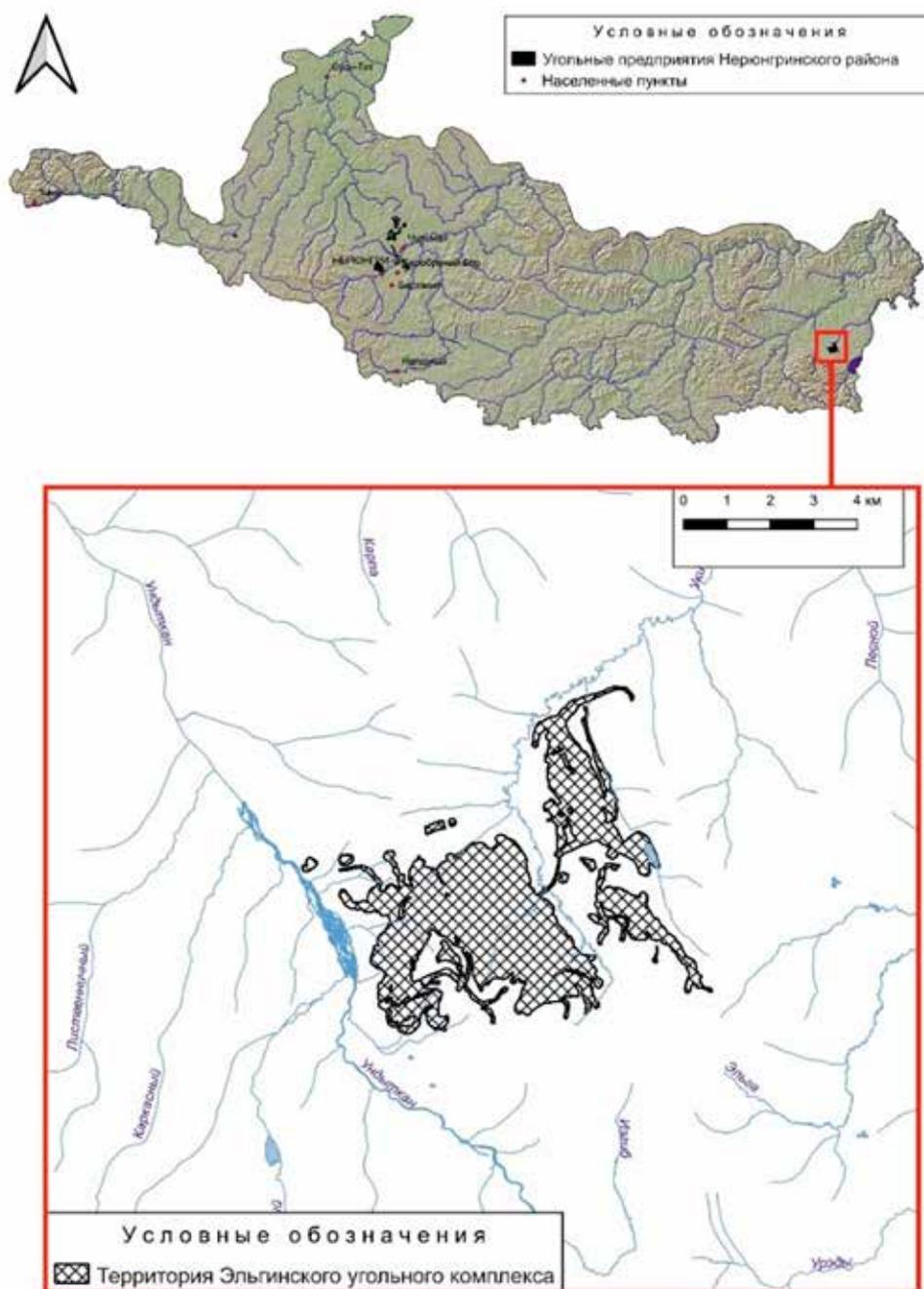


Рис. 1. Расположение исследуемой территории в Нерюнгринском районе РС (Я)

Материалы и методы исследования

Базовыми материалами послужили результаты экспедиционных и стационарных исследований водных объектов на территории Эльгинского угольного месторождения по общепринятым в гидрохимии методикам [4, 5]. Отбор проб воды производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Донные отложения отбирались по ГОСТ 17.1.05-85 [6]. В пробах определялись физико-химические показатели, содержание биогенных элементов и органических веществ. Также производился контроль по превышению предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}).

В гидрологическом отношении район расположения Эльгинского угольного месторождения принадлежит к бассейну р. Алдан. Все имеющиеся гидрологические посты в бассейне Алдана расположены, как правило, далеко от исследуемой территории и на крупных реках, поэтому не могут быть использованы в качестве аналогов гидроло-

гического режима малых водотоков рассматриваемого участка.

Водотоки исследуемого района маловодные, в теплый сезон сильно мелеют. Реки извилисты, с малыми уклонами. Долины водотоков слабо разработанные, асимметричные, неясно выраженные. Поверхностные водные объекты на рассматриваемой территории не используются в качестве источников водоснабжения, поэтому опробование и оценка качества производится для воды, не используемой для водоснабжения, но являющейся компонентом окружающей среды, подверженным загрязнению, а также агентом переноса и распространения загрязнения.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе наземных обследований в летне-осенний меженный период 2012 и 2019 гг. был произведен отбор проб природных вод в зоне влияния Эльгинского угольного комплекса. Водные объекты, на которых был произведен отбор проб воды, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Точки отбора проб воды (2012 и 2019 гг.)

Бассейн	Период	
	Август 2012	Август 2019
р. Алгома	р. Алгома, Ундытын, Ундыткан	р. Ундыткан
р. Мулам	р. Утук, Мулам, Укикит, Эльга, оз. Бол. Токо	р. Утук, Мулам, Укикит, Укикиткан, Урэды, оз. Бол. Токо

Таблица 2

Нормированные показатели КХА проб воды зоны воздействия ЭУК (2012 и 2019 гг.)

Группа показателей	Показатель	Год (месяц)	
		2012 (август)	2019 (август)
Физические свойства	Взвешенные вещества	+	+
	Прозрачность, рН, жесткость	+	–
Солевой состав	Сухой остаток, хлориды, сульфаты, кальций, магний, натрий, калий	+	+
	Гидрокарбонаты	+	–
Биогенный состав	Аммония-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, фосфаты, железо	+	+
Загрязняющие вещества органического происхождения	ХПК, фенолы, нефтепродукты	+	+
	АПАВ	+	–
Тяжелые металлы	Медь, цинк, фторид, марганец, свинец, барий, литий	+	+
	Никель, хром, кобальт, мышьяк, кадмий, ванадий, висмут, алюминий, таллий	–	+

В ходе количественного химического анализа отобранных проб были определены показатели воды по группам: физические свойства, солевой состав, биогенный состав, загрязняющие вещества органического происхождения и тяжелые металлы. В табл. 2 показаны нормированные показатели воды 2012 и 2019 гг. и их ПДК_{рх} согласно [7].

На основе результатов количественного химического анализа проб воды за 2012 и 2019 гг., а также рассмотрения превышений ПДК_{рх} дана оценка гидрохимического состояния воды исследуемых водных объектов в зоне влияния Эльгинского угольного комплекса (ЭУК).

Физические свойства. Единственный показатель физических свойств, по которому имеется возможность сравнить пробы двух лет – *концентрация взвешенных веществ* –

позволяет утверждать о приросте данного показателя в 2019 г. на таких реках, как Укикит и Ундыткан. Установлено предположительное негативное воздействие эксплуатации ЭУК на поверхностные воды, так как данные водотоки на современном этапе являются наиболее уязвимыми к техногенному прессингу ввиду географической близости к зоне ведения работ, например к участку «Западный» Эльгинского угольного месторождения.

Солевой состав. При сравнении *сухого остатка* в пробах, отобранных в разные годы, выявлен значительный прирост концентраций без превышения ПДК_{рх} на р. Ундыткан (в 1,4 раза) и р. Укикит (в 2,6 раз), в то время как на р. Мулам, Утук и оз. Бол. Токо в 2019 г. наблюдается понижение по данному показателю (рис. 2).

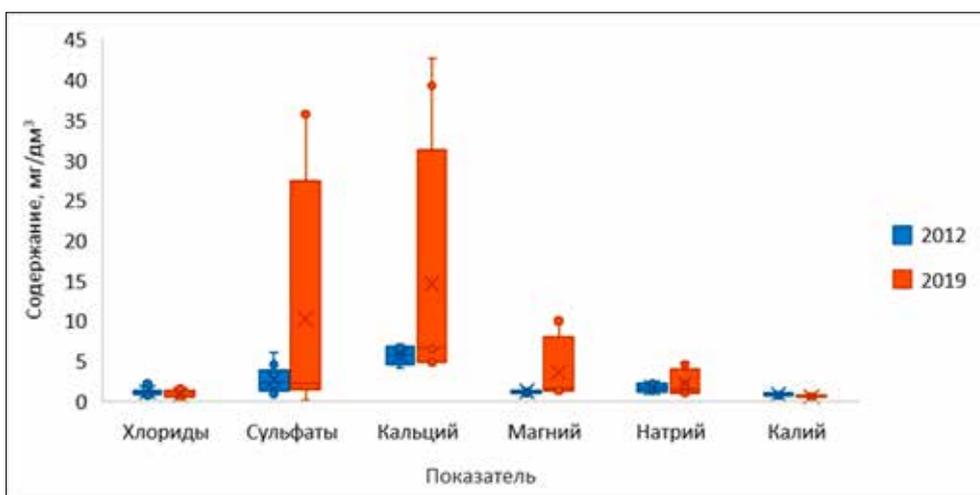


Рис. 2. Солевой состав проб воды

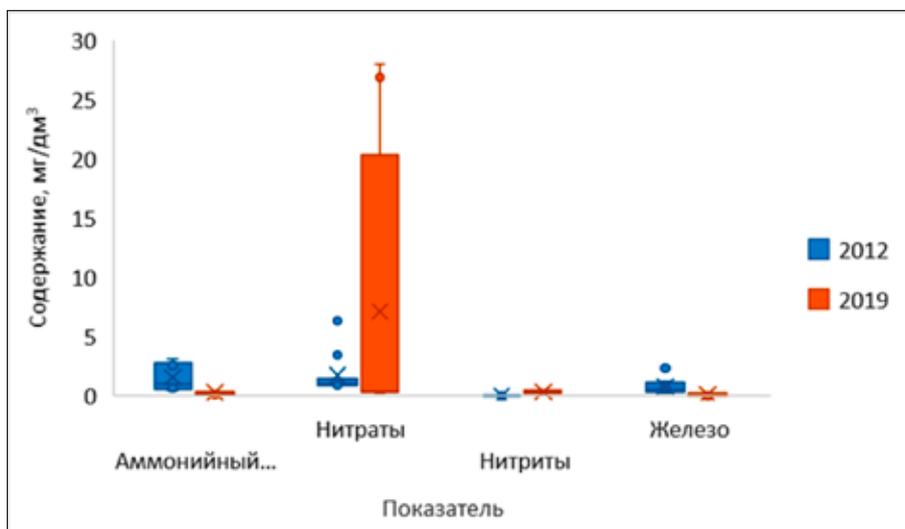


Рис. 3. Биогенный состав проб воды

Биогенный состав. Наиболее индикативным показателем в биогенном составе двух лет оказались железо, аммонийный азот и нитраты, так как в большинстве проб концентрация фосфатов и нитритов не превысила предельную чувствительность измерительных приборов.

Аммонийный азот. По сравнению с 2012 г. в 2019 г. зафиксировано повышение показателей по содержанию аммонийного азота во всех пробах кроме отобранной в устье р. Утук, где содержание аммиака в 2012 г. равнялось 3,1 мг/дм³, что составило более 6,0 ПДК_{рх} (рис. 3). Это указывает на некоторое улучшение санитарного состояния воды в оз. Бол. Токо, которое возможно связать с гидрологическими особенностями конкретного года.

Нитраты – конечный продукт биохимического окисления аммиака в водоеме. Высокие содержания нитратов указывают на «прошлые» загрязнения органическими веществами. Также повышенное содержание нитратов связано с ростом бактерий и водорослей, ведущих к усиленному расходу кислорода, что приводит к губительным для ихтиофауны заморным явлениям [4].

В воде исследованных объектов содержание нитратов незначительное. Только в пробах воды из р. Укикит ниже и выше сброса сточных вод в 2019 г. обнаружено повышенное содержание нитратов – 26,9 и 28,0 мг/дм³ соответственно.

Железо. Содержание данного элемента почти во всех пробах обоих лет превышает ПДК_{рх}, равную 0,1 мг/дм³, причем большие значения выявлены в 2012 г.

Загрязняющие вещества органического происхождения. ХПК. Оценка содержания органического вещества проводилась по результатам определения химического потребления кислорода (ХПК) или бихроматной окисляемости. Среднее содержание ХПК в 12 пробах 2012 г. составило 24,3 мг/дм³, в 8 пробах 2019 г. – 32,5 мг/дм³, при этом для первых характерен наибольший разброс, достигающий более чем десятикратной разницы.

По содержанию *фенолов и нефтепродуктов* наблюдается разнонаправленность изменений при небольшом разбросе концентраций для фенолов (рис. 4). Уменьшение средней величины содержания фенолов в 2012 и 2019 гг. (с 4,6 до 2,9 мкг/дм³) предположительно указывает на влияние естественных и сезонных факторов несмотря на кратные превышения ПДК_{рх} во всех отобранных пробах.

Повышение данного показателя для нефтепродуктов с 8,4 до 13,9 мкг/дм³, а также большой разброс для 2019 г. свидетельствует об их потенциально техногенном характере. Максимальные концентрации нефтепродуктов зафиксированы в пробах воды р. Укикит, в которых содержание нефтепродуктов в 2019 г. равнялось 14,7 и 37 мкг/дм³ при ПДК_{рх} = 50 мкг/дм³.

Тяжелые металлы. Медь. Повышенное содержание в воде меди является природной особенностью Южной Якутии. В 2019 г. содержание меди увеличилось в 3 раза (рис. 5), максимальное значение – 4,6 мкг/дм³ – отмечено в воде р. Укикит, ниже сброса сточных вод.

