



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 12 2024



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 12 2024



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. *Сакеев К.С.* (Бишкек); д.б.н. *Сибикеев С.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., доцент *Сокольская О.Б.* (Саратов); д.т.н., проф. *Степанов В.В.* (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. *Тарасенко А.А.* (Тюмень); д.т.н. *Теплухин В.К.* (Октябрьский); д.э.н., проф. *Титов В.А.* (Москва); д.с.-х.н., проф. *Титов В.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., проф. *Тихановский А.Н.* (Салехард); д.г.-м.н., проф. *Трофименко С.В.* (Нерюнгри); д.т.н., проф. *Ульрих Е.В.* (Кемерово); д.г.н., проф. *Чодураев Т.М.* (Бишкек); д.с.-х.н., проф. *Шамшиев Б.Н.* (Ош); д.т.н., проф. *Шантарин В.Д.* (Тюмень); д.т.н., проф. *Шатов А.А.* (Уфа); д.ф.-м.н., проф. *Ширатов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шнишелова 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

28.12.2024

Дата выхода номера

31.01.2025

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

19,0

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/12

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.,

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Dudkina N.A.

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.* (Vologograd); 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
Signed for print	28.12.2024
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	31.01.2025
Conditionally printed sheets	19,0
Order	YCE 2024/12

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 Общие земледелие и растениеводство)

СТАТЬИ

- ОЦЕНКА РОЛИ КРЫМСКОГО АГРАРНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
В РАЗВИТИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ
НА ОПТИМИЗАЦИЮ СТЕПНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
Грошева О.А.8
- УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ
КОРМОВОГО СЫРЬЯ
Лоскутова В.А., Протасова Л.Г.16

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

- ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ
«РЕЛИКТОВЫЕ ЛЕСА ВОКРУГ ЮЛОВСКОГО ПРУДА» (УЛЬЯНОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)
Асташин А.Е., Бадьин М.М., Ватина О.Е., Подковырина В.М., Ниточкина В.С.21
- АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ФОСФОРНОЙ
КИСЛОТЫ КАК ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ РАЗНЫХ РЕГИОНОВ МИРА)
Баш П.В.28
- БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ДОННОЙ СРЕДЫ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА ВЛАДИМИРА (СРЕДНЕЕ ПРИМОРЬЕ)
Иванова Е.Д., Жариков В.В., Лебедев А.М.34
- ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГЕОСИСТЕМЫ ЧЕРНОЛУЧЕНСКО-
КРАСНОЯРСКОЙ ЗОНЫ ОТДЫХА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ
Мезенцева О.В., Павленко А.И.42
- ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ
Николаева Н.А.50
- ОХРАНЯЕМЫЕ РОДНИКИ ИВНЯНСКОГО И ПРОХОРОВСКОГО РАЙОНОВ
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ИХ СТАТУСА
Новых Л.Л., Орехова Г.А., Гайденко Е.М., Новых И.Е.56
- ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СУРАБАЯ В ИНДОНЕЗИИ)
Сафитри Д.А., Беспалова Л.А., Глушко А.Е.63

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

- ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД
ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ СЕВЕРО-ВАРТОВСКОЙ МЕГАТЕРРАСЫ
Жидков Е.О., Фаррахова О.А., Решетников М.В.70
- ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПЛОДОРОДНОГО ПОЧВЕННОГО
СЛОЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО
ЗНАЧЕНИЯ «АБАЛАКСКИЙ ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС»)
Токарева А.Ю., Алимова Г.С., Земцова Е.С., Кайгородов Р.В.77

МЕТОДИКА АНАЛИЗА КРИВЫХ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕРЗЛЫХ И ОТТАИВАЮЩИХ
ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Царапов М.Н.84

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

СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИЛЁВСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА ПО СОДЕРЖАНИЮ РАДИОНУКЛИДОВ
И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Коровина О.Ю., Сомин В.А., Айдарханова А.К.93

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАВИТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ КРУТОНАКЛОННОГО
КОНЦЕНТРАТОРА

Матвеев А.И., Яковлев Б.В., Еремеева Н.Г., Нечаев П.Б.99

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНЫХ
ДРОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВКИХ МАРКЕРОВ

Осинов Д.А., Лебедев И.Ф.107

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВЛАЖНОГО
ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Попов В.И.113

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ СТРОЕНИЯ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ МЕТОДАМИ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В ЧУРАПЧИНСКОМ РАЙОНЕ ЯКУТИИ

Саввинов И.И., Федорова Л.Л.119

Физико-математические науки (1.6.22)

СТАТЬЯ

ПРОЕКТ СГУЩЕНИЯ ПЛАНОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В СИРИЙСКОЙ
АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ И АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ЕЕ ТОЧНОСТИ

Половнев О.В., Гафаар А.126

**Геолого-минералогические науки (1.6.11 Геология, поиски, разведка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений)**

СТАТЬИ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЮГРЫ

Кузьменков С.Г., Нанишвили О.А., Новиков М.В., Захарова Л.М., Захарова В.А.133

ИЗУЧЕННОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО, ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И
ГРАВИМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРИМОРСКИХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН

Слепцова М.И., Оболкин А.П., Оболкин А.А., Севостьянова Р.Ф.140

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

СТАТЬЯ

СОСТОЯНИЕ ДЕРЕВЬЕВ В ПАРКАХ ЕКАТЕРИНБУРГА В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА

Гордеева И.В.147

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1 General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

- ASSESSMENT OF THE ROLE OF THE CRIMEAN AGRICULTURAL RESEARCH CENTER IN THE DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AIMED AT OPTIMIZING STEPPE LAND USE
Grosheva O.A. 8
- MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CONTROL OF QUALITY AND SAFETY OF FEED RAW MATERIALS
Loskutova V.A., Protasova L.G. 16

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

- LANDSCAPE STRUCTURE OF THE TERRITORY OF THE NATURE MONUMENT “RELICT FORESTS AROUND THE YULOVSKY POND” (ULYANOVSK REGION)
Astashin A.E., Badin M.M., Vatina O.E., Podkovyrina V.M., Nitochkina V.S. 21
- ANALYSIS OF THE PRESENCE OF ORGANOPHOSPHATE ESTERS AS SOURCES OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (VARIOUS WORLD REGIONS CASE STUDY)
Bash P.V. 28
- BENTHIC FORAMINIFERA AS INDICATORS OF BOTTOM ENVIRONMENT IN THE COASTAL ZONE OF VLADIMIR BAY (MIDDLE PRIMORYE)
Ivanova E.D., Zharikov V.V., Lebedev A.M. 34
- GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE GEOSYSTEMS OF THE CHERNOLUCHENSK-KRASNOYARSK RECREATION AREA OF THE OMSK REGION
Mezentseva O.V., Pavlenko A.I. 42
- FORMATION OF INDICATORS FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE ENERGY SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA ON THE NATURAL ENVIRONMENT
Nikolaeva N.A. 50
- PROTECTED SPRINGS OF IVNYANSKY AND PROKHOROVSKY DISTRICTS IN BELGOROD REGION AND PROSPECTS FOR MAINTAINING THEIR STATUS
Novykh L.L., Orekhova G.A., Gaydenko E.M., Novykh I.E. 56
- GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE LEVEL OF MANIFESTATION OF NATURAL-TECHNOGENIC PROCESSES (BASED ON THE EXAMPLE OF THE COASTAL ZONE OF SURABAYA IN INDONESIA)
Safitri D.A., Bespalova L.A., Glushko A.E. 63

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

- WETTABILITY OF ROCKS OF BV₈ AND YV_{1/1} FORMATIONS WITHIN THE EASTERN PART OF THE NORTH VARTOVSKAYA MEGATERRACE
Zhidkov E.O., Farrakhova O.A., Reshetnikov M.V. 70
- THE EXPERIENCE OF CONDUCTING AN EXAMINATION OF A FERTILE SOIL LAYER (USING THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF THE RESERVE OF REGIONAL SIGNIFICANCE “ABALAK NATURAL HISTORICAL COMPLEX”)
Tokareva A.Yu., Alimova G.S., Zemtsova E.S., Kaygorodov R.V. 77

METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF CREEP CURVES OF FROZEN AND THAWING SOILS BASED ON THE PIECEWISE LINEAR APPROXIMATION METHOD

Tsarapov M.N. 84

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

ARTICLES

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE GILYOVSKY RESERVOIR BY THE CONTENT OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS

Korovina O.Yu., Somin V.A., Aydarkhanova A.K. 93

MODELING OF THE PROCESS OF GRAVITATIONAL SEPARATION OF MINERAL PARTICLES IN THE WORKING AREA OF A STEEPLY INCLINED CONCENTRATOR

Matveev A.I., Yakovlev B.V., Ereemeeva N.G., Nechaev P.B. 99

POSSIBILITY OF DETERMINING THE OPERATING PARAMETERS OF ROTARY CRUSHING PLANTS USING FORGED MARKERS.

Osipov D.A., Lebedev I.F. 107

HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES DURING THE MOVEMENT OF HUMID AIR IN MINING WORKINGS OF THE PERMAFROST ZONE

Popov V.I. 113

MONITORING OF CHANGES IN THE STRUCTURE OF PINGO BY ELECTRICAL EXPLORATION METHODS IN THE CHURAPCHINSKY DISTRICT YAKUTIA

Savvinov I.I., Fedorova L.L. 119

Physical and mathematical sciences (1.6.22)

ARTICLE

THE PROJECT OF CONDENSATION OF THE PLANNED GEODETIC NETWORK IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC AND A PRIORI ASSESSMENT OF ITS ACCURACY

Polovnev O.V., Gafaar A. 126

Geological and mineralogical sciences (1.6.11 Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields)

ARTICLES

STATUS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF YUGRA'S RESOURCE BASE

Kuzmenkov S.G., Nanishvili O.A., Novikov M.V., Zakharova L.M., Zakharova V.A. 133

STUDY OF SEISMIC, GEOELECTRIC AND GRAVIMAGNETIC FIELDS IN THE NORTH-EAST OF YAKUTIA AND OIL AND GAS POTENTIAL PROSPECTS COASTAL TROUGHS AND DEPRESSIONS

Sleptsova M.I., Obolkin A.P., Obolkin A.A., Sevostyanova R.F. 140

Agricultural sciences (4.1.6. Forestry, forestry, forest crops, agroforestry improvement,

ARTICLE

THE STATUS OF TREES IN YEKATERINBURG PARKS UNDER CONDITIONS OF INTENSIVE ANTHROPOGENIC PRESSURE

Gordeeva I.V. 147

СТАТЬИ

УДК 631.51:631.153.7
DOI 10.17513/use.38342

**ОЦЕНКА РОЛИ КРЫМСКОГО АГРАРНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
В РАЗВИТИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ,
НАПРАВЛЕННЫХ НА ОПТИМИЗАЦИЮ
СТЕПНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

Грошева О.А.

*Институт степи Уральского отделения Российской академии наук,
Оренбург, e-mail: Groshev06@yandex.ru*

Целями исследования являются анализ деятельности и оценка роли Крымского аграрного научного центра в создании и внедрении в сельскохозяйственное производство степного Крыма почвозащитных ресурсосберегающих технологий. В качестве основных материалов для проведения исследований использовались опубликованные с начала XX века по настоящее время научные работы ученых Крымского аграрного научного центра. Основными направлениями развития почвозащитных технологий в Крыму наряду с получением высоких урожаев широкого спектра сельскохозяйственных культур являются создание благоприятных условий для накопления продуктивной влаги в поверхностном корнеобитаемом слое степных почв, а также поиск различных приемов для предотвращения негативного воздействия засух, суховеев и пыльных бурь. В формировании и становлении Крымского аграрного центра за более чем вековую историю выделяются 4 этапа, которые включают: создание центра; начало работ по закладке многолетних полевых опытов по разработке полевых и травопольных севооборотов, агротехнических приемов и применению удобрений, селекции и элитному семеноводству зерновых культур, кукурузы, сорго, подсолнечника, сои; посадку полезащитных лесных полос; проведение многолетних опытов по изучению почвозащитных ресурсосберегающих систем обработки почвы. Необходимо отметить, что Крымский аграрный научный центр занимает лидирующие позиции среди ведущих центров страны по внедрению минимальных и нулевых обработок почвы в практику сельскохозяйственных предприятий, которое способствует как повышению урожайности сельскохозяйственных культур, так и сохранению плодородия степных почв.

Ключевые слова: Крымский научный центр, почвозащитная технология, нулевая обработка, урожайность, защита от пыльных бурь, экономическая эффективность

Статья подготовлена по теме НИР Института степи Уральского отделения Российской академии наук № АААА-А21-121011190016-1.

**ASSESSMENT OF THE ROLE OF THE CRIMEAN AGRICULTURAL
RESEARCH CENTER IN THE DEVELOPMENT
OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AIMED
AT OPTIMIZING STEPPE LAND USE**

Grosheva O.A.