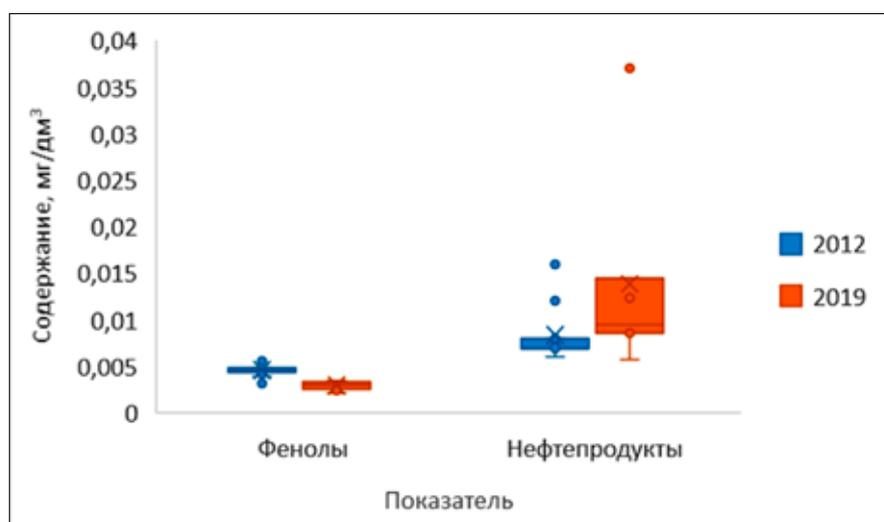


Рис. 4. Содержание веществ органического происхождения

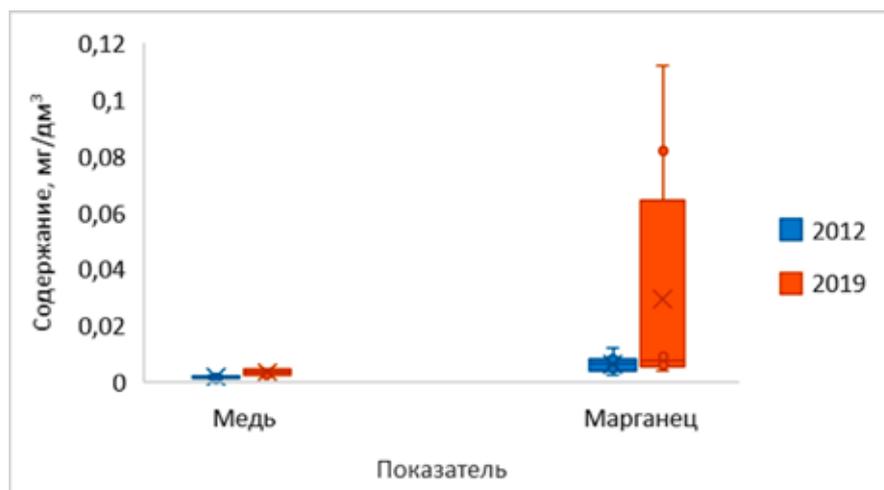


Рис. 5. Содержание меди и марганца в отобранных пробах воды

Содержание *лития, бария и цинка* в подавляющем большинстве проб воды фиксируется ниже или на нормируемом уровне.

Марганец. Максимальное значение марганца, равное 0,112 мг/дм³, отмечено в р. Укикит, выше сброса сточных вод, что составляет более 11 ПДК, а в воде р. Ундытын выше ж/д моста достигает предельно допустимой концентрации. Во всех остальных обследованных водных объектах содержание марганца не превышает допустимых пределов (рис. 5).

Свинец. В 2012 г. содержание воды во всех 12 пробах не превышало предельную чувствительность прибора, равную 2 мкг/дм³. В 2019 г. показатель превысил данную отметку, а также в пробах воды р. Укикиткан и Ундыткан достиг 1,05–1,1 ПДК_{рх}.

Заключение

Негативным результатом деятельности угольной отрасли являются выбросы пыли и газов в атмосферу. Воздействие угольной пыли на окружающую среду обусловлено кратковременным нахождением ее непосредственно в воздухе и последующим оседанием на водную поверхность. Таким образом, в результате антропогенного вмешательства происходит изменение гидрохимического режима водотоков на исследуемой территории.

В период высоких вод (весеннее половодье, летне-осенние паводки) вода выходит из русла водотоков, происходит вымывание элементов из водосборной площади, все это приводит к значительному изменению гидрохимического режима водных

объектов, бассейны которых непосредственно примыкают к зоне ведения горнодобычных работ на ЭУК.

Выявленные изменения носят временный характер. Для подтверждения результатов следует производить систематические наблюдения, чтобы выявить тенденции процессов, которые, возможно, носят случайный характер. Такое положение вызывает настоятельную необходимость расширить исследования в этой области.

Список литературы

1. Ксенофонтова М.И. Оценка современного состояния водных объектов Эльгинского угольного месторождения // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 157–159. URL: <https://moluch.ru/archive/100/22506/> (дата обращения: 29.06.2023).
2. Колесникова Л.А., Ковальчук Т.В. Проблемы и перспективы экологической безопасности горнодобывающих регионов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 2–1. С. 275–286.
3. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. Гидрологическое и гидрохимическое состояния поверхностных вод зоны влияния Эльгинского угольного месторождения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9238> (дата обращения: 17.11.2023).
4. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. С. 310–318.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. Л.В. Боевой Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1037 с.
6. ГОСТ Р 51592-2000 Вода [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008006> (дата обращения: 29.06.2022).
7. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (с изменениями от 10.03.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 30.10.2023).

УДК 66.047

DOI 10.17513/use.38160

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ОБЖИГА ОКОМКОВАННОГО РУДНОГО СЫРЬЯ, ОБОГАЩЕННОГО СВОБОДНЫМ УГЛЕРОДОМ

Орехов В.А., Бобков В.И., Быков А.А.

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,
Смоленск, e-mail.: alexlby@mail.ru

В данной статье представлены результаты исследования особенностей температурных режимов обжига окомкованного фосфорного сырья, обогащенного углеродосодержащими примесями, с целью определения направлений возможных улучшений энергоэффективных характеристик исследуемого процесса. В качестве параметров анализа рассматривалась прочность к механическому воздействию окатышей, нагретых до различных температур, а также влияние содержания кокса на их прочность. В процессе проведения эксперимента было реализовано несколько методов термического анализа структуры обожженных окатышей с целью установления закономерностей, влияющих на процесс обжига окатышей, обогащенных углеродными примесями. Проведенный анализ позволил установить взаимосвязь между прочностью окатышей и степенью выгорания кокса и реализацией температурного режима их обжига с учетом скорости осуществления данного технологического процесса. Полученные результаты эксперимента продемонстрировали неоднозначную зависимость прочности окатышей от реализации температурного режима обжига и концентрации добавленного кокса. Таким образом, для установления дополнительных параметров полученной многофакторной зависимости в процессе реализации технологического процесса были осуществлены также структурные и микроручевые исследования химико-физического состава рудного сырья и фактуры обожженных окатышей. В результате проведенного исследования были получены оптимальные условия обжига фосфоритовых окатышей, позволяющих в дальнейшем улучшить функционирование обжиговой машины.

Ключевые слова: термически активируемые процессы, рудное сырье, фосфоритовый окатыш, микроручевой анализ, термогравиметрический анализ, обжиг, выгорание кокса

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-11-00335.

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF HIGH-TEMPERATURE FIRING MODES OF PELLETIZED ORE RAW MATERIALS ENRICHED WITH FREE CARBON

Orekhov V.A., Bobkov V.I., Bykov A.A.

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk,
e-mail: alexlby@mail.ru

This article presents the results of a study of the peculiarities of the temperature regimes of firing of pelletized phosphorous raw materials enriched with carbon-containing impurities in order to determine the directions of possible improvements in the energy-efficient characteristics of the process under study. The strength to mechanical action of pellets heated to various temperatures, as well as the influence of the coke content on their strength, were considered as parameters of the analysis. During the experiment, several methods of thermal analysis of the structure of fired pellets were implemented in order to establish patterns affecting the firing process of pellets enriched with carbon impurities. The analysis made it possible to establish the relationship between the strength of pellets and the degree of coke burnout and the implementation of the temperature regime of their firing, taking into account the speed of this technological process. The obtained experimental results demonstrated an ambiguous dependence of the strength of pellets on the implementation of the firing temperature regime and the concentration of added coke. Thus, in order to establish additional parameters of the obtained multifactorial dependence during the implementation of the technological process, structural and microbeam studies of the chemical and physical composition of ore raw materials and the texture of the fired pellets were also carried out. As a result of the conducted research, optimal conditions for firing phosphorite pellets were obtained, which further improve the functioning of the firing machine.

Keywords: thermally activated processes, ore raw materials, phosphorite pellet, thermogravimetric analysis, roasting, microbeam analysis, coke burnout

The study was carried out with financial support from the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 22-11-00335.

Современные потребности промышленности предъявляют необходимость улучшения процессов высокотемпературной обработки окомкованного фосфоритового сырья с целью повышения энергоэффектив-

ности существующих обжиговых машин. Исследование данных процессов позволит оптимизировать химико-энерготехнологические процессы нагрева окатышей и системы управления термически активируемыми

процессами в обжигаемом слое, что даст возможность получать окатыши с более высокими показателями прочности и однородности. В результате производимая отечественными предприятиями продукция станет более конкурентоспособной на международном рынке. В настоящее время получены положительные экспериментальные данные оптимизации процесса обжига фосфоритовых окатышей, гранулированных углеродосодержащими веществами в промышленных установках [1, 2]. При этом внедрение данного метода во всеобщую практику требует исследования параметров тепло- и массопереноса в таких видах окатышей, получения сведений об особенностях процесса обжига и прокалики модифицированного сырья. Та-

ким образом, получение необходимых параметров и определяет значимость и новизну проведенного исследования.

Цель исследования – определение особенностей существенных химико-технологических показателей процесса высокотемпературной обработки фосфоритового рудного сырья, обогащенного углеродосодержащими веществами, в обжиговой конвейерной машине.

Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента с целью изучения особенностей протекания процессов спекания и прокалики окатышей был использован фосфорит, химический состав которого представлен в таблице.

Химический состав экспериментального образца

Основные компоненты	CaO	P ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO ₂
Процентное содержание	41,94	31,25	3,97	1,12	14,68	1,99

Экспериментальный образец сырья был подвергнут размальванию в барабанной шарообразной мельнице и разделен на три части с целью сравнения нового метода с существующим. Первая часть сырья была задействована для создания контрольной группы окатышей, не обогащенных углеродосодержащими веществами. Во вторую часть сырья в качестве углеродосодержащего вещества добавлялось 5% металлургического кокса с содержанием серы 0,8% и зольностью 13,5%, а в третью часть экспериментального образца было добавлено 10% кокса, тем самым была представлена возможность анализа протекающих процессов от уровня содержания свободного углерода в исследуемых образцах. После чего с помощью тарельчатого гранулятора с эффективным диаметром 1 м происходило формирование окатышей всех трех групп образца. При этом показатель их влажности оказался равным 10±1% [3].

В дальнейшем в соответствии с имеющейся технологией производилась сушка окатышей и их обжиг с температурным контролем в трубчатой печи. Обжиг осуществлялся тремя методами с целью получения многосторонних показателей данного процесса. В первом и втором методах нагрев осуществлялся в температурном интервале 1000–1350 °С с разными скоростями. В первом случае со скоростью 17 °С/мин, во вто-

ром – со скоростью 25 °С/мин. Третий режим соответствовал стандартному режиму работы обжиговой машины [4].

Для проведения термомеханического анализа из обожженных окатышей всех трех групп сырья изготавливались образцы в форме цилиндров длиной 10–12 мм и диаметром сечения 4 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты термомеханического анализа прочности окатышей различной температуры спекания и прокалики для первого и второго режимов работы печи представлены на рис. 1.

Анализ представленных результатов демонстрирует немонотонную температурную зависимость прочности окатышей. При первом режиме в диапазоне температур 1000–1100 °С наблюдается резкий скачок повышения прочности окатышей, не содержащих примесей кокса, а при дальнейшем повышении температуры плавное увеличение данного параметра. Результаты второго режима демонстрируют незначительный скачок увеличения прочности в интервале 1100–1250 °С по сравнению с первым режимом, и в целом режим характеризуется относительно плавным ростом прочности. Совершенно по-иному ведут себя окатыши, содержащие примеси кокса. Из графика

видно, что при обжиге до 1000 °С максимальной прочностью отличаются окатыши, включающие 10% кокса, а при температурах свыше 1050 °С, наоборот, высокая прочность характерна для 5%-ных образцов. Скорость обжига также существенно влияет на прочность окатышей, демонстрируя высокие показатели при меньших значениях выбранной скорости.

Результаты третьего стандартного режима работы обжиговой печи представлены на рис. 2.

Анализ результатов третьего режима демонстрирует повышение прочности окатышей, а также показывает изменение температурных и примесных зависимостей прочности. При низких температурах (до 1030 °С), а с дальнейшим ростом температуры наибольшую прочность показывают 5%-ные образцы. Интересные результаты изменения прочности при третьем режиме работы демонстрируют образцы с 10% кокса. При температурах выше 1210–1250 °С происходит резкое снижение их прочности.

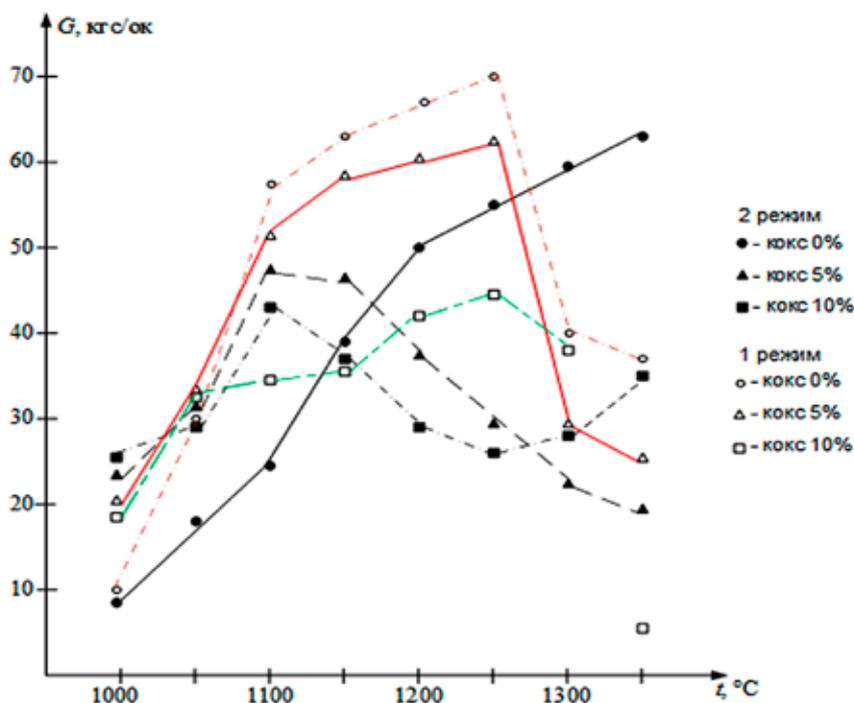


Рис. 1. Результаты исследования прочности образцов сырья в первом и втором режимах обжига

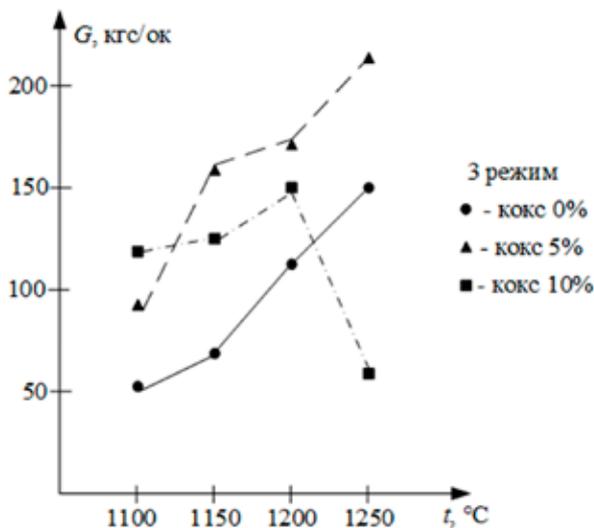


Рис. 2. Результаты исследования прочности окатышей при третьем режиме работы

Таким образом, экспериментальные данные демонстрируют неоднозначность влияния добавок кокса на конечную прочность окатышей при их обжиге в разных температурных режимах функционирования обжиговой машины.

Воздействие углеродосодержащих добавок на спекание и прокалку окатышей имеет весьма сложный характер, и изучение данных закономерностей имеет значительную практическую ценность. Выгорание в окатыше кокса обеспечивает подвод дополнительного тепла, что является положительным фактором процесса обжига, но и одновременно повышает пористость материала, что отрицательно сказывается на конечном продукте [5]. Так, например, обжиг на низких температурах при добавлении 5% содержания кокса позволит почти в два раза повысить прочность окатышей по сравнению с образцами, не содержащими добавки, и при этом демонстрирует возможность понижения температуры обжига на 80–100 °С, что позволит сэкономить природный газ, используемый при работе печи.

В процессе эксперимента определялась степень выгорания кокса η от температурного режима работы печи, результаты которого представлены на рис. 3.

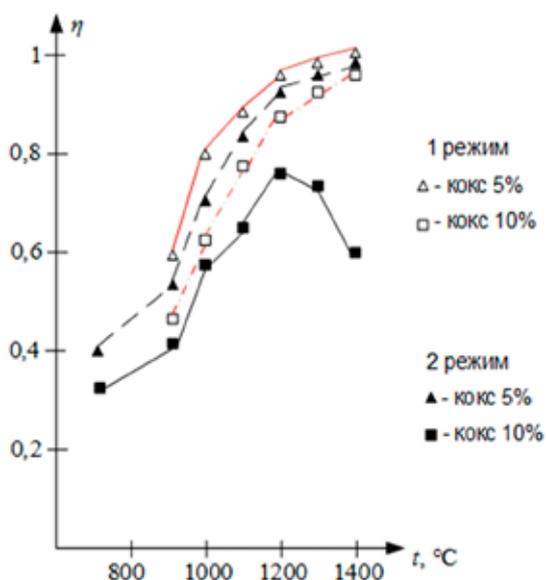


Рис. 3. Экспериментальная зависимость температурного выгорания примесей

Во втором режиме наблюдается явление фиксации примесей при увеличении скорости нагрева с прекращением их выгорания и сохранением в образце при увеличении температуры плавления. Размер сферической

зоны, содержащей невыгоревшие элементы углеродных примесей, определял уровень их выгорания в образцах сырья [6, 7].

Результаты на графике демонстрируют в 10% образцах снижение степени выгорания кокса с ростом температуры, но на самом деле это не так, и проведенный в дальнейшем многолучевой анализ показал, что рост размера невыгоревшего ядра связан с образованием больших пустот в образцах.

С целью всестороннего выявления влияния углеродосодержащих примесей на процесс обжига окомкованного сырья был реализован в условиях обычного воздуха и нейтрального азота термический анализ. Первый анализ характеризует ситуацию, возникающую в поверхностных слоях, а второй демонстрирует то, что характерно для внутренней части окатыша. Данные термической гравиметрии показали, что в температурном интервале от 1000 до 1350 °С наблюдается потеря массы окатышей в 2,5% и объясняется разложением карбонатов, а при достижении температуры в 850 °С появляется еще и потеря массы, причиной которой является удаление углекислого газа из кристаллической решетки фосфатного вещества.

Термический анализ показал, что наличие примеси кокса не влияет на процесс декарбонизации в связи с тем, что он успевает выгореть до начала данного процесса. Иная ситуация возникает при несгорании кокса. В этом случае процесс декарбонизации происходит существенно интенсивней. Вторым важнейшим фактором термического анализа стало рассмотрение термического расширения Δl материала окатышей трех экспериментальных групп образцов в процессе их нагрева. Результаты термического расширения представлены на рис. 4.

Первая группа образцов, без содержания кокса, при нагреве и изотермическом выдержке значительным термическим расширением не обладает. Образцы с 5% добавкой в окислительной среде претерпевают большее расширение по сравнению с первыми образцами, а самым значительным расширением обладают 10% образцы. Кроме того, после достижения температуры 1170 °С в примесных образцах наблюдается усадка порядка 3%.

Для выяснения изменения внутренней структуры окатышей в ходе эксперимента осуществлялся микролучевой анализ различных участков сырого сырья и окатышей, прокаленных до разных температур [8, 9].

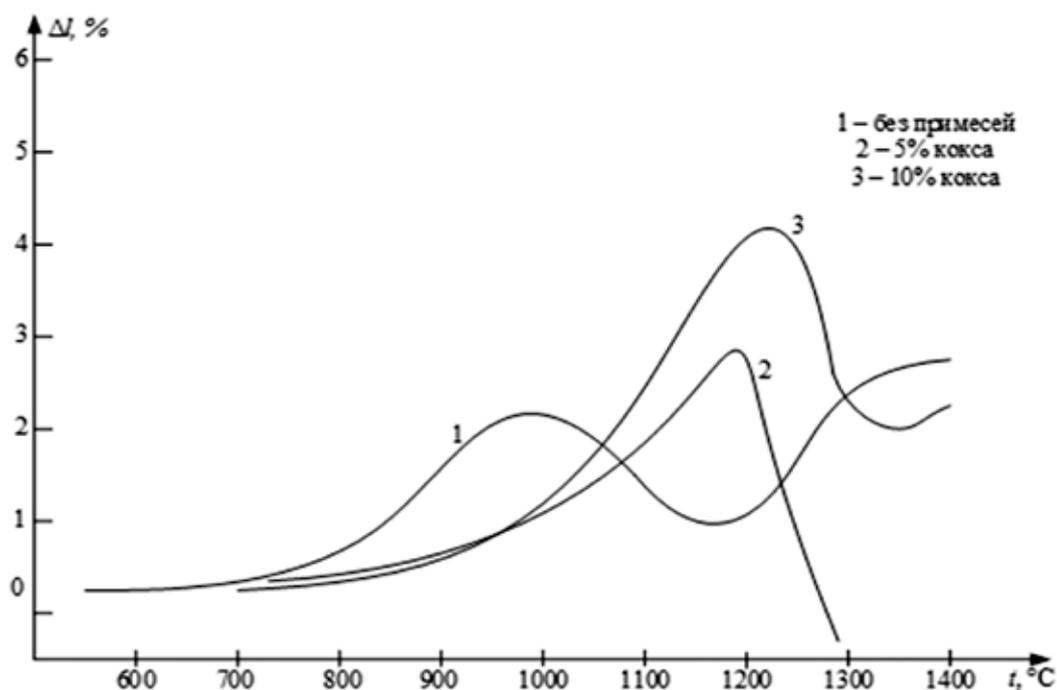


Рис. 4. Результаты анализа термического расширения экспериментальных групп окатышей в окислительной среде

Анализ сырого сырья выявил неоднородность содержания фосфора в различных слоях. Увеличение температуры обжига продемонстрировало рост отношения кальция к фосфору в центральных слоях образцов и уменьшение у поверхности. При низких температурах работы (до 700 °С) значительной модификации соотношения и структуры материала в целом не наблюдалось, в примесных образцах происходило незначительное выгорание кокса на глубину от 0,9 до 1,2 мм.

С увеличением температуры до 900 °С начинают проявляться признаки декарбонизации фосфора, а именно появляются продолговатые поры незначительных размеров, сопровождающиеся выгоранием кокса на глубину от 1,25 мм в 10% образце до 1,8 мм в 5%.

Обжиг при температурах до 1000–1050 °С приводит к увеличению объема пор и их количества. Появляются фракции расплава вещества с высокими градиентами содержания основных составляющих вещества окатышей, и фосфорные зерна начинают терять свою первоначальную форму. Структура поверхностных слоев всех трех групп окатышей практически не обладает существенной разницей, а для центральной части характерно ярко выраженное разбухание

зерен фторкарбонатапатита в примесных образцах по сравнению с чистым образцом. Первоначальную форму сохраняют только зерна апатита и кварца.

Обжиг до 1100–1150 °С характеризуется ростом зоны расплава и замедлением выгорания кокса, глубина выгорания при этом увеличивается до 2,5–4,5 мм. Начинает формироваться газовая прослойка между элементами вещества, а поры интенсивно уплотняются и округляются.

При достижении температуры 1200 °С микролучевой анализ регистрирует практически однородный расплав в центральной части с наличием небольшого количества зерен кварца, не успевших расплавиться, и незначительное содержание зерен невыгоревшего кокса. Проведенный микролучевой анализ показал, что спекание в центральной части у примесных образцов начинается на 100–150 °С раньше, чем у чистого образца, а также существенное качественное различие спекания у образцов, в составе которых остался невыгоревший кокс.

Наиболее интересным результатом эксперимента является формирование в теле примесных окатышей трех структурно отличающихся зон.

В поверхностной зоне процесс спекания в чистом и примесных образцах прак-

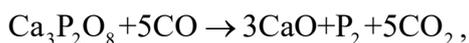
тически не отличается. В пограничной зоне в примесных окатышах степень спекания существенно выше, чем в чистых образцах. Характерно наличие однородных по размерам округлых пор. Во внутренней части образца наблюдаются поры значительно больших размеров, чем в межзеренном пространстве поверхностной зоны.

При достижении температуры от 1000 °С и выше в центральной части окатыша наблюдается практически полный расплав вещества и коалесценция пор.

Закключение

Проведенное исследование позволяет сделать определенные предположения о влиянии углеродосодержащих веществ на процесс высокотемпературного обжига окомкованного рудного сырья. Частично углерод в таком сырье выгорает в поверхностной зоне, что значительно увеличивает скорость его нагрева при сохранении температурных режимов плавления. При этом в центральных слоях процесс его выгорания замедляется, что вызвано формированием двуокиси углерода, как продукта распада карбонатов, и недостатком кислорода.

Экспериментально было установлено, что для выгоревшего кокса в данных процессах характерна реакция химического взаимодействия с продуктами распада фосфатного сырья. Кроме того, сами продукты распада фосфатного вещества также вступают в следующие реакции:



Микроручевой анализ зафиксировал также, что высокотемпературный обжиг окомкованного фосфора сопровождается формированием горячего газа, поток которого направлен к поверхности. Данный газ, как показал эксперимент, ускоряет процесс нагрева и способствует образованию легкоплавких соединений.

Добавление углеродосодержащих веществ вызывает уплотнения внутри окатышей, что препятствует поступлению кислорода и выгоранию кокса в центральной части. Образование газов приводит к разрыву окатыша при дальнейшем нагреве. Экспе-

риментально было установлено, что обжиг может происходить с формированием газопроницаемой зоны, способствующей выгоранию углеродистых примесей, или без нее. В зависимости от материала сырья, скорости обжига и уровней температуры плавления исследуемый процесс может происходить по двум различным направлениям.

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что исследование высокотемпературного обжига примесных углеродосодержащих образцов окомкованного фосфора является технологически перспективным для химической и горно-обогатительной промышленности. Поиск оптимальных режимов работы обжиговых машин позволит получать более качественные по физическим и химическим свойствам окатыши, что тем самым повысит конкурентоспособность данных отраслей на мировом рынке.

Список литературы

1. Бобков В.И., Орехов В.А. Исследование аэродинамики полифракционного слоя рудного сырья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 67–72.
2. Цирлин А.М., Гагарина Л.Г., Балунов А.И. Синтез теплообменных систем, интегрированных с технологическим процессом // Теоретические основы химической технологии. 2021. Т. 55, № 3. С. 347–358.
3. Бобков В.И., Никифоров В.А., Панченко С.В. Особенности гидродинамики и тепломассопереноса при активизации химико-энерготехнологических процессов восстановления в коксовой зоне руднотермической печи // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 148–154.
4. Бобков В.И., Орехов В.А. Особенности проведения экспериментального обследования температурного режима функционирования обжиговой конвейерной машины // Успехи современного естествознания. 2022. № 10. С. 100–105.
5. Li J., An H.-F., Liu W.-X., Yang A.-M., Chu M.-S. Effect of basicity on metallurgical properties of magnesium fluxed pellets // Journal of Iron and Steel Research International. 2020. 27 (3). P. 239–247.
6. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимов Н.Н., Шутова Д.Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17, № 6. С. 102–121.
7. Zhu X., Ji Y. A digital twin-driven method for online quality control in process industry // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. 119 (5–6). P. 3045–3064.
8. Shekhovtsov V.V., Vlasov V.A., Skripnikova N.K., Semenovikh M.A. Structure Formation of Concrete Systems Modified By Nonstandard Particles // Russian Physics Journal. 2021. № 63 (9). P. 1590–1595.
9. Ming Yan, Xinnan Song, Jin Tian, Xuebin Lv, Ze Zhang, Xiaoyan Yu and Shuting Zhang. Construction of a New Type of Coal Moisture Control Device Based on the Characteristic of Indirect Drying Process of Coking Coal // Energies. 2020. № 13 (16). P. 4162.