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Orenburg, e-mail: Groshev06@yandex.ru*

The aim of the study is to analyze the activities and assess the role of the Crimean Agrarian Scientific Center in the creation and implementation of soil-protective resource-saving technologies in agricultural production of the steppe Crimea. The main materials for the study were scientific works of scientists of the Crimean Agrarian Scientific Center published from the beginning of the 20th century to the present. The main direction of the development of soil-protective technologies in Crimea, therefore, with the use of high yields in a wide range of agricultural crops, is the creation of favorable conditions for the accumulation of productive moisture in the surface root layer of steppe soils, as well as the search for various techniques to prevent the negative impact of droughts, dry winds and dust storms. In the formation and establishment of the Crimean Agrarian Center for more than a century of history, 4 stages are distinguished, which include the creation of the center, the beginning of work on the establishment of long-term field experiments on the development of field and grassland crop rotations, agrotechnical methods and the use of fertilizers, selection and elite seed production of grain crops, corn, sorghum, sunflower, soybeans, planting of field-protective forest belts, conducting long-term experiments on the study of soil-protective resource-saving systems of land cultivation. It should be noted that the Crimean Agrarian Scientific Center occupies a leading position among the leading centers of the country in the introduction of minimum and zero tillage at practicing agricultural enterprises, contributing to an increase in the yield of agricultural crops, as well as maintaining the fertility of steppe soils.

Keywords: Crimean Scientific Center, soil protection technology, zero processing, productivity, protection from dust storms, economic efficiency

The article was prepared on the topic of research work of the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No. АААА-А21-121011190016-1.

Введение

Среди отечественных аграрных научных центров по внедрению почвозащитных систем земледелия Крымский центр занимает особое место.

Растениеводство степного Крыма ведется на обширной плоской равнине площадью 15,9 км², которая является естественным продолжением южно-украинских степей. Климат отличается умеренной континентальностью с продолжительным и жарким летом и короткой, мягкой зимой. Агроклиматические условия характеризуются нестабильностью. Сильные ветры со скоростью 25 м/с и более, в основном северо-восточного или юго-западного направления, возникают зимой при вторжениях холодного воздуха с материка и опускании холодного воздуха с гор [1, 2]. Баланс влаги в степной части Крыма отрицательный, что в совокупности с высокой распаханностью территории и низкой увлажненностью поверхностного слоя почвы приводит к возникновению засух, суховеев и пыльных бурь.

Пыльные бури чаще всего проявляются в равнинных и предгорных районах Крыма. Наиболее интенсивные пыльные бури за последние 100 лет, наблюдавшиеся в 1928, 1960, 1965, 1969, 1972, 1974, 1986, 2007, 2012 и 2015 годах, а также пыльные бури 1946, 1953, 1961, 1964, 1974, 2003 и 2017 годов, имеющие локальный характер [1-3], наносили значительный ущерб посевам сельскохозяйственных культур и плодородию почв.

Важным фактором земледелия степного Крыма также являются часто повторяющиеся засухи и, соответственно, недостаток продуктивной влаги в почве и приземном слое воздуха. Наиболее сильные засухи отмечались в Крыму в 2007, 2009, 2010, 2012, 2013 и 2018 годах [1; 4, с. 61]. Около 100 тыс. га посевов погибло от сильной засухи 2018 года, при этом ущерб крымских аграриев составил более 1 млрд рублей.

Возникновению негативных процессов способствует несбалансированность структуры посевных площадей – 78,4% посевных площадей занято пшеницей, ячменем и подсолнечником, несмотря на достаточно широкий набор сельскохозяйственных культур: озимая и яровая пшеница (38,9%), озимый и яровой ячмень (27,9%), подсолнечник на зерно (11,6%), а также овес, просо, сорго, озимый и яровой рапс, лен, горчица, овощи открытого грунта, картофель и зернобобовые (соя, нут, горох, чечевица,

чина, вика, фасоль и др.). Формирование зерна высокого качества обусловлено уникальным сочетанием почвенно-климатических условий Крымского полуострова [5].

Все эти факторы предопределили высокую актуальность создания и активного развития Крымского аграрного научного центра, который в настоящее время занимает лидирующие позиции в разработке и внедрении почвозащитных ресурсосберегающих технологий в степном Крыму [6, 7].

Особая заслуга в становлении и формировании Крымского аграрного научного центра на протяжении более чем 100-летней истории его развития принадлежит: Н.Н. Клепинину, П.И. Богдану, Е.Д. Голубинскому, И.В. Хоменко, Н.Е. Угнивенко, Ф.Ф. Адаменю, Н.П. Демченко, В.И. Зинченко, К.Г. Женченко, В.С. Паштецкому, Л.А. Радченко, Е.Н. Туриной, А.А. Гонгало (ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма») и О.Л. Томашовой, Н.Г. Осеннему, А.В. Ильину, Е.И. Ергинной и др. (ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского») [7].

Целями исследования являются анализ деятельности и оценка роли Крымского аграрного научного центра в создании и внедрении в практику сельскохозяйственного производства степной части Крыма почвозащитных ресурсосберегающих технологий.

Материал и методы исследования

В качестве основных материалов для проведения исследований использовались опубликованные с начала XX века по настоящее время научные работы ученых Крымского аграрного научного центра, содержащие результаты, полученные при апробации и применении почвозащитных технологий в сравнении с традиционной (отвальной) обработкой почвы. Одним из основных показателей оценки эффективности применяемых агротехнологий является снижение ущерба от проявлений пыльных бурь, засух и суховеев. В основе оценки роли Крымского научного центра в развитии теории и практики почвозащитного ресурсосберегающего земледелия лежит сравнительно-географический метод исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Крымский аграрный научный центр является одним из старейших в стране. В его становлении можно выделить 4 этапа эволюционного развития (табл. 1).

Таблица 1

Этапы формирования и развития Крымского аграрного научного центра

№ этапа	Годы	Ученые	Содержание этапа
I	1918–1951	Клепинин Н.Н. Закоморный И. Струков В.Г. Будченко А.М. Якушкин И.В. Богдан П.И. Сарахов И.П.	Создание в 1918 году Таврического университета и в 1924 году Крымской опытной станции полеводства. Закладка многолетних полевых опытов по разработке и внедрению севооборотов, агроприемов и применения удобрений для озимой пшеницы, озимого и ярового ячменя, овса, сои, сорго, кукурузы, подсолнечника, хлопчатника, масличного льна, свеклы и других культур
II	1951–1975	Голубинский Е.Д. Гармашов В.Н. Тулин А.С. Холощев М.В. Сербин А.А. Хоменко И.В. Угнивенко Н.Е. Полосухин Г.А. Кольцов В.А. Титова В.Г. Антонюк В.Г.	Создание в 1951 году Крымской государственной комплексной сельскохозяйственной опытной станции, в состав которой была включена Крымская агролесомелиоративная опытная станция. В практику работы комплексной станции включались работы по изучению новых приемов богарного и орошаемого земледелия, травопольных севооборотов, селекции и элитного семеноводства, а также посадка древесно-кустарниковой растительности в рамках реализации «Сталинского плана преобразования природы»
III	1975–2010	Адамень Ф.Ф. Демченко Н.П. Зинченко В.И. Женченко К.Г. Радченко Л.А. Тарасенко И.А. Коломиец Н.Г. Николаев Е.В. Пасынков В.И.	Закладка в 1975 году стационарного многолетнего опыта по изучению разноглубинных минимальных обработок почвы. В задачи исследований входили изучение факторов, формирующих урожай, исследование водного и питательного режимов растений, засоренности, показателей качества продукции, ветроустойчивости и агрофизических свойств почвы. Исследованиями было установлено, что разработанная система минимальной обработки почвы обеспечивает надежную защиту почвы от ветровой эрозии и создает условия для накопления влаги в почве
IV	2010 по настоящее время	Паштецкий В.С. Радченко Л.А. Тулин Е.Н. Женченко К.Г. Гонгало А.А. Суцкий А.Н. Изотов А.М. Приходько А.В. Томашова О.Л. Осенний Н.Г. Ильин А.В. Ергина Е.И.	Широкое внедрение нулевой обработки в практику работы сельскохозяйственных предприятий Крыма. Основными культурами, которые апробируются и внедряются крымскими учеными в производство, являются озимая пшеница, лен масличный, сорго и озимый ячмень. Важным направлением работы является создание и внедрение в производство новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые востребованы не только в Крыму, но и в южных регионах России

I этап. История Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма, производственная база которого расположена в наиболее засушливой степной части Крымского полуострова, начинается с открытия 10 июня 1924 года областной опытной станции полеводства на базе совхоза «Ташлы-Кипчак». Первым директором опытной станции был назначен выдающийся ученый-почвовед, профессор Таврического университета Николай Николаевич Клепинин (1869–1936) [8, с. 6–8].

Несмотря на тяжелое положение в стране, жесточайший голод и разруху, сотруд-

ники станции закладывали длительные полевые стационарные опыты, которые проводились в дальнейшем более 75 лет и позволили доказать, что разработанные системы земледелия, адаптированные к природным условиям Крымской степи, позволяют получать богатые урожаи озимой пшеницы, ячменя, сои, кукурузы и других культур. Разработка научно обоснованной системы севооборотов (от 3- до 9-польных, особое внимание в которых уделялось парам), применения удобрений, а также определение времени, глубины и способа проведения основных агро-

приемов увязывались с изучением водного режима, структуры и физических свойств почв, баланса питательных веществ [8, с. 9]. Немаловажное значение придавалось срокам сева и нормам высева сельскохозяйственных культур, нормам внесения органических (навоз) и минеральных (суперфосфат и томасшлак) удобрений и их влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур [8, с. 9; 9, с. 50]. Сотрудникам станции во главе с Н.Н. Клепининым удалось доказать пригодность почв северной и северо-восточной части полуострова для возделывания ряда сортов хлопка-сырца.

В предвоенные годы сотрудники опытной станции (с 1937 года – Крымской государственной селекционной станции) значительно расширили набор изучаемых культур: к традиционным озимой пшенице, озимому ячменю, кукурузе и подсолнечнику добавились яровой ячмень, овес, масличный лен, бобовые и злаковые травы, соя, сорго, хлопчатник и другие культуры [10]. В период коллективизации с 1931 года сотрудники станции изучали условия произрастания сельскохозяйственных культур не только на опытной станции, но и в отдельных частях Крымского полуострова. Проведенные исследования позволили сформировать и распространить рекомендации по возделыванию сельскохозяйственных культур, что способствовало повышению урожайности на колхозных и совхозных полях [8, с. 10–11].

Особое внимание Н.Н. Клепинин уделял агролесомелиорации [11], которая значительно снижала воздействие суховейных ветров и проявление почвенной засухи, повышала плодородие и регулировала водопроницаемость почв. Рекомендации Н.Н. Клепинина были учтены при разработке и реализации в Крымской области РСФСР грандиозного по своим масштабам «Сталинского плана преобразования природы». Согласно этому плану, на территории Крыма предусматривалась посадка 70,8 тыс. га древесно-кустарниковой растительности в виде полезащитных лесных полос.

II этап. Следующий этап связан с созданием в 1951 году Крымской государственной комплексной сельскохозяйственной опытной станции, в состав которой была включена Крымская агролесомелиоративная опытная станция. Возглавил ее и в течение 27 лет руководил комплексной станцией талантливый организатор и ученый Ефим Денисович Голубинский. При Е.Д. Голубинском разворачиваются работы по созданию

полезащитных лесных полос, значительно расширяется спектр полевых исследований по разработке новых агроприемов богарного, орошаемого и почвозащитного земледелия, полевых и травопольных севооборотов, а также селекционных работ по созданию новых сортов зерновых и кормовых культур. Выполняются работы по первичному и элитному семеноводству зерновых культур, кукурузы, сорго, подсолнечника, сои, многолетних и однолетних трав, совершенствованию племенных и продуктивных качеств пород крупного рогатого скота, свиней и овец. Были проведены оценка кормов и разработка прогрессивных схем кормления животных, механизация трудоемких процессов в животноводстве и испытание новых сельскохозяйственных машин [8, с. 25; 9, с. 57].

Достаточно серьезной проблемой для Крыма в середине XX века являлось проявление дефляционных процессов, возникающих при сильных ветрах. Так, в 1965 году в результате сильной и продолжительной пыльной бури были повреждены посевы озимых на площади 45 тыс. га, а в зимне-весенний период 1969 года ветрами повреждено и уничтожено посевов озимых культур на площади 300 тыс. га [3]. При этом крымскими учеными установлено, что при выдувании 1 см почвы общие потери плодородных земель составили 143 млн т, при общем выдувании почвы на глубину 3–10 см [3].

Сотрудники агролесомелиоративной станции, поставив задачу защиты посевов сельскохозяйственных культур и поверхностного слоя почвы от засухи, суховея и пыльных бурь, на протяжении 35 лет разрабатывали комплексы лесокультурных приемов по выращиванию устойчивых и долговечных лесонасаждений в степных районах Крыма [8, с. 47; 9, с. 53]. В результате научно-исследовательских работ был сформирован ассортимент древесных (дуб черешчатый, гледичия обыкновенная, вяз мелколистный, сосна крымская, орех грецкий) и кустарниковых (жимолость душистая, вишня песчаная, смородина золотистая) пород, рекомендуемых для закладки полезащитных лесонасаждений в различных почвенно-климатических условиях степного Крыма.