УДК 622.7:621.926.3/9:546.59
DOI 10.17513/use.38161

ИЗМЕНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧАСТИЦ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА В ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ КОНУСНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Осипов Д.А.

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: Brelick@list.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению изменения аэродинамических свойств частиц ковкого полезного компонента (золота) в процессе дезинтеграции на принципиально новой лабораторной двухступенчатой конусной мельнице ударного действия. В качестве имитаторов золота выступают свинцовые маркеры разной конфигурации, а также случайные частицы рудного золота. Данная мельница разработана специально для цепи аппаратов сухого обогащения. Мельница включает в себя две зоны разрушения геоматериалов. Верхняя удлиненная конусообразная зона сформирована между рабочим ротором и внутренней поверхностью корпуса установки. Благодаря сужению пространства между рабочими поверхностями создается плотный контакт частиц руды друг с другом и с рабочими органами. В нижней последовательной зоне, в зоне свободного перемещения частиц, перекачиванием вдоль поверхности внешнего рабочего ротора происходит интенсивная ковка пластинчатых частиц полезного компонента руды потоком пелитового материала руды, образованного в процессе разрушения на верхней зоне мельницы. При проведении лабораторных исследований частиц полезного компонента была обнаружена близкая аналогия свойств их поведения в аэродинамической и жидкой средах. Скорость витания (СВ) частиц золота менее 2 мм, с одинаковыми физическими параметрами, как и их гидравлическая крупность (ГК), зависит только от толщины. Также в мельнице в процессе помола частицы рудного золота подвергаются утолщению краев. Обработанные частицы свинцовых маркеров и золота сохраняют свой физический вес, и повышается их степень извлечения сухим способом обогащения в 1,5–2 раза за счет изометризации форм.

Ключевые слова: измельчитель, помол, дробление, скорость витания, раскрытие, полезный компонент, маркеры, сухое обогащение, винтовой сепаратор

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0297-2021-0022, ЕГИСУ НИОКТР № 122011800089-2) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН грант № 13.ЦКП.21.0016.

CHANGE IN THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF USEFUL COMPONENT PARTICLES IN A TWO-STAGE CONE MILL

Osipov D.A.

Federal Research Center “Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences” Institute of Mining of the North. N.V. Chersky Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: Brelick@list.ru

The results of experimental studies to identify changes in the aerodynamic properties of particles of a malleable useful component (gold) during the disintegration process on a fundamentally new laboratory two-stage cone impact mill are presented. Lead markers of various configurations, as well as random particles of ore gold, act as gold simulators. This mill is designed specifically for the chain of dry concentration devices. The mill includes two zones of destruction of geomaterials. The upper elongated cone-shaped zone formed between the working rotor and the inner surface of the installation housing. Due to the narrowing of the space between the working surfaces, close contact of ore particles is created with each other and with the working bodies. In the lower sequential zone, in the zone of free movement of particles by rolling along the surface of the external working rotor, intensive forging of lamellar particles of the useful component of the ore occurs by the flow of pelitic ore material formed during the destruction process in the upper zone of the mill. In the process of conducting laboratory research on the particles of the useful component, a close analogy was discovered in the properties of their behavior in an aerodynamic and liquid environment. The soaring speed (SV) of gold particles less than 2 mm, with the same physical parameters, as well as their hydraulic size (HF), depends only on the thickness. At the same time, in the mill during the grinding process, the particles of ore gold undergo thickening of the edges. Processed particles of lead markers and gold retain their physical weight, and their degree of extraction by dry enrichment increases by 1.5–2 times due to isometrization of forms.

Keywords: chopper, grinding, crushing, soaring speed, opening, useful component, markers, dry enrichment, screw separator

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0297-2021-0022 of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800089-2) using the equipment of the Center for Collective Use of the Federal research center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», grant No. 13. Center for collective use 21.0016.

В течение последних десятилетий в лаборатории ИГДС СО РАН были разработаны и апробированы несколько вариантов технологии сухого обогащения полезных ископаемых [1–3]. Основными и затратными аппаратами в схеме цепи аппаратов являются дробильные и измельчительные установки. Вместе с тем при измельчении для доведения руды до заданной крупности, полезные компоненты подвергаются деформации и разрушению.

Изменение аэродинамических свойств частиц рудного золота в процессе измельчения играет ключевую роль. Проведено множество экспериментальных работ по подбору аппаратов пневмосепарации и установок рудоподготовки для эффективного извлечения рудного золота, где основной упор был сделан на разработку и модернизацию измельчительных установок [4, 5].

Физические свойства полезного компонента не являются константами, ими можно управлять и контролировать. Эффективность дезинтеграции руд с целью раскрытия золота для последующего извлечения сухим способом зависит не только от плотности, влажности окружающей среды, но и от выбора способа измельчения, который зависит от конфигурации рабочих элементов измельчительных установок. Вместе с тем чем тоньше помол, тем выше риск переизмельчения полезного компонента. Поэтому возникает проблема контроля характера деформаций в процессе динамических нагрузок на полезный материал.

Цель исследования – изучить изменения аэродинамических свойств частиц полезного компонента при интенсивности динамических нагрузок в процессе дезинтеграции руд в конусной двухступенчатой мельнице, в зависимости от загруженности рабочих зон.

Материалы и методы исследования

В данной работе с целью подробного описания процесса изменения физических свойств полезного компонента (золота) в двухступенчатой центробежной мельнице используется методика изучения следов динамических контактов в процессе всего цикла измельчения на свинцовый маркер.

Прослеживание интенсивности воздействий на материал происходит следующим образом. Для достижения поставленной цели была использована руда месторождения «Нагорная», так как материал содержит в себе случайные крупные частицы золота. Для получения требуемой круп-

ности рудный материал подвергается дроблению в роторной дробилке и ручной ступке. Далее, при достижении крупности материала 5 мм, испытываемые свинцовые маркеры одновременно загружаются с золотосодержащей рудой в рабочую полость измельчительной установки. Особенность металлического свинца заключается в сохранении памяти в виде следов деформации, которые фиксируют на себе в процессе всего цикла дезинтеграции в мельнице. Данная методика исследований использовалась для выявления последовательности переизмельчения частиц золота в шаровых мельницах.

Подготовка геоматериалов к лабораторным исследованиям проводится поэтапно. На один цикл измельчения методом нарезки изготавливаются свинцовые маркеры различной конфигурации в количестве более 300 ед. Параметры свинцовых маркеров составляют: самые малые от 0,2*0,2*0,2 мм, крупные – 5*5*1 мм. Испытываемые маркеры, в зависимости от параметров с малого размера до максимального, загружаются в мельницу поочередно. Затем совместно с испытываемой рудой загружаются в измельчительную установку. Загрузка лабораторной мельницы осуществляется в виде подачи одиночных свинцовых маркеров, а также при средней и максимальной производительностях установки. Для получения возможности изучения особенностей последовательности воздействия динамических нагрузок на маркер материал загружается в установку поэтапно. В виде одиночных поступлений свинцовых маркеров и при разных производительностях мельницы – 15–20–30 кг/ч.

На основе экспериментальных и теоретических исследований по трансформации физических свойств частиц золота в процессе дезинтеграции золотосодержащей руды в центробежных и шаровых мельницах различного типа [6], была разработана и сконструирована лабораторная двухступенчатая конусная мельница с двухстадийной рабочей камерой (полостью), с максимальной производительностью до 30 кг/ч.

Предлагаемая двухступенчатая конусная мельница изготовлена из герметичного стального корпуса с верхним загрузочным и нижним разгрузочным отверстиями. Установка состоит из верхней и нижней рабочих камер, где рабочие органы вращаются в противоположные стороны. Основные рабочие органы выполнены в конусной форме с большим углом наклона, внешний ко-

нус выполнен с углом наклона 85° . Высота внутреннего рабочего конуса 180 мм, угол наклона 80° . Пространство между двумя последовательными конусообразными рабочими органами образует рабочую камеру. Также на верхнем основании нижнего рабочего органа расположены разгонные радиальные ребра. Вторая последующая рабочая камера перед разгрузочным отверстием выполнена в виде ступенчатой формы. Высота нижнего конуса 140 мм. Рабочие роторы вращаются в противоположные стороны, где скорость вращения внешнего рабочего ротора составляет 700 об/мин, а предел скорости вращения внутреннего конуса равен 900 об/мин. Этот тип центробежного измельчителя существенно отличается от традиционных решений в центробежных конусных мельницах.

В целях достоверности экспериментальных исследований по изучению изменения аэродинамических свойств полезного компонента были проведены лабораторные работы по изучению степени извлечения ковких частиц, обработанных в двухступенчатой мельнице, на винтовом пневмосепараторе. Лабораторный образец винтового пневмосепаратора с четырьмя витками разработан в лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН и изготовлен на заводе ООО «Спирит» (г. Иркутск) [7].

Технические параметры лабораторного винтового пневмосепаратора: высота составляет 2105 мм, наружный диаметр рабочего органа – 500 мм, шаг витка – 576 мм, производительность – 0,5 т/ч, вес – 0,05 т.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе экспериментальных работ по изучению изменения технологических свойств частиц полезного компонента в процессе помола было установлено, что эффективное разрушение руды достигается при полной загрузке первой рабочей зоны (30 кг/ч), где создаются условия образования интенсивных динамических нагрузок на частицы в виде плотной зоны разрушения частиц друг с другом.

Для изучения был выбран диапазон производительности мельницы 15–20–30 кг/ч, где степень измельчения в принятых значениях производительности составляет 3,2–3,8–5,3 соответственно. Высокая степень измельчения достигается при полной загрузке рудой первой рабочей зоны лабораторной мельницы, значит, при производительности 30 кг/ч.

При интенсивном увеличении загрузки мельницы геоматериалом обломки руды постепенно переполняют первой рабочую зону мельницы до максимально возможной производительности установки (30 кг/ч). В результате противоположного вращения внешнего и нижнего рабочих конусов образуются два плотных слоя геоматериалов, перемещающихся в противоположном направлении. В зависимости от плотности подачи разрушаемого геоматериала в рабочую полость установки частицы свинцовых маркеров и свободного золота подвергаются различным видам деформации. С помощью бинокулярного изучения, а также с использованием анализа частиц на дифрактометре были изучены различные виды следов интенсивных контактов с окружающим их материалом.

Частицы золота и свинцовых маркеров несли относительно одинаковые следы полученных деформаций. Самые крупные случайные частицы золота крупностью более 0,25 мм также стремятся приобрести вид плотных сфероидов, схожих с золотыми шариками. При этом, несмотря на плотный контакт геоматериалов в процессе дезинтеграции, были выявлены частицы золота с крупностью менее 0,15 мм, на поверхности которых не было выявлено следов механических контактов.

Средние по размеру частицы свинца (2–3 мм) в режиме переполнения рудой первой рабочей зоны мельницы в большинстве случаев раскатываются в сфероидные формы. При этом по краям пластинчатых частиц золота (0,5–1 мм) в результате механического воздействия образуются утолщения, и они приобретают вид с утолщенными краями диска. Причем их плоскость остается без следов динамических контактов. Динамика деформации краев пластинчатой частицы золота представлена на рис. 1. На краю образуется утолщение, пластина укорачивается. Следует отметить, что первоначальный объем и, соответственно, масса сохраняется.

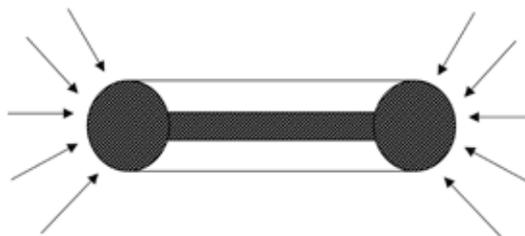


Рис. 1. Обработка краев частиц ковких маркеров пелитовым материалом

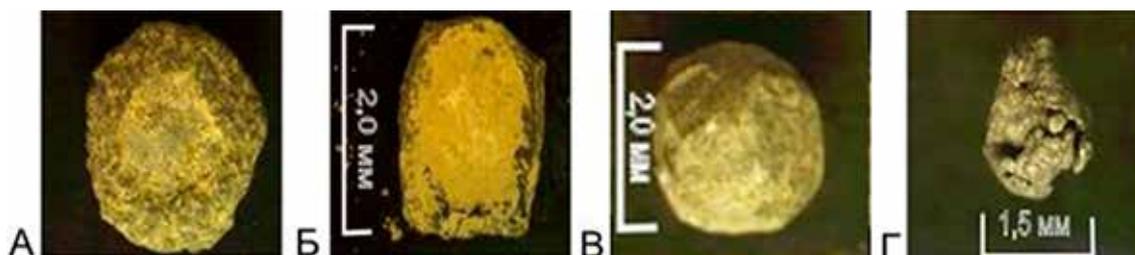


Рис. 2. Вид деформации как отражение воздействия на него определенного характера динамической нагрузки: А, Б – Круглый или овальный вид – основной вид деформации крупных свинцовых маркеров. Утолщения на краях уплощенных маркеров свидетельствуют о микроковке краев маркеров; В – скрученный вид маркера в виде плотного сфероида; Г – свернутые в «конверты». Начало образования плотного сфероида

Экспериментально установлено, что при расковке поверхности ковких пластинчатых частиц пелитовым геоматериалом деформируются преимущественно их края.

На второй, последовательной зоне нижней части мельницы образуется относительно разряженная обстановка, где и происходит деформация тяжелых ковких частиц в виде изометризации (рис. 2, А, Б). А формы частиц наиболее сложной изометризации, пластинчатые маркеры, превращаются в тороиды с перегородкой внутри, 15% из них приобретают сфероидную форму.

Значит, наибольшая степень увеличения толщины частиц в виде полученных торов и сфероидных форм достигается при максимальной загрузке мельницы (до 30 кг/ч). Впоследствии существенно повышается их степень извлекаемости методами сухого обогащения (сепарации) за счет повышения их гидравлической крупности в 1,5 раза.