Как показали исследования, из всего разнообразия комбинаций лесных пород наиболее эффективными и долговечными в условиях степного Крыма оказались лесозащитные насаждения дуба черешчатого продуваемых и ажурных конструкций.

В течение 1949–1960 годов было заложено более 16 тыс. га полезащитных лесополос, а к 1980 году система лесополос составила более 25 тыс. га [3]. Современные исследования, проведенные в степной части Крымского полуострова, подтвердили положительное воздействие полезащитных лесных полос на сельскохозяйственные культуры: у озимых культур, например, увеличиваются продуктивная кустистость и количество зерен в колосе, развивается более мощная корневая система. К положительным факторам действия лесополос можно отнести формирование благоприятного микроклимата, существенное снижение скорости ветра, накопление и сохранение влаги в почве и приземном слое воздуха, повышение относительной влажности воздуха [3].

К сожалению, за последние два десятилетия площадь, занятая полезащитными лесными полосами, значительно сократилась и в настоящее время составляет 10 тыс. га, большинство из которых находятся в неудовлетворительном состоянии [12]. Таким образом, для защиты полей, садов, виноградников, водоемов, создания безэрозийного стока, получения высокого урожая сельскохозяйственных культур необходимо создать не менее 17 тыс. га лесных полос различного целевого назначения [3].

III этап. Проблема участвовавших пыльных бурь и засух 1960–1970-х годов, создателей системы безотвальной обработки почвы Т.С. Мальцева, А.И. Бараева приводит сотрудников НИИ сельского хозяйства Крыма к необходимости разработки почвозащитной и энергосберегающей научно обоснованной системы обработки почвы. Кроме получения высокого урожая сельскохозяйственных культур, новые технологии должны обеспечивать в условиях засушливого степного Крыма защиту посевов от проявления неблагоприятных погодных явлений, сохранение и воспроизводство плодородия почвы, накопление и сохранение влаги в поверхностном корнеобитаемом слое почвы.

Для решения этой задачи на полях Крымской областной государственной сельскохозяйственной опытной станции в 1975 году был заложен долговременный стационарный опыт, включающий 17 вариантов. Разные системы обработки изучались в 10-польном зернопаропропашном севообороте при следующем чередовании культур: пар чистый – озимая пшеница – озимый ячмень – кукуруза молочно-восковой спелости – озимая пше-

ница – пар занятый (тритикале + вика озимая) – озимая пшеница – кукуруза на зерно – яровой ячмень – подсолнечник [13].

Полученные в 1980-х годах результаты исследований вариантов почвозащитных технологий показали, что на южном черноземе предгорного Крыма почвозащитные технологии обеспечили одинаковую продуктивность по сравнению с традиционной обработкой [14], а на полях степного Крыма преимущество было за мелкими плоскорезными обработками – прибавка урожая составила 2 ц/га [15].

При разноглубинной плоскорезной обработке зяби на поверхности почвы оставались растительные остатки, что обеспечивало защиту почвы от выдувания, в отличие от полей, где проводили классическую отвальную обработку. Так, при количестве стерни 100 шт./м² выдувание уменьшалось на 57–78%, а при 200–300 шт./м² – на 89–97%, при этом увеличение ветроустойчивости способствовало повышению комковатой структуры почвы до 50% и 20–30% соответственно [3]. Ученые отмечали, что замена вспашки плоскорезным рыхлением и уменьшение глубины обработки с 20–22 см до 8–10 см под озимые культуры и до 12–14 см под яровые зерновые приводят к снижению производственных затрат на 25–27% и, следовательно, к росту чистого дохода и рентабельности [3].

Важным результатом применения минимальной обработки является увеличение содержания гумуса. Так, за три ротации 9-польного севооборота максимальный результат получен при сочетании глубоких и мелких плоскорезных обработок со вспашкой в чистом пару при внесении органических и минеральных удобрений и мульчировании соломой [16] (табл. 2). Важным условием при этом является обогащение пахотного слоя почвы органикой в виде мульчи и навоза, а внесение минеральных удобрений восполняет убыль азота.

Необходимо учитывать, что применяемые системы земледелия с отвальной обработкой почвы способствовали снижению содержания гумуса в 2,15 раза от его целинного состояния, а ежегодные потери гумуса в пахотном слое составили 0,33 т/га [17]. При длительном мелком рыхлении на поверхности почвы наблюдается концентрация растительных остатков. Разноглубинные обработки и отвальная вспашка способствуют их перемещению в более глубокие слои для последующего разложения.

Таблица 2

Содержание гумуса на целинном участке и при различных видах обработки почвы за три ротации 9-польного севооборота, % [16]

Показатели содержания гумуса, % Варианты обработки почвы	Слой почвы, см			Среднее значение в слое 0–30 см
	0–10	10–20	20–30	
Содержание гумуса на целинном участке, %	4,37	3,06	2,56	3,33
Разноглубинная отвальная обработка (без удобрений)	2,22	2,29	2,19	2,23
Разноглубинная плоскорезная обработка со вспашкой в чистом пару (без удобрений)	2,27	2,38	2,39	2,35
Разноглубинная плоскорезная обработка со вспашкой в чистом пару + навоз 7 т и N ₄₀ P ₄₀	2,52	2,52	2,51	2,52
Сочетание глубоких и мелких плоскорезных обработок со вспашкой в чистом пару + навоз 7 т и N ₄₀ P ₄₀	2,66	2,78	2,78	2,74
Сочетание глубоких и мелких плоскорезных обработок со вспашкой в чистом пару + навоз 7 т и N ₄₀ P ₄₀ + мульчирование соломой	2,82	2,88	2,88	2,86

IV этап. В настоящее время для защиты почв от пыльных бурь крымскими учеными апробируются и внедряются в производство приемы почвозащитных ресурсосберегающих технологий для выращивания озимой пшеницы, льна масличного, сорго и озимого ячменя по нулевой обработке [18, с. 207; 19, 20].

Как показывают исследования, нулевая обработка не всегда дает преимущества по сравнению с традиционными системами земледелия по показателям урожайности и качества продукции [21, 22], для нахождения оптимальных технологических параметров требуется проведение дополнительных многолетних исследований [23]. Также отмечается, что видовой состав и количество сорной растительности, плотность почвы при применении прямого посева и традиционных технологий отличались незначительно [24]. Преимущества нулевой обработки проявляются в запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы, количестве агроно-

мически ценных агрегатов, структурности и экономической эффективности возделываемых культур [19].

Обязательные принципы нулевой обработки состоят в наличии постоянного растительного покрова, минимальном механическом воздействии на почву (только при посеве) и обязательном применении адаптивных плодосмен [3], что позволяет создавать благоприятный водно-воздушный режим почвы, существенно снижать неблагоприятное воздействие пыльных бурь и способствует увеличению содержания гумуса [10, 18].

Закономерным итогом работы Крымского научного центра по внедрению почвозащитных технологий является увеличение площадей, обрабатываемых по различным вариантам нулевой обработки. Так, с 2013 по 2017 годы площади, занятые нулевой обработкой, увеличились в 1,8 раза при неуклонном росте урожайности зерновых культур в целом (табл. 3).

Таблица 3

Динамика применения нулевой обработки при производстве зерновых культур в сельском хозяйстве Республики Крым [25]

Показатели	Годы				
	2013	2014	2015	2016	2017
Посевная площадь зерновых, га	563900,0	448896,6	468332,5	447126,9	481625,3
Площади, занятые под No-till, га	21000,0	19563,43	23679,94	26155,0	37579,3
No-till технологии, %	3,72	4,35	5,05	5,84	7,80
Урожайность зерновых, ц/га	14,5	23,4	27,2	27,7	30,8
Валовый сбор, тыс. т	527,5	555,54	680,16	683,75	825,60

По данным Е.Н. Турина, К.Г. Женченко, А.А. Гонгало [10, 18], площадь земель в 2020 году под нулевую обработку в зоне рискованного земледелия Крыма составила уже 52,2 тыс. га и продолжает неуклонно расти. Более 40 крестьянско-фермерских хозяйств используют ресурсосберегающую технологию на постоянной основе.

Проводя исследования на опытных полях и в хозяйствах Крыма, ученые активно участвуют в научных конференциях, публикуют рекомендации по применению нулевой обработки в условиях степного Крыма [26] с подробным описанием необходимых условий перехода на нулевую обработку, принципов построения севооборотов, требований к технике, а также систем внесения минеральных удобрений [9] и применения средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Выводы

Подводя итоги исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Анализ истории становления Крымского аграрного научного центра по разработке и внедрению в производство почвозащитных ресурсосберегающих технологий позволил выделить 4 этапа формирования центра.

I этап начинается с организации Таврического университета (1918) и Крымской опытной станции полеводства (1924). Ученые-аграрии закладывают опыты, связанные с агротехническими приемами, которые способствуют получению высоких урожаев озимой пшеницы, озимого и ярового ячменя, овса, сои, сорго, кукурузы, подсолнечника, хлопчатника, масличного льна, свеклы и других культур в засушливых условиях степного Крыма. Современные ученые отмечают высокий профессионализм сотрудников Крымской станции полеводства при закладке многолетних полевых опытов, который позволил ученым XXI века доработать и запатентовать почвозащитную систему земледелия, адаптированную к условиям степной зоны Крыма.

Отличительной чертой II этапа развития Крымского аграрного научного центра является интенсификация опытного дела. Ведется активная разработка агроприемов и технологий богарного, орошаемого и почвозащитного земледелия, проводятся широкие селекционные исследования по созданию новых сортов, первичному и элитному семеноводству. Разворачиваются работы по созданию полезащитных лесных полос.

III этап отмечен проявлением негативных процессов и погодных явлений (пыльные бури, суховеи, засухи) начала 1960-х годов, что предопределило необходимость разработки научно обоснованной почвозащитной технологии выращивания сельскохозяйственных культур – минимальной обработки, способствующей накоплению влаги и сохраняющей естественное плодородие почвы при получении высоких урожаев. В условиях степного Крыма такая технология предполагает сочетание глубоких и мелких плоскорезных обработок со вспашкой в чистом пару, внесением органических и минеральных удобрений и мульчированием поверхности поля соломой.

IV этап связан с разработкой одного из вариантов почвозащитных ресурсосберегающих технологий – нулевой обработки (его варианты: прямой посев, нулевая обработка). Как показали исследования, технология нулевой обработки не всегда превосходит традиционные системы земледелия по показателям урожайности, видовому составу и количеству сорной растительности, плотности почвы. Преимущества нулевой обработки проявляются в запасах продуктивной влаги, количестве агрономически ценных агрегатов, структурности почвы и экономической эффективности возделываемых культур.

2. Необходимо отметить лидирующую роль Крымского аграрного научного центра среди ведущих центров страны (Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий, Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН, Курганского научно-исследовательского института сельского хозяйства, Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Самарского научно-исследовательского института сельского хозяйства, Донского государственного аграрного университета, Курского федерального аграрного научного центра, Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра). Учеными Крыма разработана почвозащитная ресурсосберегающая технология – сочетание разноглубинных минимальных обработок с применением отвальной вспашки на паровом поле, с мульчированием соломой и внесением удобрений. Следующий этап – получение положительных результатов при апробировании нулевой обработки и более широком внедрении этой технологии в практику работы сельскохозяйственных предприятий не только степного Крыма, но и южных регионов России.