Главными и основными технологическими свойствами, которые определяют эффективность степени извлечения сухим способом, являющаяся скорость витания (СВ) и гидравлическая крупность частиц (ГК) [8]. Для достижения условия оптимального разделения частиц в воздушном потоке $V_l < V_p < V_t$ (V_t, V_l – скорости витания тяжелых и легких разделяемых минералов) для скорости потока V_p нужно достичь высоко-го диапазона разности скоростей.

Эффективность извлечения в воздушном потоке зависит от разности скоростей витания минералов: чем больше разница, тем эффективнее процесс разделения. Скорость витания частиц напрямую зависит от их плотности и конфигурации.

В целях определения основных физических свойств обработанных частиц (свинцовые маркеры, золото, другие минералы) были проведены экспериментальные рабо-

ты на аэродинамической и гидродинамической средах, где были установлены их скорость витания и гидравлическая крупность. В ходе экспериментальных лабораторных работ по наблюдению за обработанными частицами была обнаружена большая аналогия характера перемещения в аэродинамической трубе с поведением в гидродинамической трубе. Аналогия происходит следующим образом: при постепенном повышении подачи скорости частицы ориентированы вдоль воздушного потока своей длинной осью. В воздушном потоке частицы одинаковой массы зависят следующим образом: на максимальной высоте зависают самые утолщенные частицы, а чем ниже – тем более тонкие. На достигнутой высоте воздушной трубы частицы зависают, покачиваясь с одного края на другой. Следует отметить, что в потоке частицы в основном располагаются ребром. Гидравлическая крупность частиц также напрямую зависит от толщины.

На рис. 3 представлена прямая линейная зависимость между основными технологическими свойствами частиц ГК и СВ.

Объяснение физики этого явления следующее: единица площади толщины частиц наибольшего их сечения отражает массу вещества, которая оказывает давление на воздушный поток, и это определяет СВ и ГК.

В результате экспериментальных работ по изучению миграции минеральных частиц в воздушном потоке, с крупностью менее 2 мм, скорость витания и гидравлическая крупность зависит от одного из трех размеров тела, равных при горизонтальном его положении. Следовательно, чтобы повысить миграционные способности частиц в аэродинамической и гидродинамической средах путем их утолщения, нужно создать условия на последних стадиях рудоподготовки.

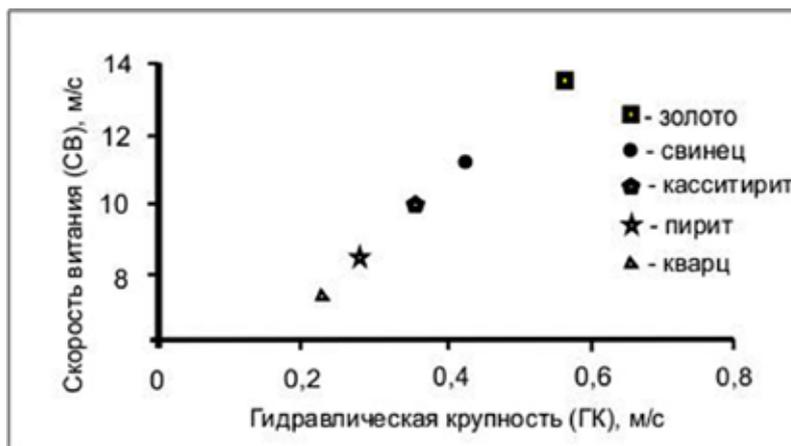


Рис. 3. Скорости витания (СВ) частиц в зависимости от гидравлической крупности (ГК)

Извлечение маркеров до и после их обработки в мельнице

Наименование	До				После			
	Выход		Извлечение		Выход		Извлечение	
	г	%	г	%	г	%	г	%
Концентрат	135	14,8	9,8	89	140	14	9,8	98
Хвосты	775	85,2	0,2	11	860	86	0,2	2
Всего	910	100	10	100	1000	100	10	100

В двухступенчатой мельнице происходит деформация ковких частиц в виде расковки краев пластин и раскатывания в сфероиды.

Результаты экспериментальных данных по извлечению частиц маркеров на винтовом пневмосепараторе приведены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований по извлечению частиц после их обработки в конусной мельнице подтверждают, что в процессе помола трансформируются технологические свойства ковких частиц, которые приводят к повышению их степени извлечения. Следует отметить, что данная конструкция сепаратора имеет короткую рабочую поверхность и, следовательно, время разделения минеральных частиц короткое. Значит, на полупромышленных образцах сепаратора, за счет относительно длительного времени разделения, эффективность извлечения должна быть выше.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных работ, в конусной двухступенчатой мельнице, по изучению трансформации аэродинамических свойств свободных ковких частиц (золото) установлено, что

на эффективность извлечения частиц сухим способом в виде изменения скорости витания пластинчатых частиц основную роль играют интенсивные столкновения полезного компонента с измельченным пелитовым материалом в нижней зоне рабочей полости мельницы. Экспериментальным путем показано, что основные технологические свойства минеральных частиц, скорость витания СВ и гидравлическая ГК, одинаково зависимы от их толщины. Вместе с тем улучшение миграционных способностей частиц в аэродинамической среде, с их одинаковой массой, создается при режиме переполнения верхней рабочей полости мельницы, где увеличивается их толщина. В процессе помола в двухступенчатой конусной мельнице ковкие частицы (рудное золото) подвергаются утолщению краев, что приводит к повышению их извлекаемости сухим способом обогащения за счет повышения их скорости витания в 1,5 раза.

Список литературы

1. Филиппов В.Е., Лебедев И.Ф., Еремеева Н.Г., Гаврильев Д.М. Экспериментальные исследования характера поведения минеральных частиц в гидроаэродинамической среде. Новосибирск: Гео, 2013. 85 с.

2. Богданов Л.Н., Бирюков А.Ю., Афанасьева С.А.Р., Белов Н.Н., Обьедков А.Ю., Полошко В.А. Исследование параметров зоны воздушно-центробежной классификации в пневмоциркуляционном аппарате, существенно влияющих на процесс разделения тонкодисперсного материала // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. № 9–3. С. 21–23.
3. Шваб А.В., Воронцова Е.Ю., Садретдинов Ш.Р. Моделирование процесса разделения частиц при турбулентном режиме течения в воздушно-центробежном классификаторе // Известия вузов. Физика. ТГУ. 2008. Т. 51, № 8/2. С. 271–276.
4. Винокуров В.Р., Львов Е.С. Новые конструкции мельниц ударно-центробежного типа // Фундаментальные исследования. 2016. № 12. С. 965–970.
5. Винокуров В.Р. Расчет скорости движения разрушаемых частиц в центробежной ступенчатой мельнице // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12. С. 106–109.
6. Осипов Д.А., Филиппов В.Е. Экспериментальные исследования дезинтеграции геоматериалов в центробежной двухступенчатой конусной мельнице // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 130–135.
7. Филиппов В.Е., Лебедев И.Ф., Матвеев А.И., Григорьев А.Н. Винтовой пневмосепаратор // Патент № 2194581. Патентообладатель ИГДС СО РАН. 2020. Бюл. № 35.
8. Алгебраистова Н.К., Самородский П.Н., Колотушкин Д.М., Прокопьев И.В. Технология извлечения золота из золотосодержащего техногенного сырья // Обогащение руд. 2018. № 1. С. 33–37.
9. Zhu X., Tao Y., Zhang L. Numerical simulation of flow field in enhanced gravity concentrator // Physicochem. Probl. Miner. Process. 2018. № 54 (3). P. 975–980.

УДК 556:628.161.2
DOI 10.17513/use.38162

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Пимнева Л.А.

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, t-mail: l.pimneva@mail.ru

Широкое применение в качестве сорбентов нашли природные глинистые минералы. В работе исследован процесс извлечения ионов кадмия на природной монтмориллонитовой глине. Величина обменной емкости составляет 0,62 ммоль/мл при температуре 298 К. Адсорбционное равновесие изучали методом переменных концентраций. Полученные изотермы сорбции были описаны с применением теорий Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина. Коэффициенты корреляции модели Ленгмюра ($R^2 = 0,999$) значительно больше, чем у моделей Фрейндлиха ($R^2 = 0,973$) и Темкина ($R^2 = 0,859$). Установлены эмпирические коэффициенты уравнения Фрейндлиха $-k = 5,19$; $1/n = 0,07$ и уравнения Темкина $-\lg k = 21,79$; $1/\alpha = 0,034$. Из кинетических кривых адсорбции определены кинетические и термодинамические функции. Рассчитана константа скорости ионов кадмия. Рассчитаны термодинамические параметры: свободной энергии Гиббса, энтальпии и энтропии процесса адсорбции ионов кадмия. Отрицательное значение энергии Гиббса подтверждает самопроизвольное протекание адсорбции и значения ΔG равны, кДж/моль: -11,30 (298 К), -11,82 (318 К), -12,04 (333 К). Отрицательное значение $\Delta H = -2,23$ кДж/моль подтверждает физическую адсорбцию ионов кадмия. Полученные результаты адсорбции ионов кадмия на природной монтмориллонитовой глине подтверждают, что данный сорбент эффективно извлекает ионы кадмия.

Ключевые слова: адсорбция, водные системы, термодинамические параметры, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, монтмориллонит, кадмий

APPLICATION OF CLAY MINERALS FOR PURIFICATION OF NATURAL AND INDUSTRIAL WASTEWATER

Pimneva L.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, t-mail: l.pimneva@mail.ru

Natural clay minerals are widely used as sorbents. In this work, the process of adsorption of cadmium ions on natural montmorillonite clay was studied. The adsorption of cadmium ions depending on their concentration in solution and process temperatures under static conditions was studied. The values of the maximum adsorption capacity of montmorillonite clay and the adsorption equilibrium constant were determined using the Langmuir equation. The capacity of kaolin for cadmium ions is 0,62 mmol/ml at a temperature of 298 K. Adsorption equilibrium was studied using the variable concentration method. The resulting sorption isotherms were described using the theories of Langmuir, Freundlich, and Temkin. The values of the correlation coefficients show that the Langmuir model ($R^2 = 0,999$) describes the experimental data better than the Freundlich model ($R^2 = 0,973$) and the Temkin model ($R^2 = 0,859$). The empirical coefficients of the Freundlich equation were established $-k = 5,19$; $1/n = 0,07$ and Temkin's equations $-\log k = 21,79$; $1/\alpha = 0,034$. The paper presents the results of a study of the kinetics and thermodynamics of adsorption of cadmium ions. The rate constant of cadmium ions was calculated. Thermodynamic parameters were calculated: Gibbs free energy, enthalpy and entropy of the adsorption process of cadmium ions. The negative value of the Gibbs energy confirms the spontaneous occurrence of adsorption and the ΔG values are equal, kJ/mol: -11,30 (298 K), -11,82 (318 K), -12,04 (333 K). The value of $\Delta H = -2,23$ kJ/mol confirms the physical adsorption of cadmium ions. The results obtained on the adsorption of cadmium ions on natural montmorillonite clay confirm that these sorbents are effective for the extraction of cadmium ions.

Keywords: sorption, natural sorbents, sorption isotherms, quantitative characteristics of the sorption process, thermodynamic parameters, montmorillonite, cadmium

Экологическая ситуация природных вод как в России, так и в мире в целом, порождена системой нерационального, расточительного природопользования [1]. Предприятия ежедневно выбрасывают в атмосферу тонны пыли и частицы вредных веществ. Продукты переработки сливаются в реки и моря, не подвергая очистке или недостаточно очищая. Таким образом, появляется проблема чистой воды [2].

Сточные и промывные воды производства имеют в своем составе ионы тяжелых металлов – кадмия, никеля, меди, цинка, марганца и др. Соединения ионов тяже-

лых металлов обладают специфическими токсичными свойствами, что наносит вред на экосистему окружающего мира. Самым эффективным способом очистки воды от тяжелых металлов является адсорбционная технология [3, 4].

Широкое применение в качестве сорбентов нашли природные глинистые минералы. Глинистый минерал содержащий монтмориллонит представляет алюмосиликатный минерал группы смектитов подкласса слоистых силикатов. Структура монтмориллонита отличается симметричным сложением пачек слоев. Расстояние между пакетами

изменяется от 0,4 до 2,0 нм. В результате изоморфных замещений в решетке ионов Al^{3+} на Fe^{2+} или Si^{4+} на Al^{3+} при этом возникает избыток отрицательного заряда, который компенсируется ионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Строение кристаллической решетки монтмориллонита определяет высокую ее активность и емкость.

В настоящей работе устанавливаются характеристики сорбции ионов кадмия на монтмориллонитовой глине, необходимых для проектирования установок по очистке воды.

Материалы и методы исследования

В работе использована природная глина, содержащая монтмориллонит. Химический состав определялся растровой электронной микроскопией с использованием электронного микроскопа JEOLJSM 6510 LV. Состав оксидов в монтмориллонитовой глины: SiO_2 – 54,0%; Al_2O_3 – 20,73%; Na_2O – 0,75%; K_2O – 3,07%; CaO – 0,44%; Fe_2O_3 – 9,43%; TiO_2 – 1,1%; MgO – 1,82%. При прокаливании потери составляют 8,66%. В составе оксидов присутствуют Na_2O и K_2O и представляют водорастворимые оксиды в объеме 3,82%, которые способны замещаться на другие ионы.

На рис. 1 представлен фазовый состав природной монтмориллонитовой глины. Рентгенофазовым анализом на дифрактометре «ДРОН-7» с медным анодом ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$) был установлен минералогический состав.

Из полученных данных видно, что основной состав представлен монтмориллонитом (47%) и сопутствующими глинистыми

ми минералами (гидрослюдами, хлоридом и каолинитом). Общий состав глинистых минералов – 89%.

Изучение адсорбции ионов кадмия проходило в статических условиях. Монтмориллонитовая глина предварительно рассеивалась по фракциям. Образцы брались с размерами из фракции 0,25 – 0,5 мм. Влияние концентрации ионов кадмия на адсорбцию осуществлялось на 1 г сорбента в контакте с 50 мл раствора. Остаточное содержание Cd^{2+} определяли по методике [5].

Используя средние значения равновесных концентраций (использовали два параллельных измерения) определили величину адсорбции:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V_{p-pa}}{m} \quad (1)$$

где A – обменная емкость ионов, ммоль/г; C_0 – начальная и C_p – равновесная концентрации ионов Cd^{2+} , ммоль/мл; V_{p-pa} – объем исследуемого раствора, мл.

Результаты исследования и их обсуждение

Адсорбционные свойства монтмориллонитовой глины определяли с помощью изотерм (рис. 2). Полученные экспериментальные данные показывают, что с увеличением концентрации ионов в растворе возрастает адсорбция ионов кадмия. Изотермы имеют вид резкого подъема начального участка изотерм. Затем идет насыщение поверхности сорбента.

Оценку сорбции ионов кадмия производили с использованием моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина.

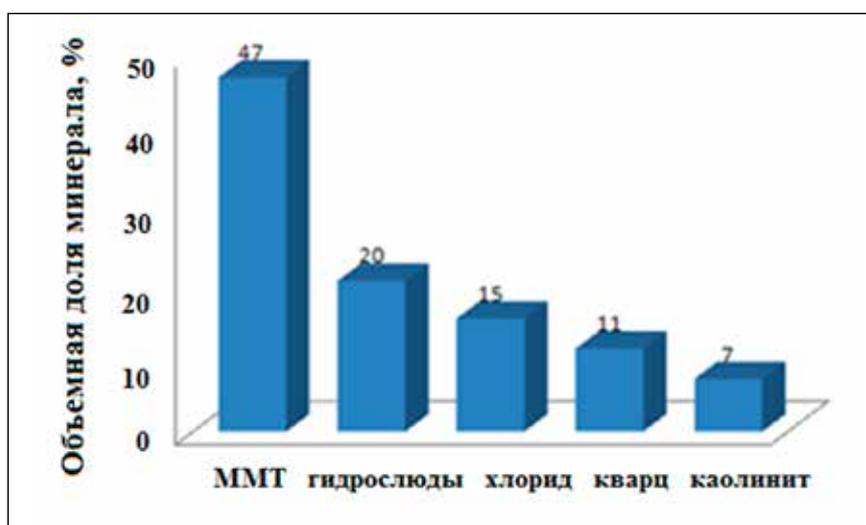


Рис. 1. Фазовый состав монтмориллонитовой глины (ММТ – монтмориллонит)

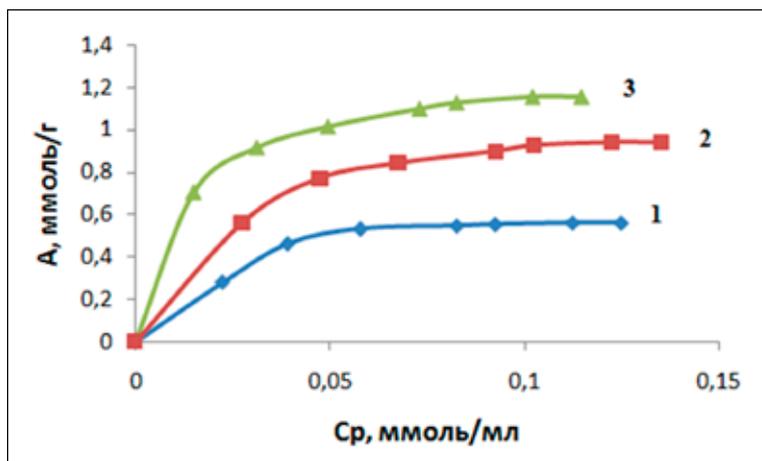


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов кадмия на монтмориллонитовой глине, К: 298, 318, 333

Таблица 1

Адсорбционные характеристики поглощения ионов кадмия по моделям

T, К	Ленгмюра			Фрейндлиха			Темкина		
	A_{∞} , ммоль/г	k_L , мл/ммоль	R^2	k_F	n	R^2	lgk_T	α	R^2
298	0,62	95,41	0,999	5,19	14,02	0,973	21,79	29,41	0,859
318	1,04	87,09	0,999	9,42	6,09	0,971	20,66	16,39	0,976
333	1,29	77,30	0,999	20,42	5,38	0,976	18,95	11,90	0,981

Модель Ленгмюра построена на основе молекулярно-кинетической теории и мономолекулярном процессе адсорбции. Уравнение линейной изотермы имеет вид:

$$\frac{C_p}{A} = \frac{C_p}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty} \cdot k_L} \quad (2)$$

Используя модель Ленгмюра (рис. 3) определили постоянные параметры: предельную величину адсорбции A_{∞} и константу адсорбционного равновесия k_L .

Модель Фрейндлиха в логарифмической форме

$$\lg A = \lg k_F + \frac{1}{n} \cdot \lg C_p \quad (3)$$

дает возможность построить линейную зависимость в координатах $\lg A - \lg C$ и определить постоянные константы k_F и n .

Модель Темкина в линейной форме:

$$A = \frac{1}{\infty} \cdot \ln k_T + \frac{1}{\infty} \cdot \ln C_p \quad (4)$$

Содержит параметр, который учитывает взаимодействие между адсорбционными центрами и адсорбированными ионами.

В табл. 1 приведены данные полученные при обработке изотерм.

Исследования адсорбционных свойств природных глин показали, что в её состав входит не один минерал, а ему сопутствуют в разных количествах другие минералы. Это отражается на пространственной структуре с изменением геометрии частиц. Поэтому при расчетах сорбционных характеристик получили разные значения коэффициентов корреляции по моделям. Модель Ленгмюра уточняет, локализацию адсорбции на отдельных адсорбционных центрах и образует монослой [5]. При этом адсорбированные молекулы не взаимодействуют друг с другом. Кроме этого все адсорбционные центры энергетически эквивалентны. В реальности при использовании природных минералов допускается погрешность.

Модель изотермы Фрейндлиха используют при обработке данных с неоднородной поверхностью сорбента. Природные минералы глин представляют неоднородную поверхность. Процесс адсорбции это экзотермический процесс, протекающий с выделением тепла. Это можно объяснить тем, что происходит отталкивание сорбат – сорбат и адсорбция проходит с равным распределением энергии связывания.

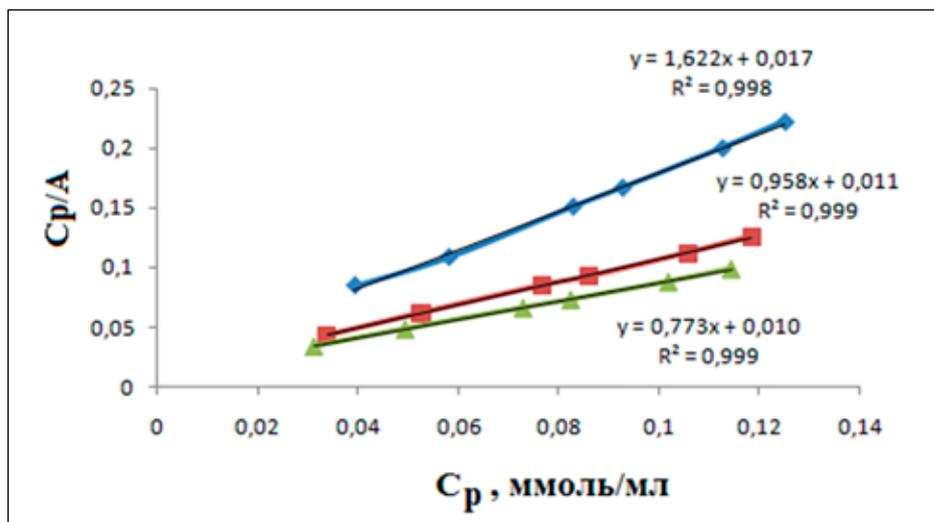


Рис. 3. Изотермы адсорбции Ленгмюра в линейных координатах

Таким образом, результаты расчетов показывают, что более высокие значения коэффициентов корреляции R^2 , равные 0,999 в модели Ленгмюра и самые низкие R^2 0,859 в модели Темкина.

Максимальная обменная емкость при увеличении температуры принимает следующие значения: 298 К – 0,62 ммоль/г, 318 К – 1,04 ммоль/г и 333 К – 1,29 ммоль/г. С увеличением температуры происходит уменьшение константы k_L с 95,41 до 77,3 мл/ммоль. Эта константа характеризует энергию взаимодействия ионов на поверхности твердой фазы.

Физический смысл константы адсорбции Фрейндлиха отражает относительную адсорбционную способность. Изотерма Фрейндлиха, в отличие от изотермы Ленгмюра не дает предельного насыщения. Рассчитанные значения k_F увеличиваются с ростом температуры.

Определение оптимальных условий извлечения ионов тяжелых металлов необходимы сведения кинетических и термодинамических параметров. При сорбционной очистке водных объектов одним из важных технологических параметров является скорость извлечения тяжелых металлов.

Процесс адсорбции ионов кадмия при температуре 298 К протекает за 15 мин. В начальный момент (рис. 4) зависимость линейная. Скорость адсорбции рассчитывается по уравнению [6]:

$$\frac{dC}{dt} = K(C_t - C_\infty) \quad (5)$$

или в интегральной форме:

$$\ln(C_t - C_\infty) = \ln(1 - F) = -kt \quad (6)$$

где C_t и C_∞ – концентрации в момент времени (t) и после установления равновесия соответственно, ммоль/мл; F – скорость достижения равновесия; k – константа скорости реакции, c^{-1} .

Обработка полученных данных по уравнению (6) показала, что время, при котором наблюдается прямолинейность функции $\ln(1 - F) = f(x)$, зависит от температуры. Значение константы скорости процесса сорбции ($k = 6,18 \cdot 10^{-3}, c^{-1}$) определили согласно (рис. 5).

Различия в адсорбции ионов кадмия при разных температурах позволило рассчитать термодинамические характеристики: изменение энтальпии (ΔH) и энергии Гиббса (ΔG).

Энергию Гиббса определяли по уравнению:

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln k_L, \quad (5)$$

Расчет ΔH производили с использованием изостеры в интегральном виде:

$$\Delta H = -R \frac{\Delta \ln C}{\Delta \left(\frac{1}{T} \right)} \quad (6)$$

По рассчитанным значениям ΔG и ΔH определили значения ΔS из уравнения:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (7)$$

Результаты расчета термодинамических параметров приведены в таблице 2.

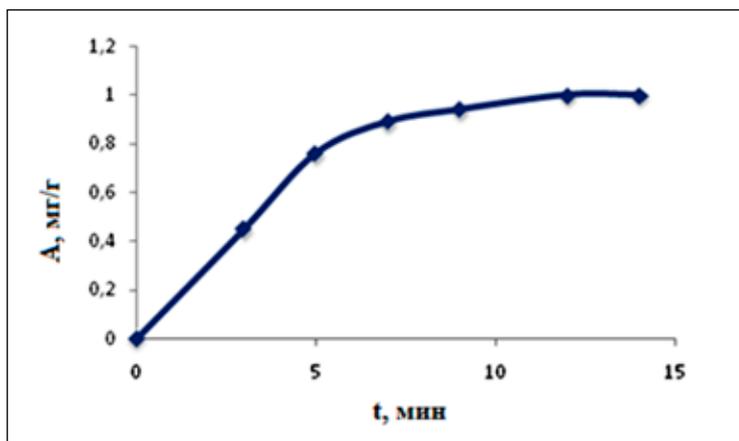


Рис. 4. Кинетическая кривая адсорбции ионов кадмия при $T=298\text{ K}$

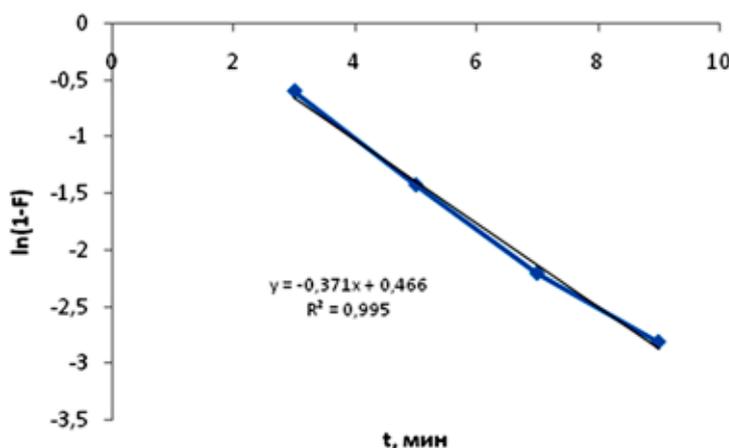


Рис.5. Зависимость $\ln(1-F)$ от времени адсорбции ионов кадмия

Таблица 2

Термодинамические параметры адсорбции кадмия

Температура, К	A_{max} , мг/г	ΔG , кДж/моль	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/моль·К
298	0,62	-11,30	-2,23	45,40
318	1,04	-11,82		44,18
333	1,29	-12,04		42,85

Отрицательные значения ΔG с повышением температуры изменяются незначительно и подтверждают самопроизвольное протекание процесса адсорбции ионов кадмия [7]. Отрицательное значение ΔH для изотерм носит экзотермический характер, означающий физическую адсорбцию.

При постоянном значении емкости адсорбента взаимосвязь температур и концен-

траций отражают изостеры. Согласно уравнению (6) была рассчитана ΔH по углам наклона изостер. Процесс адсорбции ионов кадмия на монтмориллонитовой глине начинается с активных мест поверхности. Затем по мере заполнения поверхности принимают участие менее активные центры и ΔH принимает низкие значения, которые подтверждают физическую адсорбцию.

Заключение

Исследованы закономерности адсорбции Cd^{2+} . Установлена максимальная емкость сорбента 0,62 ммоль/мл при температуре 298 К. Коэффициенты корреляции модели Ленгмюра ($R^2 = 0,999$) показывают лучший результат, чем модели Фрейндлиха ($R^2 = 0,973$) и Темкина ($R^2 = 0,859$).

Изучены кинетические закономерности сорбции и определены термодинамические показатели. Рассчитаны значения ΔH (-2,23 кДж/моль), ΔG уменьшается с увеличением температуры. Установлено, что адсорбция при температуре 298 К протекает с высокой скоростью, при этом равновесие достигается за 15 минут.

Таким образом, полученные данные будут полезны для сорбционной очистки загрязненных вод.