Список литературы

1. Ергина Е.И., Жук В.О., Рубцов Н.Н. Пространственно-временные закономерности проявления опасных гидрометеорологических явлений в Крыму в современных условиях // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9 (19), Вып. 3. С. 313-324.
2. Жук В.О., Ергина Е.И. Тенденция и динамика опасных и стихийных гидрометеорологических явлений в Крыму // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2016. Т. 2 (68), № 2. С. 72-85.
3. Паштецкий В.С., Женченко К.Г., Приходько А.В. Влияние неблагоприятных природных явлений на деградацию почв и агропромышленный комплекс Крыма // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 77. С. 94-106.
4. Жук В.О. Методика оценки потенциальной гидрометеорологической опасности территории Крымского полуострова: дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 2021. 188 с.
5. Женченко К.Г., Турин Е.Н., Гонгало А.А. Результаты изучения системы земледелия прямого посева (No-till) при выращивании озимой пшеницы в центральной степи Крыма // Зерновой хозяйство России. 2020. № 5 (71). С. 45-52. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-45-52.
6. Грошева О.А. Разработка научных основ устойчивого степного землепользования в работах отечественных и зарубежных исследователей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 12. С. 56-59. DOI: 10.17513/mjrfi.13330.
7. Грошева О.А. Роль отечественных научных центров в апробации и внедрении почвозащитных технологий в степной зоне // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 10-17. DOI: 10.17513/use.38164.
8. Паштецкий В.С., Радченко Л.А., Власова Л.В., Остапчук П.С., Гонгало А.А., Пташник О.П., Черкашина А.В., Приходько А.В., Костенкова Е.В., Ремесло Е.В. 100 лет служения Крымской науке. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2024. 156 с.
9. Адамень Ф.Ф., Плутагарь Ю.В., Сташкина А.Ф. Научка и опытное дело как основа развития аграрного производства Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 252 с.
10. Турин Е.Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2 (22). С. 150-168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
11. Ключкина А.А. Периодизация истории изучения защитных насаждений в Крыму на базе истории лесоводства России // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2021. Вып. 1 (17). С. 67-94.
12. Паштецкий В.С. Ландшафтно-экологическая оптимизация использования природно-ресурсного потенциала Степного Крыма: дис. ... докт. с.-х. наук. Киев, 2013. 320 с. (на укр. яз.).
13. Турин Е.Н., Женченко К.Г. Совершенствование обработки почвы в Крыму // Вестник РГАТУ. 2018. № 4 (40). С. 52-60.
14. Яровенко В.В. Зильберварг Р.Е., Крайнюк М.С. Почвозащитная обработка в предгорном Крыму // Земледелие. 1984. № 8. С. 26-28. (на укр. яз.).
15. Зинченко В.В., Женченко К.Г., Угнивенко Н.В. Земледелие Крыма – почвозащитную агротехнику // Земледелие. 1990. № 8. С. 34-36.
16. Паштецкий В.С., Радченко Л.А., Женченко К.Г. Сохранение гумуса в почвах Крыма – основной фактор повышения плодородия // Аграрный вестник Урала. № 5 (135). 2015. С. 24-27.
17. Радченко Л.А., Женченко К.Г. Производительность сортов озимой пшеницы в зависимости от плодородия почв степного Крыма // Таврический научный вестник. 2010. Вып. 66. С. 41-46. (на укр. яз.).
18. Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма / Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. 252 с.
19. Турин Е.Н., Женченко К.Г., Гонгало А.А. Выращивание сорго зернового без обработки почвы в сравнении с традиционной технологией в центральной части Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 17 (180). С. 75-85.
20. Турин Е.Н., Гонгало А.А., Тимашева Л.А., Пехова О.А., Турина Е.Л. Женченко К.Г., Сусский А.Н. Выращивание льна масличного по технологии прямого посева в сравнении с традиционной системой в центральной части степи Крыма // Плодородие. 2023. № 2. С. 24-28. DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.06.
21. Томашова О.Л., Ильиных А.В., Захарчук П.С., Сильченко К.Р., Томашова А.С. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от сочетания почвопокровных культур в полевом севообороте и No-till в предгорном степном Крыму // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2021. № 28 (191). С. 32-41.
22. Рухович О.В., Турин Е.Н., Турина Е.Л., Женченко К.Г., Гонгало А.А., Сусский А.Н. Результаты изучения системы земледелия прямого посева в центральной степи Крыма // Плодородие. 2022. № 4. С. 33-37. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.10
23. Турин Е.Н., Женченко К.Г. Результаты изучения качества зерна пшеницы озимой в центральной степи Крыма в зависимости от элементов технологии // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 26 (189). С. 14-25.
24. Женченко К.Г., Турин Е.Н., Гонгало А.А. Результаты изучения системы земледелия прямого посева (No-till) при выращивании озимой пшеницы в центральной степи Крыма // Зерновой хозяйство России. 2021. № 5 (71). С. 45-52.
25. Абдуллаев Р.А., Мевлют И.Ш. Эффективность использования инновационных технологий в зерновом комплексе Республики Крым // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2019. № 4 (66). С. 14-19.
26. Рекомендации для специалистов сельскохозяйственных организаций всех форм собственности по применению технологии No-till в условиях Республики Крым / Под ред. Н.Г. Осеннего. Симферополь, 2019. 41 с.

УДК 631.15:658.5

DOI 10.17513/use.38343

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ КОРМОВОГО СЫРЬЯ

Лоскутова В.А., Протасова Л.Г.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург,
e-mail: loskutovavalery@yandex.ru, protasova.mila@mail.ru

Цель исследования – анализ результатов входного контроля качества шрота соевого кормового, оценка рисков по биологическим, химическим и физическим опасностям, разработка процедур мониторинга по критическим контрольным точкам, обоснование важности управления процессом контроля качества и безопасности кормового сырья в соответствии с картой процесса входного контроля качества кормового сырья. Использованы следующие методы исследования – обобщение требований нормативных документов по качеству и безопасности, анализ методов испытаний кормового сырья, реализация методики оценки рисков и процессного подхода в управлении входным контролем качества. Анализ результатов испытаний сырья показал, что по зараженности, токсичности, влажности и протеину показатели соответствовали требованиям ГОСТ Р 53799-2010 на шрот соевый кормовой. Выявлены опасные факторы и проведена оценка рисков по биологическим, химическим и физическим опасностям, установлены критические контрольные точки, определены контролируемые параметры, процедуры мониторинга и контролируемые действия в рабочем листе HACCP. Разработана карта процесса входного контроля качества шрота соевого. Раскрыты возможности минимизации рисков за счет эффективного управления процессом контроля качества и безопасности кормового сырья согласно разработанной карте процесса.

Ключевые слова: управление процессом, качество и безопасность, шрот соевый кормовой, контроль, опасности, риски

MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CONTROL OF QUALITY AND SAFETY OF FEED RAW MATERIALS

Loskutova V.A., Protasova L.G.

Ural State University of Economics, Yekaterinburg,
e-mail: loskutovavalery@yandex.ru, protasova.mila@mail.ru

The objective of the study is to analyze the results of incoming quality control of feed soybean meal, assess the risks in biological, chemical and physical hazards, develop critical control points, justify the importance of managing the quality control process and safety of feed raw materials in accordance with the process map of incoming quality control of feed raw materials. The following research methods were used: generalization of requirements of regulatory documents on quality and safety, analysis of feed raw material testing methods, implementation of the risk assessment methodology and process approach to incoming quality control management. Analysis of the raw material test results showed that the indicators for contamination, toxicity, humidity and protein met the requirements of GOST R 53799-2010 for feed soybean meal. Hazardous factors were identified and risks were assessed for biological, chemical and physical hazards, critical control points were established, controlled parameters, monitoring procedures and controlled actions in the HACCP worksheet were determined. A process map of incoming quality control of soybean meal was developed. The possibilities of minimizing risks through effective management of the process of quality control and safety of feed raw materials, according to the developed process map, are revealed.

Keywords: process management, quality and safety, soybean meal feed, control, hazards, risks

Введение

Качественное и безопасное кормовое сырье необходимо для откорма животных с целью увеличения их продуктивности. Вопросам качества кормов посвящены работы авторов [1–3]. Результаты испытаний качества и безопасности готовой мясной и молочной продукции проведены в исследованиях авторов [4, 5]. Однако качество и безопасность кормового сырья [6] изучены недостаточно, поэтому тема исследования является актуальной.

Рассмотрим опасные факторы, влияющие на безопасность растительного кормового сырья.

К биологическим относятся плесневые грибы, *Salmonella* (сальмонелла), грибковые (плесень), *Escherichia coli* (кишечная палочка), которые входят в группу патогенных организмов и являются продуцентами токсичных веществ. Методы обнаружения – культивирование в средах. Зараженность насекомыми-вредителями выявляется визуальным обнаружением. В последнее время

появляется кормовое сырье, содержащее генетически модифицированные организмы (ГМО), поэтому необходим контроль ГМО спектральными методами. При концентрациях ГМО свыше установленных пределов (0,9 %) производитель должен указывать данную информацию на маркировке.

К химическим – микотоксины (Афлатоксин В1, Дезоксиниваленон, Т-2 токсин, Зеараленон, Охратоксин А, Фумонизин, Бенз(а)пирен), пестициды (Гексахлорциклогексан (альфа-, бета-гамма-изомеры), ДДТ и его метаболиты, 2,4-Д кислота, ее соли, эфиры); токсичные элементы (Свинец, мышьяк, кадмий, ртуть); радионуклиды (Цезий-137, Стронций-90). Контроль осуществляется хроматографическими, физико-химическими и спектральными методами соответственно.

Физические – это инородные включения (пыль, семена деревьев и др.). Метод выявления – визуальное обнаружение.

Цель исследования – анализ результатов входного контроля качества шрота соевого кормового, оценка рисков по биологическим, химическим и физическим опасным факторам, разработка процедур мониторинга по критическим контрольным точкам, обоснование важности управления процессом контроля качества и безопасности кормового сырья в соответствии с картой процесса входного контроля качества кормового сырья.

Материалы и методы исследования

Использованы методы исследования: анализ, обобщение, методология оценки рисков, стандартизированные методы контроля качества кормового сырья и процессный подход к управлению процессом входного контроля качества и безопасности шрота соевого кормового.

Результаты исследования и их обсуждение

Входной контроль растительного кормового сырья является одним из требований по безопасности производства кормов. Входной контроль – это процесс проверки и оценки кормового сырья на соответствие требованиям нормативных документов по токсичности [7], по содержанию протеина [8] и по влажности [9]. Осуществляется входной контроль в соответствии с требованиями [10], а определение показателя зараженности кормового сырья по [11].

Одной из основных задач входного контроля является обеспечение безопасности

и предотвращение контаминации кормового сырья и ингредиентов вредными веществами, такими как токсины, бактерии, аллергены и другие опасные вещества. Контаминация может произойти на этапах производства, транспортировки и хранения сырья. Контаминанты поступают в сырье из окружающей среды.

В перечень нормируемых показателей безопасности продукции растениеводства включены: микотоксины, токсичные элементы, пестициды, радионуклиды, нитраты [12, с. 47].

Для минимизации рисков поступления некачественного и небезопасного кормового сырья в производство кормов необходимо управлять процессом входного контроля качества и безопасности сырья, поскольку технология проведения контроля может несколько отличаться на разных предприятиях.

При поступлении растительного кормового сырья на предприятие осуществляется осмотр транспортного средства – местонахождение сырья должно быть чистым, сухим, продезинфицированным. Транспортировка сырья должна соответствовать правилам перевозки грузов. Осуществляется проверка на соответствие партии сырья товарно-сопроводительным документам, по наименованию сырья, номеру партии, массе нетто, дате изготовления, наименованию предприятия-изготовителя и его товарному знаку, по срокам годности сырья. Далее проводится оценка целостности тары и упаковки, которая должна соответствовать требованиям нормативных документов на данное сырье. Упаковка вскрывается, и осуществляют контроль внешнего вида сырья на отсутствие дефектов – засоренности и запаха. Запах должен быть свойственным конкретному растительному сырью без посторонних затхлого, плесневого, гнилого запахов.

В табл. 1 приведены результаты входного контроля сырья шрота соевого на предприятии ОАО «Свердловский комбинат хлебопродуктов», специализирующего на производстве комбикормов для птицы и белково-витаминно-минеральных концентратов.

Шрот соевый – это твердый продукт в виде порошка, поступает на предприятие от поставщика с карантинным (КС) и фитосанитарным (ФС) сертификатами. Сертификаты заведены в программе «Аргус фито».

Входной контроль качества и безопасности проводился с целью подтверждения соответствия показателей шрота соевого

требованиям ГОСТ Р 53799-2010 «Шрот соевый кормовой тостированный. Технические условия». Отбор проб для входного контроля шрота соевого осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ [13] в зависимости от размера партии. В ходе входного контроля использовались стандартизированные методы исследования на пяти образцах для каждого: метод определения токсичности на стилониках [7], титриметрический метод определения азота по Кьельдалю с перерасчетом на сырой протеин [8], экспресс-метод определения влажности [9] и по зараженности метод просеивания на сите с размером ячейки 2 мм [11]. При доверительной вероятности $P = 0,95$ расхождения между результатами двух параллельных испытаний по токсичности и по азоту не превышали предела повторяемости 1 %, а по влажности – 0,2 %.

Среднеарифметические результаты входного контроля качества шрота соевого одного поставщика, полученные в феврале – апреле 2024 г., приведены в табл. 1.

По результатам контроля установлено, что шрот соевый соответствует по качеству требованиям ГОСТ Р 53799-2010 и может использоваться в производстве комбикорма для птицы на данном предприятии. На предприятии используют кормовое сырье без ГМО.

Потенциальными несоответствиями растительного сырья шрота соевого могут быть засоренность, посторонний запах, а также несоответствие показателей по токсичности, влажности, зараженности и содержанию протеина требованиям ГОСТ Р 53799-2010. Для предупреждения несоответствий проведем анализ рисков по трем видам опасностей: биологической, химической и физической. Результаты оценки рисков приведены в табл. 2.

По методике определения вероятности наступления риска и влияния последствий выявили уровень риска для шрота соевого 4 – это умеренные риски.

В соответствии с требованиями безопасности ХАССП [14] был разработан рабочий лист ХАССП (табл. 3).

Таблица 1

Результаты входного контроля качества шрота соевого

№	Показатель	Измеряемое значение показателя	Требования по ГОСТ Р 53799-2010	Результаты входного контроля
1	Токсичность	Выживаемость	Не менее 70, %	100, %
2	Влажность	Влажность	Не более 12, %	12, %
3	Протеин	Содержание сырого протеина	Не менее 48, %	50, %
4	Зараженность	Количество вредителей	0, экз.	0, экз.