Список литературы

1. Ветошкин А.Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов: учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 216. 64 с.
2. Хаустов А.П. Экологический мониторинг: учебник для академического бакалавриата // М.: Юрайт, 2014. 637 с.
3. Отырба Г.Г., Фидченко М.М., Каменчук И.Н., Клущин В.Н., Курилкин А.А. Использование природных монтмориллонитовых глин в процессе коагуляционной очистки сточных вод прачечных // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20, № 6. С. 773-781.
4. Мамедова С.А., Исмаилова В.А., Абдуллаева Л.А., Теймурова Э.М., Махмудов Ф.Т. Сорбция ионов Pb^{2+} , Mn^{2+} на модифицированном бентоните // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21, № 6. С. 850-859.
5. Кругляков П.М., Нуштаева А.В., Вилкова Н.Г., Кошева Н.В. Физическая и коллоидная химия. Практикум: учебное пособие. СПб.: Лань, 2013. 208 с.
6. Никифоров А.Ф., Василенко Л.В., Лобухина Т.В. Межфазные переходы в адсорбционных процессах: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ; УГЛТУ, 2010. 186 с.
7. Свиридов А.В., Юрченко В.В., Свиридов В.В., Ганебных Е.В. Сорбция катионов меди и никеля на слоистых алюмосиликатах // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16, № 1. С. 78-86.

УДК 551.3:622.02:621.396.96
DOI 10.17513/use.38163

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ТАЛЫХ ПОРОД В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОМ МАССИВЕ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Прудецкий Н.Д.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук», Институт горного дела Севера имени Н.В. Черского
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: kgavrilu@yandex.ru

В данной статье рассмотрены возможности метода георадиолокации при решении инженерно-геокриологических задач на участках горных работ россыпного месторождения криолитозоны. Представлена методика проведения георадарных измерений в условиях действующего месторождения с учетом тех мест, где непрерывное профилирование затруднительно. Ее особенность заключается в проведении измерений угловым георадиолокационным сканированием (УГС) в отдельных точках для оценки геокриологических условий массива горных пород. Рассмотрены особенности георадиолокационных волновых полей геокриологического разреза. Предложены интерпретационные признаки, позволяющие выделять сигналы, отраженные от границ мерзлые – талые породы. Установлено, что сигналы-отражения от талых пород обнаруживаются по повышению значений их амплитуд и смещению центральной частоты спектра в низкочастотную область по сравнению с характеристиками сигналов, полученных при зондировании на участках мерзлых пород. Представлены результаты геокриологических исследований на территории Северной части Якутской алмазодобывающей провинции методами георадиолокации и бурения. В соответствии с предложенными интерпретационными признаками выполнен анализ волновых полей, а для подтверждения интерпретации использована информация более десяти скважин: на пяти скважинах выявлены талые породы. На основе данных георадиолокации, по семи профилям, построена карта распространения талых горных пород на глубинах 1,5–5,9 м по участку исследований.

Ключевые слова: массив мерзлых горных пород, талые породы, месторождения криолитозоны, георадиолокация, интерпретационные признаки, волновые поля

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0297-2021-0020, ЕГИСУ НИОКТР № 122011800086-1) и программы деятельности научно-образовательного центра «СЕВЕР: Территория устойчивого развития» по технологическому проекту № 4: «Технологии эффективного и комплексного извлечения полезных компонентов из минерального сырья» с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН грант № 13.ЦКП.21.0016.

DETERMINATION OF AREAS OF THAWED ROCKS IN A PERMAFROST MASSIF BASED ON GPR DATA

Fedorova L.L., Kulyandin G.A., Prudetskiy N.D.

*N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: kgavrilu@yandex.ru*

This article considers the capabilities of the ground-penetrating radar (GPR) method in solving engineering geocryological problems at sites of placer mining operations in the permafrost zone. The methodology of conducting GPR measurements in the conditions of an active deposit is presented, taking into account those areas where continuous profiling is difficult. Its peculiarity lies in conducting measurements by angular GPR scanning (AGS) at individual points to assess the geocryological conditions of the rock mass. The features of the GPR wave fields of the geocryological section are considered. Interpretative characteristics are proposed that allow distinguishing signals reflected from the boundaries of frozen-thawed rocks. It has been established that reflection signals from thawed rocks are detected by an increase in their amplitude values and a shift of the central frequency of the spectrum to the low-frequency area compared to the characteristics of signals obtained when probing frozen rock areas. The results of geocryological studies in the Northern part of the Yakutsk diamondiferous province using GPR and drilling methods are presented. In accordance with the proposed interpretation features, wave fields were analyzed, and information from more than ten wells was used to confirm the interpretation: thawed rocks were detected in five wells. Based on the GPR data, a map of thawed rock distribution at depths of 1.5–5.9 m across the study area was constructed using seven profiles.

Keywords: frozen rock massif, thawed rocks, mineral deposits of cryolithozone, GPR, interpretive features, wave fields

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0297-2021-0020, of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800086-1) and the program of activities of the scientific and educational center “NORTH: Territory of Sustainable Development” for technological project No. 4: “Technologies for efficient and comprehensive extraction of useful components from mineral raw materials” using the equipment of the Center for Collective Use of the Federal research center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», grant No. 13. Center for collective use 21.0016.

Для оценки геокриологической обстановки, составления прогноза изменения состояния мерзлоты при разработке месторождений в криолитозоне, создания инфраструктуры горных предприятий, на всех стадиях инженерных изысканий выполняются инженерно-геокриологические исследования. При этом необходимо не только тщательно изучать геокриологические аспекты, но и внимательно отслеживать изменения в этих условиях, которые могут быть вызваны как естественными, так и техногенными факторами, особенно в контексте проведения горных работ [1]. Неполное понимание геокриологических условий может стать причиной непредвиденных деформаций пород и даже привести к их обрушению или смещению [2–4]. Такие геомеханические изменения часто происходят из-за таяния мерзлых пород с высоким содержанием льда. В дальнейшем это вызывает нарушение теплового баланса, увеличение притока воды и влажности горных пород. Высокая влажность и обводненность пород могут вызывать проблемы, такие как прилипание или примерзание пород к рабочим элементам горнодобывающего оборудования и транспортным средствам, что ведет к задержкам в работе и увеличению стоимости добычи.

Горные работы, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры горнодобывающего предприятия значительно меняют естественные температурные и гидрологические условия вечномерзлых пород. Это приводит к таянию пород и стимулирует развитие различных опасных криогенных явлений, таких как суффозия, морозное пучение, термоэрозия и других. Все эти процессы снижают прочностные характеристики грунтов оснований и становятся причиной деформации инженерных сооружений, иногда даже аварийного характера.

В связи с потеплением климата и антропогенным влиянием на геосистему актуальность приобретают исследования, направленные на улучшение методик дистанционной оценки свойств и состояния разрабатываемых массивов горных пород, а также на создание систем для мониторинга криогенных процессов в грунтах горно-технических сооружений [5–7]. Однако в практике проектных и строительных компаний часто применяются устаревшие теплотехнические методы расчета, разработанные десятилетия назад, которые не учитывают современную динамику деградации криолитозоны, особенности влияния криогенных процессов и явлений.

В настоящее время, согласно источникам [8–10], при инженерно-геологических изысканиях широко используется георадиолокация как основной геофизический метод. Этот выбор обусловлен рядом преимуществ георадиолокации: глубина исследования мерзлого массива до 30 м, высокое разрешение слоев до 0,1–0,2 м, точность определения аномалий по профилю в пределах 0,05–0,1 м, а также отличная помехоустойчивость и быстрота получения результатов [11, 12]. От содержания воды в мерзлых рыхлых отложениях в значительной степени зависят их физико-механические и электрофизические свойства. При этом водонасыщенность грунтов при оттайке оказывает большое значение и на формирование радарограмм, а потому является одним из параметров, имеющих объективные предпосылки к эффективному применению георадиолокации для геокриологических исследований [13, 14].

Целью представленных исследований является усовершенствование методики георадиолокационного изучения криогенного состояния горных пород на участках действующих горнодобывающих предприятий в условиях пересеченной и ограниченной местности.

Материалы и методы исследования

Данные георадиолокационных исследований геокриологических условий получены на территории Северной части Якутской алмазонасной провинции зимой. Изучаемый район находится в зоне многолетнемерзлых пород мощностью более 350 м. Глубина деятельного слоя варьируется от 0,3 до 1,2 м. На южных склонах грунт оттаивает до глубины 0,5–1,2 м, на северных – до 0,3 м. Продуктивный слой верхнечетвертичной россыпи скрыт под слоем вскрышных пород толщиной до 8 м. Этот слой состоит из аллювиальных глинистых отложений с содержанием от 20 до 50 % гравия, гальки, щебня и мелких валунов-плит преимущественно местных карбонатных пород. Для площадного георадиолокационного обследования представлен вскрышной блок, находящийся вблизи инженерно-технических сооружений, воздействие которых на прилегающую территорию привело к растеплению многолетнемерзлых горных пород.

Для определения строения и криогенного состояния горных пород обследуемого участка георадиолокационная съемка проведена георадаром «ОКО-2» с антенным

блоком «АБ-250М» (НПО «Логис-Геотех», Россия). Антенны георадара экранированы, что позволяет использовать его вблизи инженерно-технических сооружений и горной техники. Центральная частота прибора составляет 250 МГц и обеспечивает глубину исследований до 8 м, с разрешением 0,25 м.

Для представления результатов георадарной съемки в виде 3D-карт измерения проводятся по равномерно распределенным по площади профилям. На обследуемом участке они проложены параллельно, в крест предполагаемого направления деградации мерзлоты, для возможности обнаружения путей миграции техногенных жидкостей вниз по склону. Среднее расстояние между профилями 6,5 м. При таком интервале по участку намечено семь профилей и одна опорная точка углового георадиолокационного сканирования (УГС) для получения информации о геокриологическом состоянии массива из локального местоположения. По методике, такие точки располагают в межпрофильном пространстве или на участках, где непрерывное профилирование невозможно [15]. Георадиолокационная съемка в режиме непрерывного профилирования произведена в контакте с поверхностью. Трассы сигналов записаны с шагом 0,1 м по датчику перемещения с колесом. В опорной точке выполнение полевых исследова-

ний осуществляется по методике УГС: в подготовленном углублении выполняют зондирование в секторе 70° , с шагом 5° и накоплением по 100 трасс в каждом угловом положении. По завершении сканирования из всех файлов собирается синтезированная радарограмма, которая обрабатывается стандартными процедурами (фильтрация, коррекция затухания, регулировка контрастности радарограмм и т.д.) программного обеспечения GeoScan32 (НПО «Логис-Геотех», Россия), как радарограмма, записанная при непрерывном профилировании.

Результаты сканирования, проведенные на опорной точке обследуемой территории возле скважины № 3/7 (на 7-м метре по профилю № 3), представлены на рис. 1. С помощью антенного блока «АБ-250М» зафиксировано 1500 точек зондирования в секторе 70° с интервалом угловых положений в 5° . Осуществленная обработка радарограмм УГС и последующая интерпретация, в сопоставлении с данными скважины № 3/7, позволили выявить и уверенно проследить границы слоев в массиве многолетнемерзлых пород. На волновом поле радарограммы выделена горизонтальная граница в толще песчано-гравийно-галечных отложений. Она сформирована из сигналов-отражений от крупнообломочных материалов на глубине около 1 м.

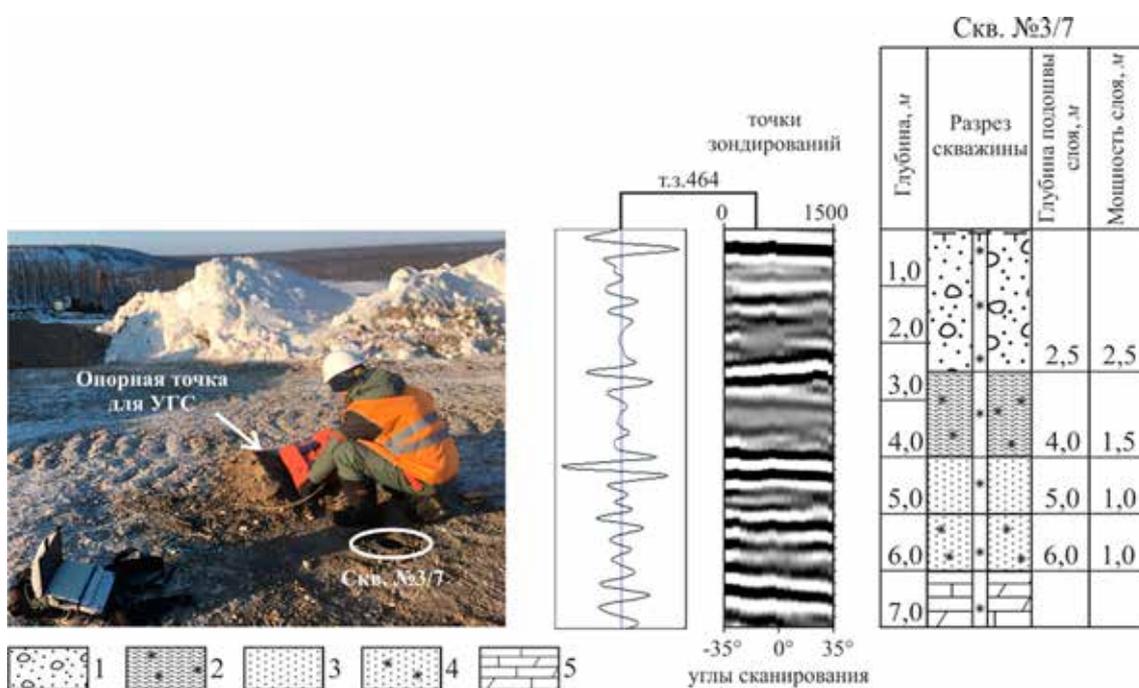


Рис. 1. Данные полевых исследований по методике углового георадиолокационного сканирования (УГС) в опорной точке, рядом со скважиной № 3/7: 1 – мерзлые песчано-гравийно-галечные отложения; 2 – высокольдистые илисто-глинистые отложения; 3 – суглинок темно-серый мерзлый; 4 – суглинок темно-серый с включением льда; 5 – доломиты

Верхняя граница слоя высокольдистых илисто-глинистых отложений (мощностью 1,5 м) образована песчано-гравийно-галечными слоями, а нижняя – суглинками. Нижний слой суглинков имеет ледяные включения и потому образует дополнительную отражающую границу на глубине около 5 м. На радарограмме отражение этих отложений видно как равномерно распределенные сигналы, заключенные между контрастными горизонтальными осями синфазности. Такие же контрастные сигналы наблюдаются по осям синфазности на границе суглинков и доломитов.

Для обработки данных георадарного профилирования также применено программное обеспечение GeoScan32. Проведена предварительная редакция данных с использованием входящих в него стандартных процедур: реверс, удаление трасс, привязка нуля к поверхности среды, частотная фильтрация, коррекция затухания амплитуд.