Таблица 2

Анализ рисков растительного кормового сырья шрота соевого

Вид опасности	Вероятность наступлений, В	Влияние последствий, S	Уровень риска, $R = B \cdot S$	Предупредительные меры
Биологические: Плесневые грибы, <i>Salmonella</i> , Грибковые (плесень), <i>Escherichia coli</i> (кишечная палочка)	2	2	4	Контроль товарно-сопроводительной документации. Достаточное количество ресурсов для контроля безопасности. Соблюдение технологии входного контроля качества и безопасности сырья
Химические: Токсичные элементы, Радионуклиды, Микотоксины	2	2	4	Те же
Физические: Посторонние включения	2	2	4	Те же

Таблица 3

Рабочий лист ХАССП шрота соевого

Опасный фактор	ККТ	Контролируемый параметр	Процедура мониторинга	Контролирующие действия
Биологический (плесень, патогенная микрофлора, вредители)	№ 1	Внешний вид, запах	Сырье каждой партии	Контроль внешнего вида, запаха
	№ 2	Зараженность вредителями	Сырье каждой партии	Контроль вредителей просеиванием средней пробы на ситах по ГОСТу 13496.13-2018
Химический	№ 3	Токсичность	Сырье каждой партии	Контроль токсичности по ГОСТ 31674-2012
Физический	№ 4	Внешний вид, засоренность	Сырье каждой партии	Контроль внешнего вида, засоренности

Таблица 4

Карта процесса входного контроля шрота соевого

Руководитель процесса: Начальник производственно-технической лаборатории (ПТЛ)			
Исполнитель: техник-лаборант ПТЛ			
Назначение процесса: подтверждение соответствия показателей качества и безопасности шрота соевого требованиям ГОСТ Р 53799-2010			
Результат (выход) процесса	Потребитель результатов процесса	Требования потребителей к результатам (выходам) процесса	
Результаты входного контроля шрота соевого, записанные в журнал поступающего сырья	Производственно-техническая лаборатория, Начальник ПТЛ	Сырье соответствует требованиям ГОСТ и товарно-сопроводительным документам	
Вход процесса	Поставщик процесса	Требования к входам	
Проба шрота соевого	Техник-лаборант	Порядок отбора и размер пробы по требованиям ГОСТ 13496.0-2016	
Виды деятельности в рамках процесса	Регламентирующая документация	Используемые записи и данные	Требуемые ресурсы (исполнители)
Проверка товарно-сопроводительных документов на сырье	Программа производственного контроля от 01.03.23.	Журнал поступающего сырья	Техник-лаборант
Определение целостности упаковки, внешнего вида и запаха сырья	Программа производственного контроля от 01.03.23.	Журнал поступающего сырья	Техник-лаборант
Отбор средней пробы сырья	ГОСТ 13496.0-2016	Журнал поступающего сырья	Техник-лаборант, щуп для отбора проб
Определение влажности, протеина, зараженности, токсичности	ГОСТ Р 57059-2016, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 13496.13-2018, ГОСТ 31674-2012	Журнал поступающего сырья, журнал влажности	Оборудование, реактивы, методика испытаний, лаборант

Для трех опасных факторов: физического, биологического и химического – определили четыре критические контрольные точки (ККТ) и соответствующие им процедуры мониторинга, контролируемые параметры, действия и журнал поступающего сырья для регистрации результатов мониторинга.

Контролирующие действия – это входной контроль безопасности кормового сырья. Воспользовались процессным подходом и разработали карту процесса входного контроля качества и безопасности шрота соевого кормового (табл. 4).

К преимуществам процессного подхода можно отнести оптимизированное функционирование за счет результативного управления процессом и управление рисками, которые могут повлиять на результат процесса [15]. А также определить для осуществления процесса входного контроля необходимые ресурсы: персонал, материалы, оборудование, информацию, причем ресурсов должно быть достаточно как по количеству, так и по качеству.

На карте процесса входного контроля шрота соевого кратко описаны входы и вы-

ходы процесса, поставщики входа и потребители выхода, виды деятельности в ходе процесса, ресурсы и регламентирующая документация для управления процессом.

Проведена апробация карты входного контроля на примере шрота соевого, позволяющая обеспечить качественное выполнение процесса контроля качества и безопасности шрота соевого, используемого для производства комбикормов на предприятии и минимизировать описанные выше риски.

Заключение

По результатам обобщения литературных данных и анализу требований нормативных документов обоснована необходимость управления процессом входного контроля качества кормового сырья для обеспечения его безопасности, оказывающего влияние на здоровье животных, их продуктивность, а также на качество готовой мясной и молочной продукции. Полученные экспериментальные данные входного контроля сырья по зараженности, токсичности, влажности и протеину соответствовали требованиям технических условий на шрот соевый кормовой.

Анализ рисков шрота соевого по трем видам опасности показал уровень риска 4 – это умеренные риски. Разработан рабочий лист ХАССП с выделением четырех критических контрольных точек по трем опасным факторам. Раскрыты возможности минимизации рисков за счет эффективного управления процессом контроля качества и безопасности кормового сырья, согласно разработанной карте процесса.

Список литературы

1. Дрозд М.Н., Усевич В.М. Сравнительная оценка эффективности кормовых добавок на основе торфосапропелового концентрата при выращивании бройлеров // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 07 (236). С. 83–92.
2. Облогина Е.Ю., Забашта Н.Н., Головкин Е.Н., Синельщикова И.А., Лисовицкая Е.П. Результаты применения кормовой добавки пробиотического действия для повышения продуктивности дойных коров // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 01. С. 98–107.
3. Михайлова Л.Р., Лаврентьев А.Ю., Шерне В.С. Специальные комбикорма и иммуностимулятор при выращивании поросят-сосунов // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 3 (55). С. 206–210.
4. Лосякова Е.В., Костомахин Н.М. Качество мяса цыплят-бройлеров, получающих кормовые добавки на основе сапропеля // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2019. № 4. С. 3–10.
5. Забашта Н.Н., Головкин Е.Н., Лисовицкая Е.П., Сарбатова Н.Ю., Безверхая Н.С., Огнева О.А. Афлатоксин АФМ1: Безопасность и качество молока // *Ветеринария Кубани*. 2020. № 1. С. 11–14.
6. Александров С.Н., Косова Т.И. Комбикормовое производство для животноводства и птицеводства: Сырьевая база комбикормового производства; Минеральные корма; Технологические процессы производства комбикормов. М.: Огни, 2020. 192 с.
7. ГОСТ 31674-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности. М.: Стандартинформ, 2013. 7 с.
8. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.
9. ГОСТ Р 57059-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Экспресс-метод определения влаги. М.: Стандартинформ, 2016. 4 с.
10. ГОСТ 24297-2013. Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
11. ГОСТ 13496.13-2018. Комбикорма. Методы определения запаха, зараженности вредителями хлебных запасов. М.: Стандартинформ, 2018. 4 с.
12. Белкина Р.И., Губанова В.М. Стандартизация, подтверждение соответствия и управление качеством продукции растениеводства. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2020. 193 с.
13. ГОСТ 13496.0-2016. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
14. ГОСТ Р 56671-2015. Рекомендации по разработке и внедрению процедур, основанных на принципах ХАССП. М.: Стандартинформ, 2015. 17 с.
15. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2015. 47 с.

СТАТЬИ

УДК 911.52

DOI 10.17513/use.38344

ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «РЕЛИКТОВЫЕ ЛЕСА ВОКРУГ ЮЛОВСКОГО ПРУДА» (УЛЬЯНОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

^{1,2}Асташин А.Е., ¹Бадьин М.М., ¹Ватина О.Е., ¹Подковырина В.М., ¹Ниточкина В.С.

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»,
Нижегород, e-mail: vatinaol@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»,
Княгинино, e-mail: astashinfzgeo@yandex.ru

Эффективная организация землепользования возможна только на основе геосистемного подхода, однако для его применения необходима надежная основа – ландшафтная карта. Схемы ландшафтного районирования для территории России и крупных регионов разработаны, однако для принятия управленческих решений на местах требуются ландшафтные карты, выполненные на иерархическом уровне видов ландшафтов и даже урочищ. Для территории памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда» (Ульяновская область) такой схемы нет, это обстоятельство определило цель исследования – разработать схему ландшафтного районирования территории данного памятника природы. Работа выполнена на основе собственных полевых работ, анализа тематических карт, научной литературы и данных дистанционного зондирования Земли. Пространственные данные обработаны с помощью геоинформационных систем. Изучаемая территория лежит в зоне лесостепи в пределах Приволжской возвышенности и, благодаря положению в нескольких геотопах трех видов ландшафтов, памятник природы характеризуется высоким биологическим разнообразием, что определяет его высокое природоохранное и рекреационное значение. Ввиду сравнительно небольшой площади изучаемой территории ландшафтная дифференциация выполнена на уровне видов ландшафтов и урочищ. В ходе исследования был выделен ряд ландшафтов, для каждого из которых установлен перечень характерных урочищ. Полевые работы на территории памятника природы позволили установить основные угрозы сохранения структуры и функций ландшафтов данной территории, главной из которых является рекреационное воздействие, выражающееся в вытаптывании, прокладке стихийной сети дорог и тропинок, организации костровых биваков. Перечисленные действия приводят к переуплотнению и разрушению почвенного покрова и изменению флористического состава ландшафтов. Однако в целом ввиду наличия природоохранного статуса территории и сравнительно щадящего характера рекреационного воздействия по сравнению с другими типами хозяйственного использования территорий, состояние ландшафтов памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда» можно считать стабильным.

Ключевые слова: реликтовые леса, Юловский пруд, лесостепь, ландшафт, Приволжская возвышенность, Ульяновская область

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Экокомпас: студенческая наука» (соглашение от 30.05.2024 г. № 075-15-2024-594). Мероприятие проводится в рамках реализации гранта в форме субсидий из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ.

LANDSCAPE STRUCTURE OF THE TERRITORY OF THE NATURE MONUMENT “RELICT FORESTS AROUND THE YULOVSKY POND” (ULYANOVSK REGION)

^{1,2}Astashin A.E., ¹Badin M.M., ¹Vatina O.E., ¹Podkovyrina V.M., ¹Nitochkina V.S.

¹Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: vatinaol@yandex.ru;

²Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, Knyaginino,
e-mail: astashinfzgeo@yandex.ru

Effective organization of land use is possible only on the basis of a geosystem approach; however, a reliable basis is needed for its application – a landscape map. Landscape zoning schemes for the territory of Russia and large regions have been developed, however, landscape maps made at the hierarchical level of landscape types and even tracts are required for making management decisions on the ground. For the territory of the nature monument “Relict forests around the Yulovsky Pond” (Ulyanovsk region) there is no such scheme, this circumstance determined the purpose of the research – to develop a scheme for landscape zoning of the territory of this natural monument. The work was carried out on the basis of our own field research, analysis of thematic maps, scientific literature and Earth remote sensing data. Spatial data is processed using geoinformation systems. The researched territory lies in the forest-steppe zone within the Privolzhskaya upland and, due to the position in several geotopes of three types of landscapes, the natural monument is characterized by high biological diversity, which determines its high environmental and recreational importance. Due to the relatively small area of the territory researched, landscape differentiation is performed at the level of types of landscapes and tracts. During the research, a number of territories were identified, for each of which a list of characteristic tracts was established. Field researches on the territory of the natural monument made it possible to identify the main threats to the preservation of the structure and functions of the landscapes of this territory, the main of which is the recreational impact, expressed in trampling, laying a

spontaneous network of roads and paths, and organizing campfire bivouacs. These actions lead to over-compaction and destruction of the soil cover and a change in the floral composition of landscapes. However, in general, due to the nature conservation status of the territory and the relatively gentle nature of the recreational impact compared to other types of economic use of the territories, the state of the landscapes of the natural monument "Relict forests around the Yulovsky Pond" can be considered stable.

Keywords: relict forests, Yulovsky pond, forest-steppe, landscape, Privolzhskaya upland, Ulyanovsk region

The article was prepared as part of the implementation of the Ecocompass: Student Science project (agreement dated 30.05.2024 No. 075-15-2024-594). The event is held as part of the implementation of a grant in the form of subsidies from the federal budget to higher education institutions for the implementation of activities aimed at supporting student scientific communities.

Введение

Ландшафтный подход в территориальной организации землепользования имеет серьезное научное обоснование, однако практическое применение на местах ограничено отсутствием подробных ландшафтных карт, которые создаются, как правило, под конкретные хозяйственные или природоохранные проекты на сравнительно небольших территориях [1]. Так, для территории Ульяновской области схемы ландшафтного районирования выполнены лишь для нескольких крупных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [2]. Удачным обстоятельством можно считать расположение этих ООПТ в разных природных зонах региона, что обеспечивает неплохую репрезентативность ландшафтной структуры, отраженную на ландшафтных картах [3]. Также положительным обстоятельством следует считать охват большей части типичных геотопов региона – от водоразделов до пойм рек, что обеспечило сохранение участков типичных природно-территориальных комплексов Ульяновской области [4].