Участки талых пород в массиве многолетнемерзлых пород на волновом поле определены по особенностям динамических характеристик сигналов, которые отмечены при опыте георадиолокационных исследований по поиску мест локального повышенного увлажнения, заверенных бурением и шурфами [6, 13, 14]. Таких особенностей две: первая – это повышение амплитуды сигналов; вторая – смещение центральной частоты спектра отраженных сигналов в низкочастотную область. Например, в работе [13] показано, что сигналы, отраженные от верхней границы слоя талых пород, имеют спектр с центральной частотой 202 МГц, а отраженные от нижней границы – 187 МГц. Амплитуда сигналов на участке талых пород в два раза больше, чем на соседних, мерзлых участках. Стоит отметить, что такие изменения динамических характеристик наиболее заметны визуально при анализе волновых полей радарограммы в целом, а не отдельных трасс сигналов [13].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам бурения на контрольных точках и анализа радарограммы профиля № 12 (рис. 2) были определены интерпретационные признаки присутствия талых грунтов в мерзлых горных породах на исследуемом участке. На радарограмме указанного профиля в диапазонах 40–52 и 72–88 м наблюдается углубление подошвы песчано-гравий-

но-галечного слоя. Эти изменения связаны со смещением осей синфазности сигналов, относящихся к этим границам. Ниже, под слоем илисто-глинистых отложений выделяются две зоны хаотичных сигналов с относительно высокими амплитудами (пунктирные линии на рис. 2, а). Они прослеживаются в слое суглинков и могут указывать на их нарушенную криогенную структуру, изменение которой вызвано оттайкой и нарушением связности частиц под влиянием техногенных жидкостей.

Чтобы подтвердить точность интерпретации обнаруженных аномалий волнового поля, на контрольных точках на расстояниях 46, 60 и 80 м было проведено бурение трех скважин (№ 12/46, 12/60 и 12/80). В результате бурения подтвердились предположения о присутствии талых пород в толще суглинков в скважинах № 12/46 и 12/80 на глубинах 3,1–4,0 и 3,5–4,5 м соответственно. В скважине № 12/60 все породы были обнаружены в замерзшем состоянии. Геокриологический разрез по профилю № 12 представлен на рис. 2, б. Сопоставление глубины границ по данным бурения со временем задержки георадиолокационных сигналов позволило определить средние по разрезу значения относительной диэлектрической проницаемости пород: для мерзлых – 4, для талых – 9.

По совмещенным данным бурения и георадиолокации уточнено геологическое строение участка. Установлено, что слой песчано-гравийно-галечных отложений имеет различную мощность на всем протяжении участка. Под ним на глубине около 2 м залегает невыдержанный по толщине слой высокольдистых илисто-глинистых отложений. Его мощность колеблется от 0,5 до 1,5 м. Находящийся ниже слой суглинков залегает на коренных породах и местами содержит включения пластового льда.

На основе установленных и подтвержденных признаков выявления зон талых пород выполнена интерпретация георадарных данных на всем исследуемом участке. В результате талые породы обнаружены по семи профилям. На рис. 3 представлен фрагмент исследуемого участка с оконтуриванием талых зон в многолетнемерзлом массиве горных пород. Эта карта была создана на основе данных георадиолокационного профилирования и УГС в опорной точке, зоны талых пород выделены градиентной заливкой в черном пунктирном контуре. Цветовая шкала на карте демонстрирует глубину

подшвы слоя талых пород, варьирующуюся от 1,5 до 5,9 м. Видно, что глубина растепления горных пород не связана с радиационно-тепловым воздействием солнца, а имеет техногенный характер. Деградация мерзлоты в массиве идет от инженерно-технических сооружений по четырем каналам

в направлении склона, к борту карьера. Согласно данным георадиолокации площадь талых пород оценивается примерно в 1600 м². Для подтверждения данных георадиолокационного исследования участок дополнительно обследован бурением скважин по профилям (рис. 3).

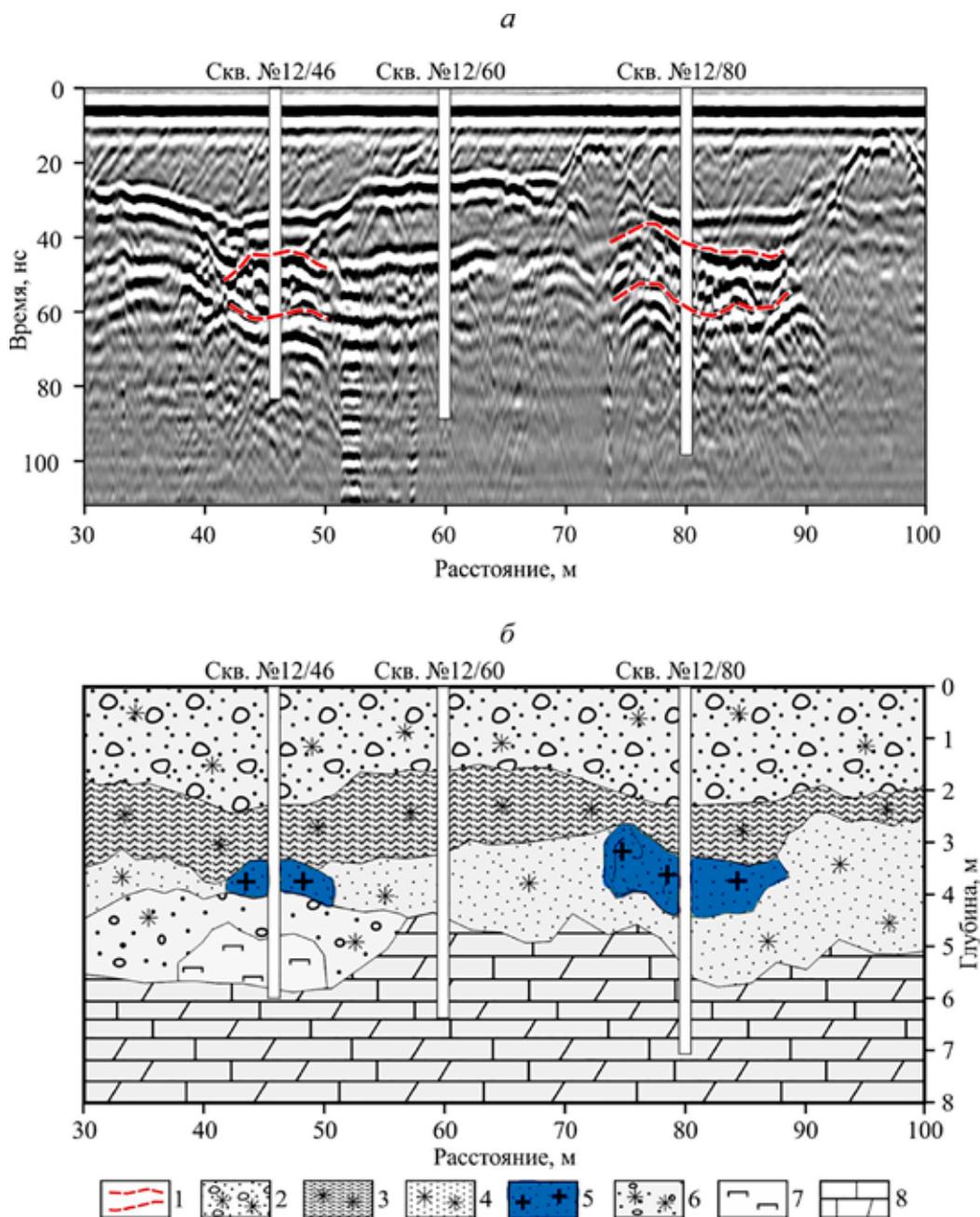


Рис. 2. Выявление зон талых пород по данным георадиолокации и бурения на фрагменте радарограммы по профилю № 12 (а – временной разрез; б – глубинный интерпретационный разрез): 1 – границы зон талых пород; 2 – мерзлые песчано-гравийно-галечные отложения; 3 – высокольдистые илисто-глинистые отложения; 4 – суглинок темно-серый мерзлый; 5 – суглинок темно-серый талый; 6 – песок льдистый мелкий с галечником; 7 – подземный лед; 8 – доломиты

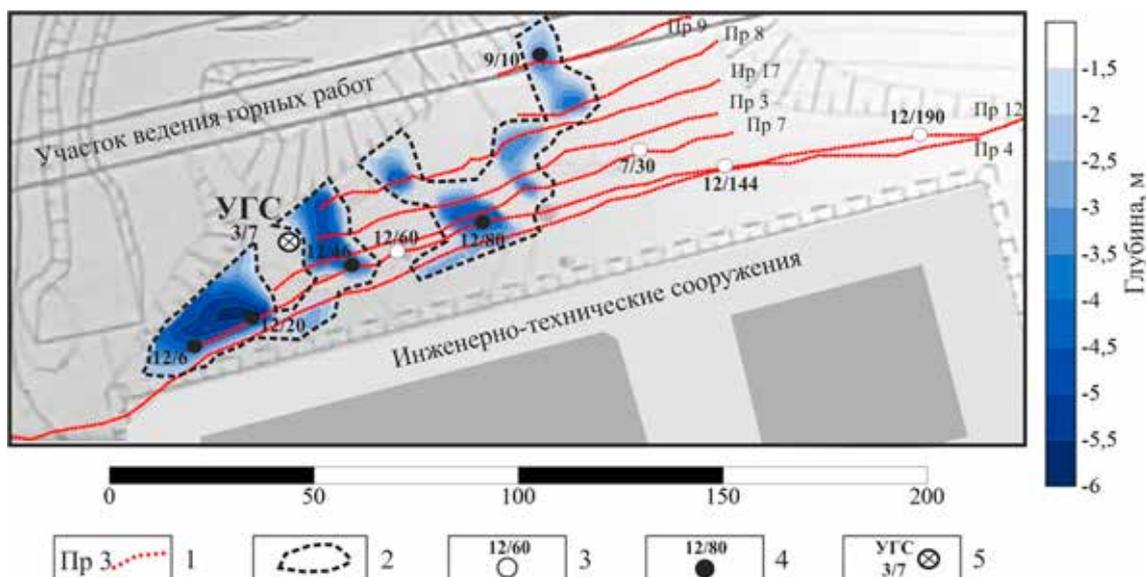


Рис. 3. Карта распространения зон талых горных пород, выявленных по данным георадиолокации и бурения: 1 – георадиолокационный профиль; 2 – контур талых горных пород; 3 – скважина с мерзлыми горными породами; 4 – скважина с талыми горными породами; 5 – опорная точка со скважиной.

Заключение

Для повышения результативности геофизических исследований геокриологических условий на участках действующих горнодобывающих предприятий в условиях пересеченной и ограниченной местности предложено комплексное использование методик профилирования и углового сканирования методом георадиолокации. По данным экспериментальных исследований обоснованы признаки обнаружения участков талых пород на радарограмме. Апробация методики картирования выполнена на территории Северной части Якутской алмазодобывающей провинции. В соответствии с предложенными интерпретационными признаками выполнен анализ волновых полей радарограмм полевых измерений. На основе данных георадиолокационного профилирования и УГС построена карта распространения талых горных пород по участку исследований. Показано, что применение георадиолокации позволяет получить оперативную информацию о криогенном состоянии горных пород на разрабатываемых месторождениях и в зоне техногенного воздействия инженерно-технических объектов. Полученные результаты позволят оперативно и корректно принимать решения по обеспечению устойчивости бортов и уступов карьеров при горно-добычных работах, а также бу-

дут полезны в выборе рациональных параметров вскрышных работ: выбор глубины взрывных скважин, их расположение и расстояние между ними, типа взрывчатого вещества, его мощности.

Список литературы

1. Ткач С.М. Геомеханические и геотехнологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых севера России // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2020. Т. № 1. С. 149–154.
2. Великин С.А., Марченко Ю.Л., Бажин К.И. Геофизические исследования при изучении инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород восточного карьера «Нюрбинский» (Западная Якутия) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2015. № 3. Вып. 27. С. 35–46.
3. Курленя М.В., Чернышов Г.С., Сердюков А.С., Дучков А.А., Яблоков А.В. Методика и результаты сейсмического исследования процессов образования оползней в условиях многолетнемерзлых пород // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016. № 5. С. 6–13.
4. Wei M., Fujun N., Satoshi A., Dewu J. Slope instability phenomena in permafrost regions of Qinghai-Tibet Plateau, China // *Landslides*. 2006. Vol. 3. P. 260–264.
5. Оленченко В.В., Картозия А.А., Цибизов Л.В., Осипова П.С., Есин Е.И. Геоэлектрическая характеристика побережья острова Самойловский (дельта реки Лена) // *Геофизические технологии*. 2018. № 4. P. 39–49.
6. 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.
7. Соловьев Е.Э., Саввин Д.В., Федорова Л.Л. Исследование геокриологических условий массива мерзлых горных пород неразрушающими электромагнитными методами // *Горный журнал*. 2019. № 2. С. 31–37.

8. Николаев С.П., Зарвняев Б.Н., Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. Оценка состояния массива георадиолокационным зондированием для совершенствования буровзрывных работ в условиях криолитозоны // Горный журнал. 2018. № 12. С. 9–13.
9. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2015. № 6. С. 73–78.
10. Старовойтов А.В., Романова А.М., Калашников А.Ю. Возможности георадиолокации при изучении ослабленных зон в верхней части разреза // Инженерные изыскания. 2011. № 4. С. 62–70.
11. Harry M.J. Ground penetrating radar: theory and applications. Elsevier, 2008. 524 p.
12. Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy // Geophysical Prospecting. 1989. Vol. 37, Is. 5. P. 531–551.
13. Саввин Д.В., Куляндин Г.А., Федорова Л.Л. Обнаружение талых грунтов в основаниях инженерных сооружений в криолитозоне методом георадиолокации // Естественные и технические науки. 2018. № 11 (125). С. 171–173.
14. Судакова М.С., Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Скворцов А.Г., Малкова Г.В. Возможности георадиолокации для исследования заболоченных торфяников в криолитозоне // Геология и геофизика. 2019. № 7. С. 1004–1013.
15. Kulyandin G.A., Fedorova L.L. Improvement GPR research of dredged polygons using the angular scanning technique // Conference Proceedings: Engineering and Mining Geophysics (Perm, 2020). 2020. Vol. 2020. P. 1–5.