Территория памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда» не имеет карты ландшафтной дифференциации территории, хотя для решения природоохранных задач на территории ООПТ подобные карты совершенно необходимы [5]. В ряде работ последних лет оценена и убедительно доказана эффективность территориальной охраны редких видов живых организмов [6]. В мировой практике ландшафтная структура территорий, включенных в хозяйственное использование, подлежит тщательному изучению, в том числе и ООПТ в условиях интенсивного рекреационного использования [7]. Ландшафтоведами выполняются комплексные исследования, направленные на установление структуры и свойств геосистем и их реакции на внешнее воздействие [8]. В России и на Западе сложились неодинаковые принципы восприятия ландшафта: если

отечественное ландшафтоведение изучает ландшафт как среду жизни, то в западной традиции прослеживается своеобразный «капиталистический» подход, в рамках которого ландшафт рассматривается как поставщик ландшафтных услуг, но и в работах западных ученых все чаще просматривается идея перехода от «бизнес-модели» человек – ландшафт к идее устойчивого развития [9].

Будучи сложной, многокомпонентной системой, ландшафт включает в себя комплекс разнородных, но имеющих внутрисистемные связи компонентов: от геологической основы до хозяйственных объектов. Изучению почвенного покрова как компонента ландшафта посвящен широкий спектр работ почвоведов [10], в которых почва рассматривается как системный элемент ландшафта, определяющий его свойства и испытывающий на себе влияние других элементов геосистемы. Еще чаще среди работ отраслевых специалистов, изучающих структурно-функциональные компоненты ландшафтов, встречаются исследования ботаников [11]. В тесной связи с ландшафтными условиями существует животный мир, что нашло отражение в многочисленных исследованиях зоологов [12]. Будучи самым динамичным компонентом естественного ландшафта, животные наиболее быстро реагируют на изменения в структуре и функционировании ландшафта и его отдельных компонентов, что делает фаунистический комплекс едва ли не самым удобным для наблюдения в динамике компонентом ландшафта [13]. Огромный интерес исследователей вызывает взаимодействие и взаимное влияние структуры и свойств ландшафта, а также характер и пространственная организация землепользования, обусловленные спецификой ландшафтной основы [14].

Цель исследования – разработка схемы ландшафтного районирования территории памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда».

Материалы и методы исследования

В основу исследования положены фондовые материалы – специальная литература, тематические карты, данные дистанционного зондирования Земли. Полевые исследования памятника природы проведены авторами в 2021 г.

Методы исследования: картографический, геоинформационный, анализ литературы и фондовых материалов, статистический, дистанционных исследований, экспедиционный, описательный, комплексного физико-географического анализа, сравнительно-географический, географического районирования. Пространственный анализ данных выполнен с помощью геоинформационной системы QuantumGIS.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с картой физико-географического районирования Русской равнины А.Г. Исаченко [15, с. 298] исследуемая территория располагается в пределах Приволжской ландшафтной области в зоне лесостепи, подзоне северной лесостепи.

Литогенная основа территории памятника природы, ввиду ее незначительных размеров, однообразна. Дочетвертичные образования представлены отложениями нижнего отдела палеогеновой системы (опоки, пески, песчаники, алевроиты, диатомиты, трепела) [16], присутствие растворимых пород создало предпосылки для развития карста.

Толща четвертичных пород представлена элювиально-делювиальными нерасчлененными отложениями неоплейстоцена (пески, суглинки), на пойме р. Юловка – аллювиальными песками и суглинками голоценового возраста, в оврагах и балках – пролювий голоценового возраста (глины и суглинки) [17].

Геологические процессы представлены линейной эрозией (оврагообразование), карстом, делювиальным смывом, локально имеет место заболачивание.

Ввиду положения памятника природы главным образом на склонах долины реки Юловка, рельеф характеризуется существенными колебаниями высот, достигающими 74 м (от 186 м на урезе воды в р. Юловка на западе ООПТ до 260 м на плакорах на северной и южной границах памятника природы) [18], что создало предпосылки для развития эрозионных процессов.

В пределах памятника природы представлены разнообразные формы рельефа: плакор, придолинный склон, коренной склон долины реки (осложненный балками, бороздами, рывтинами, оврагами, карстовыми воронками), пойма малой реки, где также изредка встречаются карстовые воронки.

В зоне обследования протекает р. Юловка, в русле и пойме которой создан пруд Юловский. Поскольку пруд является крупнейшим водным объектом в пределах памятника природы, выполняющим основную водорегулирующую и водозапасающую функцию, а также, будучи местным базисом эрозии и центром хозяйственного (рекреационного) использования, он был отдельно обследован, проведена его батиметрическая съемка, создана цифровая модель котловины и рассчитаны основные гидрологические и морфометрические показатели (таблица, рис. 1).

Помимо пруда на территории памятника природы есть два карстовых озера, одно из которых имеет гидрологическую связь с р. Юловка; на пойме, а также в карстовых воронках встречаются мелкоконтурные низинные болота.

На изучаемой территории на плакорах широко представлены слабосмытые серые лесные почвы суглинистого механического состава, а на песчаных склонах долины р. Юловка – сильносмытые дерново-подзолистые почвы. Почвы овражно-балочного комплекса приурочены к оврагам и балкам, на пойме р. Юловка представлены аллювиально-дерновые почвы разного механического состава. На заболоченных участках – на пойме и в карстовых воронках – мелкоконтурные ареалы торфяно-болотных почв.

Основные гидрологические и морфологические характеристики Юловского пруда

Параметр	Площадь зеркала, м ²	Объем воды, м ³	Длина береговой линии, м	Длина озера, м	Ширина озера, м	Макс. глубина, м	Средняя глубина, м	Средняя ширина, м	Развитие береговой линии	Уровень уреза воды, м
Значение	654 360	1 494 993	5 712	2 416	391	6,13	2,3	270,8	1,9	190

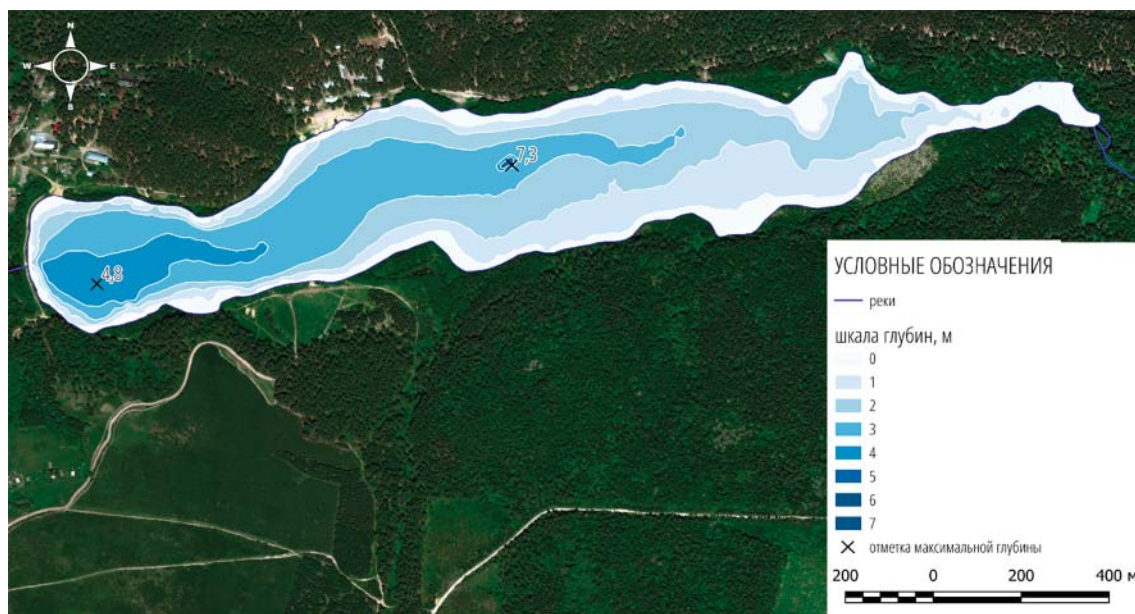


Рис. 1. Батиметрическая карта котловины Юловского пруда

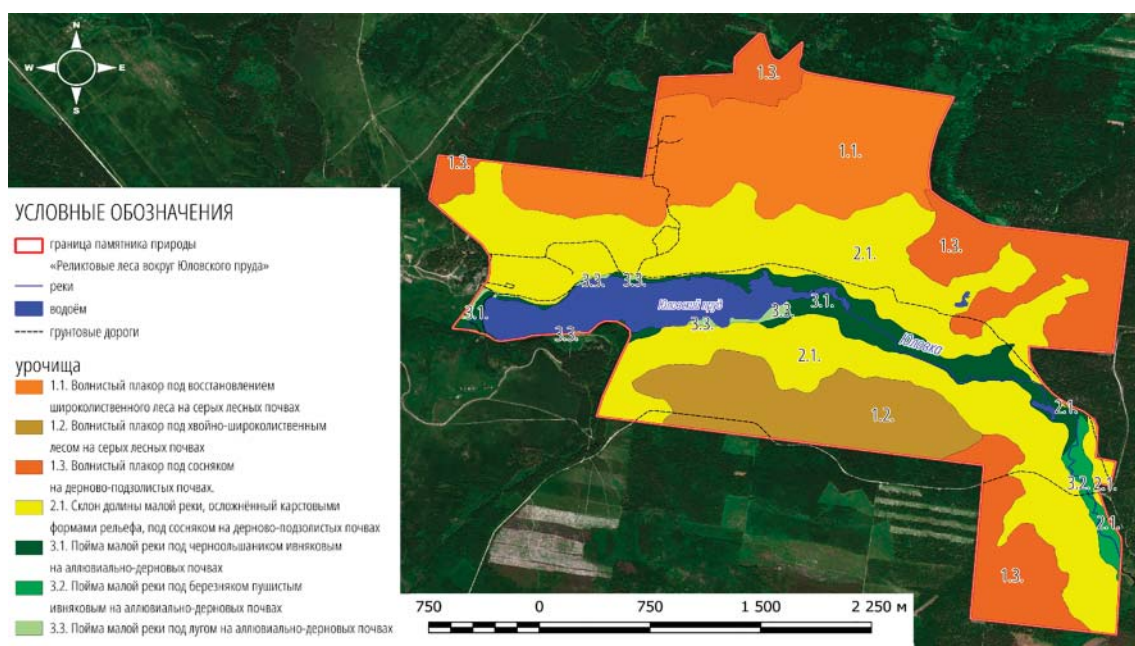


Рис. 2. Виды ландшафтов и урочищ территории памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда»

Территория памятника природы практически полностью покрыта лесом, исключение составляют лишь небольшие участки крупноосоковых лугов на пойме, залежи и луга на плакорах и луговые сообщества устойчивых к вытаптыванию злаков в пределах турбазы. В древостоях доминируют сосняки, образующие те самые реликтовые леса, которые дали название памятнику природы. На плакорах распространены сосняки с примесью

березы повислой, липы мелколистной, клена остролистного, реже – дуба черешчатого. На пойме р. Юловка – черноольшаники.

На основе результатов проведенных камеральных и полевых исследований на территории памятника природы была установлена структура его природно-территориальных комплексов на уровне видов ландшафтов и урочищ. Было выделено три вида ландшафтов (рис. 2).

1. Лесоландшафт волнистых плакоров под смешанными хвойно-широколиственными лесами на серых лесных почвах представлен в северной и южной частях исследуемой территории. Литогенная основа ландшафта – опоки, пески, песчаники, алевриты, диатомиты, трепела палеогеновой системы, что обусловило проявление карстового процесса в пределах данного ландшафта. Они перекрыты толщей элювиально-делювиальных суглинков, супесей и песков неоплейстоцена. Рельеф ландшафта волнистый, осложнен лощинами и немногочисленными и слабовыраженными карстовыми воронками. Объектов гидрографической сети нет. Почвенный покров – серые лесные почвы суглинистого механического состава. Растительный покров в XX в. подвергся сильным рубкам, в настоящее время происходит восстановление липняков и дубняков в сообществах березняков и осинников (вторичных мелколиственных лесов).

Здесь выделены следующие урочища под условными обозначениями:

1.1. Волнистый плакор под восстановлением широколиственного леса на серых лесных почвах;

1.2. Волнистый плакор под хвойно-широколиственным лесом на серых лесных почвах;

1.3. Волнистый плакор под сосняком на дерново-подзолистых почвах.

Далее номером 2 представлен лесоландшафт склонов под сосняками на дерново-подзолистых почвах, он занимает центральную часть памятника природы. Литогенная основа ландшафта представлена растворимыми породами (опоки, пески, песчаники, алевриты, диатомиты, трепела) палеогеновой системы, но, ввиду меньшей мощности перекрывающей их толщи некарстующихся пород четвертичного возраста, представленный здесь песками, карстовый процесс здесь развит активнее, чем на плакоре, рельеф ландшафта осложнен многочисленными и отчетливо выраженными карстовыми воронками, карстовыми логами, в крупнейшем из которых образовалось озеро, а в мелких – мелкоконтурные низинные и переходные болота. Наряду с карстовыми формами в пределах данного ландшафта распространены лощины.

Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми песчаными почвами. Коренной древесный покров в XX в. местами был вырублен. На местах таких рубок представлены культуры сосны. Сохранились выскокоствольные условно коренные сосняки

и смешанные хвойно-широколиственные леса. Именно в этом ландшафте обнаружены популяции плауна годичного – вида растений, занесенного в Красную книгу Ульяновской области [19, с. 16].

Урочища данного ландшафта в пределах памятника природы представлены единственным видом с условным обозначением:

2.1. Склон долины малой реки, осложненный карстовыми формами рельефа, под сосняком на дерново-подзолистых почвах.

Под номером 3 представлен лесоландшафт поймы малой реки под черноольшаниками на аллювиально-дерновых почвах, занимает центральную часть памятника природы. Литогенная основа данного ландшафта также представлена опоками, песками, песчаниками, алевритами, диатомитами, трепелами палеогеновой системы, развит карст. В частности, на дне пруда в верхней (восточной) его части отчетливо просматривается затопленная карстовая воронка. Дочетвертичные образования перекрыты толщей аллювиальных песков и суглинков, местами – торфа. Рельеф ландшафта осложнен руслом р. Юловка и карстовыми формами рельефа, которые, ввиду своего положения в геоморфологически динамичных условиях поймы, быстро деградируют. В одном из карстовых логов на пойме образовалось озеро, имеющее гидрологическую связь с р. Юловка.

Объекты гидрографической сети представлены р. Юловка и прудом, созданным на ее пойме. Кроме того, в данном ландшафте местами имеют место низинные болота и одно озеро.

В почвенном покрове представлены аллювиально-дерновые, локально-торфяно-болотные почвы. Отмечены сообщества ольхи черной и березы пушистой с ивняками, дисперсно распространены крупноосочниковые луга.

Здесь выделены три вида урочищ:

3.1. Пойма малой реки под черноольшаником ивняковым на аллювиально-дерновых почвах;

3.2. Пойма малой реки под березняком пушистым ивняковым на аллювиально-дерновых почвах;

3.3. Пойма малой реки под лугом крупноосочниковым на аллювиально-дерновых почвах.

В западной части ООПТ имеет место застройка рекреационного назначения. На периферии ООПТ – боровые пустыри (засаженные саженцами сосны) и луга, зарастающие сосной-самосевкой. Урочищ,

не испытывающих антропогенного воздействия, в пределах ООПТ нет. Однако антропогенное воздействие в большинстве случаев носит локальный характер и представлено стихийно развивающейся дорожно-тропиночной сетью и костровыми биваками, на территории памятника природы расположен детский оздоровительный лагерь. Под влиянием рекреационного воздействия происходит переуплотнение и разрушение почвенного покрова (локально), нарушение целостности растительного покрова и изменение его видовой структуры: на смену лесным видам растений приходят луговые и рудеральные виды. Наиболее значительные антропогенные нагрузки главным образом в прибрежной зоне Юловского пруда (который сам уже является следствием существенного антропогенного воздействия). Однако ареалы, характеризующиеся сильной степенью антропогенного (рекреационного) воздействия, невелики по площади и сосредоточены на периферии памятника природы, что позволяет оценить уровень антропогенной нарушенности всей ООПТ как слабый.

В периферийных частях памятника природы имеет место отторжение части естественных урочищ рекреационной застройки и вырубками. По берегам пруда – пляжи.

Заключение

Факторы, определяющие природоохранную значимость памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда»:

1. Флора и растительность ООПТ «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда» отличается высоким ландшафтным, биологическим и фитоценотическим разнообразием.

2. Основные экосистемы памятника природы являются резерватами для типичных бореальных редких и охраняемых видов, что повышает их охранный статус и подтверждает актуальность и своевременность организации на данной территории памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда».

3. Леса, растущие по берегам реки Юловки и Юловского пруда, выполняют водоохранную, противоэрозионную и гидрологическую функцию, поддерживая стабильность уровня грунтовых вод и выравнивая годовой сток реки.

4. Территория памятника природы используется в целях организации отдыха населения – как в формате организованной стационарной рекреации, так и в формате самодеятельного туризма.

Территория памятника природы «Реликтовые леса вокруг Юловского пруда» имеет сложную ландшафтную структуру, включает семь видов урочищ в составе трех видов ландшафтов. Это определяет высокую ландшафтную репрезентативность данной ООПТ и обуславливает высокое экосистемное разнообразие.

Располагаясь в староосвоенном регионе, памятник природы способствует сохранению островков естественных ландшафтов в окружении пашен и густой сети населенных пунктов. Природный комплекс памятника природы испытывает рекреационное воздействие, но в целом характеризуется стабильностью, хотя ландшафты, имеющие высокие показатели рекреационной привлекательности (побережье Юловского пруда), имеют проявления антропогенной нарушенности: там расположено учреждение стационарной рекреации, выражена стихийная рекреация, имеет место выборочная рубка леса. В целом памятник природы сохраняет свое средообразующее, природоохранное и рекреационное значение.

Список литературы

1. Astashin A.E., Badin M.M., Krivdina I.Yu., Vatina O.E., Pashkin O.N. Landscape structure of the territory of the State nature sanctuary of regional significance Sursky Peaks (Ulyanovsk region, Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045, Is. 1. P. 012001. DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012001.
2. Astashin A.E., Maslennikov A.V., Bazarov A.A., Badin M.M. and Vatina O.E. Landscape differentiation and geocological assessment of the territory of the state nature sanctuary of regional significance “Vyazovskie balki” (Ulyanovsk region, Russia) // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2762. P. 020023. DOI: 10.1063/5.0128380.
3. Astashin A.E., Kamerilova G.S., Bazarov A.A., Podkovyrina V.M. and Vatina O.E. Landscape structure of the territory of the state hunting sanctuary “Novocheremshansky” (Ulyanovsk region, Russia) as the basis of functional zoning of the territory // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 431(2). P. 01022 DOI: 10.1051/e3sconf/202343101022.
4. Astashin A.E., Bazarov A.A., Badin M.M., Vinokurova N.F., Vatina O.E. Landscape structure of the territory of the sanctuary Bakhteevskie Uvaly (The Volga Upland, Russia) // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 411. P. 02058.
5. Bakka S.V., Kiseleva N.Y. Scientific and methodological approaches to the study and evaluation of the impacts of habitat fragmentation with elements of human infrastructure on biological diversity // Ecology, Environment and Conservation Paper. 2017. Vol. 23, Is.4. P. 2236–2239.
6. Bakka S.V., Kiseleva N.Y., Mizgireva M.S., Vandyshva T.D., Arefieva S.V. Territorial Protection Maintenance of the Wildlife Species Listed in the Red Data Book of the Nizhny Novgorod Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 543 (1). P. 012013.
7. Astashin A.E., Fomicheva A.A., Ufilina V.A., Osipov M.R., Ilichova E.V. Assessment of the density of the road and path network in the landscapes of the projected Nizhny Novgorod Zavolzhye National Park as a comprehensive indicator of anthropogenic pressure (Nizhny Novgorod Region, Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979 (1). P. 012186.

8. Jaeger Jochen A.G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // *Landscape ecology*. 2000. Vol. 15, Is. 2. P. 115–130.
9. Termorshuizen J.W., Opdam P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development // *Landscape ecology*. 2009. Vol. 24, Is. 8. P. 1037–1052.
10. Stovall Megan, Faist Akasha, Schallner Jeremy, Ganguli Amy, Yu Qiuyan, Pietrasiak, Nicole. Can biological soil crusts be prominent landscape components in rangelands? A case study from New Mexico, USA // *Geoderma*. 2022. Vol. 410. P. 115658. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115658.
11. Heyer I., Wulf M. Plant Species Diversity and Composition Differ Significantly Between the Boundaries of Kettle Holes and Field Borders // *Ecology and Evolution*. 2024. Vol. 14. DOI: 10.1002/ece3.70515.
12. Makeev I.S., Sidorenko M.V., Yunina V.P., Kiseleva N.Y., Bakka S.V. Species diversity assessment of shore vegetation as a basis for environmental indication and tuning for environmental management (focused on wood park ponds cascade in a metropolis) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1010 (1). P. 012148.
13. Bakka S.V., Kiseleva N.Y., Shukov P.M. Installing of Artificial Nests as a Method of the Large Birds of Prey Population Management in the Center of European Russia: Successes, Problems, Prospects // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 543 (1). P. 012015.
14. Исаченко Т.Е., Исаченко Г.А., Озерова С.Д. Динамика пространственной организации рекреации в зоне влияния Санкт-Петербурга во втором десятилетии XXI века // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*. 2021. № 4. С. 759–780.
15. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 365 с.
16. Геологическая карта дочетвертичных образований. Лист N-(38), 39 (Самара) масштаба 1:1000 000 / Сост. Е.И. Уланов. Гл. ред. В.П. Кириков. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, федеральное агентство по недропользованию, Симбирская ГРЭ ГПП «Волгагеология», 2000.
17. Геологическая карта четвертичных образований. Лист N-(38), 39 (Самара) масштаба 1:1000 000 / сост. С.А. Марамчин. Гл. редактор В.П. Кириков. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, федеральное агентство по недропользованию, Симбирская ГРЭ ГПП «Волгагеология», 2000.
18. Топографическая карта. Лист N-38-082-А-а масштаба 1:25 000 [Электронный ресурс]. URL: <https://nakarte.me/#m=14/53.97098/46.52307&l=O/K> (дата обращения: 26.11.2024).
19. Красная книга Ульяновской области / Под науч. ред. Е.А. Артемьевой, А.В. Масленникова, М.В. Корепова. М.: Буки Веди, 2015. 550 с.

УДК 504.06:632.15
DOI 10.17513/use.38345

АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ КАК ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ РАЗНЫХ РЕГИОНОВ МИРА)

Баш П.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»,
Санкт-Петербург, e-mail: polli-ant@mail.ru*

Целями работы являются систематический анализ содержания органических эфиров фосфорной кислоты как загрязняющих веществ в разных регионах мира и средах, установление ключевых закономерностей в их накоплении и распространении. В статье проведены анализ и структурирование результатов современных научных исследований по токсическим эффектам органических фосфатов и опасности их повсеместного определения, дана оценка распространения их в окружающей среде на основании уровней содержания экотоксиканта в природных средах и живых организмах. Проведенная аналитика научных исследований нового загрязнителя необходима для представления существующей угрозы, связанной с ним, и важна для обоснования необходимости российских исследований в данной области. Хотя органические фосфаты считались относительно безвредными, в приведенных результатах исследований выявлены негативные воздействия на живые организмы, потенциальная способность к биоаккумуляции, представляющие угрозу для человека и здоровья экосистемы. Настоящий обзор формулирует проблему, требующую внимания исследователей в современной повестке глобального потребления. Статья подчеркивает необходимость изучения новой группы экотоксикантов в отечественных работах и освещает существующую проблематику их персистентности и повсеместного распределения в природных объектах.

Ключевые слова: фосфорорганические эфиры, экотоксикант, антипирены, пластификаторы, источники загрязнения, персистентность, уровни загрязнения

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 122041100086-5).

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF ORGANOPHOSPHATE ESTERS AS SOURCES OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (VARIOUS WORLD REGIONS CASE STUDY)

Bash P.V.

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, e-mail: polli-ant@mail.ru*

The purpose of this work is to conduct a systematic analysis of the occurrence of organophosphate esters as environmental pollutants in different regions of the world and across various environments, as well as to identify key patterns in their accumulation and distribution. The article analyzes and structures the results of modern scientific research findings on the toxic effects of these organophosphates and the danger of their widespread determination, assesses their distribution in the environment based on the levels of ecotoxicant content in natural environments and living organisms. Analytics of new pollutant scientific researches is necessary to present existing threat from it, and is important to justify the need for Russian research in this area. Although organic phosphates were considered to be relatively harmless, the presented research results revealed negative effects on living organisms, potential bioaccumulation ability, posing a threat to humans and ecosystem health. This review articulates a problem that requires researchers' attention in the current agenda of global consumption. Article emphasizes the need to study a new ecotoxicant in domestic works, highlights the existing problematics of their persistence and ubiquitous distribution in natural objects.

Keywords: organophosphorus esters, ecotoxicant, flame retardants, plasticisers, pollution sources, persistence, pollution levels

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. 122041100086-5).

Введение

Органические эфиры ортофосфорной кислоты, называемые также органическими фосфатами или фосфорорганическими эфирами (ФОЭ), представляют собой об-

ширный класс химических соединений, используемых в промышленности преимущественно в качестве антипиренов и пластификаторов. Благодаря своей универсальности, физико-химическим свойствам и от-

носителем низкой стоимости они нашли применение в производстве разных видов пластмасс, строительных материалов и покрытий, текстиля, электроники. Массовое использование в производстве органических фосфатов привело к их значительному высвобождению в окружающую среду (ОС), где в последнее время они всерьез рассматриваются как органический загрязнитель. Это вызывает озабоченность в связи с их токсичностью для человека и биоты. Этот загрязнитель обнаруживается повсеместно – в водных объектах, воздухе, атмосферных осадках, пищевых цепях [1, 2, 3]. Более того, в некоторых исследованиях ФОЭ определены в плаценте и грудном молоке человека [4, 5].

По состоянию на сегодняшний день работы по оценке содержания соединений во всех средах, изучению механизмов их распределения, аккумуляции и влияния на живые организмы (ЖО) и окружающую среду в большинстве ведутся учеными Китая, Америки, стран Европы. При этом экологический аспект присутствия органических фосфатов и их влияния на здоровье экосистем в Российской Федерации практически не был освещен, что делает проблему «невидимой» в локальном научном сообществе.

Инициирование отечественных работ, изучающих неотъемлемую составляющую потребительских товаров, также критически важно в свете современной повестки. Китай является одним из важнейших экономических партнеров России, и его серьезная озабоченность ФОЭ, подкрепленная рядом научных трудов, обуславливает необходимость проведения такого рода исследований на территории России.

Целями работы являются проведение всестороннего анализа присутствия органических эфиров фосфорной кислоты в качестве групп загрязняющих окружающую среду веществ в различных объектах и регионах мира, выявление основных закономерностей в распространении экотоксиканта. Настоящий обзор призван обозначить проблему и послужить основой для формирования базы знаний, инициирующей прикладные исследования в России в будущем.

Материалы и методы исследования

В статье проведен систематический анализ 20 зарубежных научных исследований, опубликованных в международных наукометрических базах данных за последние 14 лет, изучающих экологические аспекты использования ФОЭ, их распростране-

ние и потенциальное воздействие на живые организмы.

Результаты исследования и их обсуждение

Органические фосфаты приобрели широкое распространение в разных отраслях промышленности благодаря своим эффективным огнезащитным характеристикам, низкой стоимости и обширному спектру применения. Эти соединения совместимы с другими химическими веществами, используемыми в процессе производства и обработки, а также являются относительно простыми в применении [6].

ФОЭ используются при производстве пластмасс для потребительских и промышленных товаров, включая электронное оборудование, детские игрушки, мебель, предметы для дома. Кроме того, они применяются для улучшения характеристик лакокрасочных материалов, текстильных покрытий, строительных материалов и гидравлических жидкостей [6, 7]. В таблице 1 представлен перечень важнейших соединений группы, наиболее часто рассматриваемых в исследованиях. Однако следует учитывать, что существуют еще более 10 прочих соединений, упоминаемых в научной литературе значительно реже и освещенных недостаточно подробно. Соединения ФОЭ структурированы в таблице 1 в соответствии с основными группами на основе их химической структуры.

Соединения группы ФОЭ используются главным образом для двух целей: в качестве антипиренов (применяются галогенированные соединения) и как пластификаторы (используются негалогенированные соединения). Алкил-замещенные фосфаты (ТВР, TiBP, TPhP и ТВЕР) в основном применяются как пластификаторы, смазочные материалы, а также в качестве антипиренов [6]. Органические фосфаты являются новым типом антипиренов, пришедшим на замену бромсодержащим антипиренам, использование которых было ограничено Стокгольмской конвенцией [7]. Используемые ранее полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ) постепенно были запрещены из-за их доказанной стойкости, дальнего атмосферного переноса, биоаккумуляции и токсичности [8].

ФОЭ, как казалось, были хорошей альтернативой ПБДЭ благодаря химическим свойствам, разнообразию и низкой цене производства. Однако новые соединения отнюдь не являются экологически безопасными.

Таблица 1

Перечень основных фосфорорганических эфиров,
использующихся в качестве антипиренов и пластификаторов

Название соединения	Международное название	Аббревиатура	Номер CAS
<i>Хлорированные органические фосфаты</i>			
Трис(2-хлорэтил)фосфат	Tri(2-chloroethyl)phosphate	ТСЕР	115-96-8
Трихлорпропилфосфат	Tri(chloropropyl)phosphate	ТСРР	13674-84-5
Трис(1,3-дихлоропропил)фосфат	Tris(1,3-dichloroisopropyl)phosphate	ТДСРР	13674-87-8
Трис(1,3-дихлор-2-пропил)фосфат	Tris(2,3-dichloropropyl)phosphate	ТДСРР	13674-96-7
<i>Группа с алкильными заместителями</i>			
Триметилфосфат	Trimethyl phosphate	ТМР	512-56-1
Триэтилфосфат	Triethyl phosphate	ТЕР	78-42-2
Триизобутил фосфат	Tri-iso-butyl phosphate	ТиВР	126-71-6
Три-н-бутилфосфат	Tri-n-butyl phosphate	ТнВР	126-73-8
Трибутилфосфат	Tributyl phosphate	ТВР	126-73-8
Трибутоксипропил фосфат	Tributoxyethyl phosphate	ТВЕР	78-51-3
Трис (2-бутилоксиэтил) фосфат	Tris(2-butoxyethyl) phosphate	ТВОЕР	78-51-3
Трис(2-этилгексил)фосфат	Tris(2-ethylhexyl) phosphate	ТЕНР	78-42-2
Трипропилфосфат	Tripropyl phosphate	ТРР	115-86-6
<i>Группа с арильными заместителями</i>			
Дифенил (2-этилгексил) фосфат	2-ethylhexyl diphenyl phosphate	ЕНДРР	298-07-7
Трикрезилфосфат	Tricresyl phosphate	ТСрР	1330-78-5
Трифенилфосфат	Triphenyl phosphate	ТрФР	115-86-6
Трис (3-метилфенил) фосфат	Tris(methylphenyl) phosphate	ТМРР	13674-84-5

Источник: составлено автором.

Несмотря на свои преимущества для промышленного использования, в последнее время ФОЭ вызывают серьезное беспокойство ученых разных стран мира, так как они проявляют признаки персистентности в природной среде, аккумулируются в биоте и могут иметь долгосрочные негативные последствия для здоровья человека. Более того, судя по результатам некоторых исследований, исходя из текущих концентраций органических фосфатов в донных отложениях (ДО) Арктики, ФОЭ переносятся на отдаленные расстояния даже активнее, чем полибромированные дифениловые эфиры [8].

Многие из ФОЭ являются добавками в производстве материалов и не связаны химически с конечными продуктами, что приводит к их высвобождению в окружающую среду. Согласно исследованию, широкое использование ФОЭ способствует диффузному распространению в природной среде, а некоторые из соединений могут быть стабильными в ОС [9]. При попадании в ОС непрерывно происходит распределение ФОЭ, их миграция и трансформация. Выделение соединений может происходить в процессе различных производственных процессов,

при сбросе сточных вод, а также при утилизации отходов. Помимо этого, их источником может быть пластиковый мусор, попадающий в водные объекты, в таком случае также происходит медленное высвобождение органических фосфатов.

После выделения ФОЭ переносятся с атмосферными осадками и поверхностным стоком, течениями. В одном из исследований подтверждено, что выделение ФОЭ приводит к загрязнению почв соединениями группы не только в местах обработки отходов или на территории самих производств, но и на близлежащих природных объектах. Установлено, что пшеница фермерских хозяйств вблизи перерабатывающих заводов поглощала ФОЭ из почвы и накапливала эти соединения [10]. Повсеместное присутствие органических фосфатов в различных экосистемах и их высокая мобильность в окружающей среде усиливают важность их исследования, так как данные соединения широко распространены как в наружной, так и во внутренней среде (жилища и рабочие пространства). В таблице 2 показаны уровни присутствия ФОЭ в разных объектах и регионах мира.

Таблица 2

Уровни присутствия соединений органических эфиров фосфорной кислоты на примере разных тест-объектов

Место отбора проб. Кол-во целевых соединений	Тест-объект	Концентрация ФОЭ	Преобладающие соединения	Источник
Китай, туристические курорты (12 соединений)	Природные воды	18,52–3069,43 нг/л	ТСЕР, ТСІРР, ТЕР, ТРНР, ТnBP, RDP	[11]
	Донные отложения	3,20–568,76 нг/г	ТСЕР, ТСІРР, ТЕР	
Залив Лайчжоу, Бохайское море, север Китая (20 соединений)	Поверхностные морские воды	0,2–28,4 нг/л	ТСЕР, ТСІРР, ТЕР, ТСгР – преобладали хлорированные ФОЭ (СІ-ФОЭ)	[3]
	Донные отложения	0,1–96,9 нг/г сухого веса		
	Рыбы	21,1–3510 нг/г липидной массы		
Реки Китая (13 соединений)	Поверхностные воды	142,23–304,56 нг/л (среднее: 193,50)	ТСЕР, ТСІРР, ТЕР, ТСгР	[12]
	Рыбы	54,0–1080,88 нг/г сух. вес	ТСРР, ТЕР, ТСгР	
Регионы Китая: промышленные зоны, реки (17 соединений, во всех образцах преобладают СІ-ФОЭ)	Пыль пунктов переработки электронных отходов	8,706–34,872 мкг/г	СІ-ФОЭ, TiBP и TnBP	[13]
	Почвы пунктов переработки отходов	0,122–2,1 мкг/г	СІ-ФОЭ	
	Донные отложения	0,0197–0,234 мкг/г		
	Реки Китая	0,69–10,62 мкг/л	СІ-ФОЭ, ТВЕР	
Река Хуанхэ, Китай (12 соединений)	Поверхностные воды	97,66–2433,30 нг/л	ТСЕР, TDCІРР, ТЕР	[14]
	Донные отложения	47,33–234,08 нг/г		
Районы на юге Китая (8 соединений)	Почвы	74,7–410 нг/г В среднем 255 нг/г	TDCІРР, ТСРР, ТСЕР	[15]
	Растения	202–751 нг/г В среднем 381 нг/г	TDCІРР, ТСРР, ТСЕР	
Центральная часть Северного Ледовитого океана	Донные отложения (Данные представлены по сумме 8 исследуемых в работе ФОЭ, даны полученные диапазоны между разными точками отбора указанного моря)	323–4658 пг/г сухого веса Среднее: 1463 пг/г	ТСЕР, TiBP, TnBP, TPhP, ТСРР, TDCP	[8]
Берингово море	(ТСЕР составляет примерно 18% в каждой пробе)	836–2093 пг/г сухого веса Среднее: 1207 пг/г	ТСЕР, TiBP, TnBP, TPhP, ТСРР	
Канадская котловина		706–1855 пг/г сухого веса. Среднее: 1190 пг/г	ТСЕР, TiBP, TnBP, ТСРР	
Шельф Чукотского моря		159–998 пг/г сухого веса. Среднее: 524 пг/г	ТСЕР, TPhP, ТСРР	
Берингов пролив		292–408 пг/г сухого веса. Среднее: 350 пг/г	ТСЕР, TiBP, TnBP	
Азиатские страны – исследованы 89 образцов грудного молока (20 соединений)	Грудное молоко, Филиппины	70 нг/г липидной массы	Показано среднее суммарное ФОЭ. Более чем в 60% обнаружены ТСЕР TPhP	[5]
	Грудное молоко, Япония	22 нг/г липидной массы		
	Грудное молоко, Вьетнам	10 нг/г липидной массы		
Жилые дома вдоль реки Колумбия, города Ванкувер и Лонгвью (22 соединения)	Сточная вода (из хозяйственных помещений жилых домов) (СІ-ФОЭ составляют примерно 72% общей суммы соединений)	47,1–561000 нг/л В среднем 43500 нг/л	Обнаружены 18 из 22 ФОЭ	[16]
	Пыль жилых помещений (СІ-ФОЭ – 92% общей суммы соединений)	3,6–82700 нг/г сухого веса. В среднем 4 820 нг/г	Обнаружены 21 из 22 ФОЭ	

Источник: составлено автором.

В результате анализа 20 современных зарубежных исследований, представляющих последние данные, полученные в области органических фосфатов, сделан вывод, что наиболее высокие концентрации ФОЭ (по сравнению с остальными анализируемыми в соответствующих исследованиях природными объектами) были обнаружены на объектах, расположенных вблизи аэропортов, промышленных и сельскохозяйственных районов [12, 15], что свидетельствует о значительном вкладе антропогенного компонента в количество выделяемого ФОЭ. Это ощутимо выражается в более высоких уровнях ФОЭ в пробах из мест их активного использования. Например, наибольшие концентрации обнаружены в пыли из пунктов переработки электронных отходов, что подтверждает влияние локальных источников загрязнения – переработка пластмасс, электроники и текстиля [13]. Также отмечено изменение уровней содержания ФОЭ в воде в зависимости от сезона – в сухой сезон обнаруживалась концентрация соединений выше, чем во влажный период [14].

Различия в распределении ФОЭ обусловлены их физико-химическими свойствами. Например, в водной среде С1-ФОЭ обладают большей гидрофильностью по сравнению с другими группами. Трис(2-хлорэтил)фосфат (ТСЕР), трихлорпропилфосфат (ТЕР), и трис(1,3-дихлорпропил)фосфат (ТДСРР) с трудом трансформируются или разлагаются в водных экосистемах, что приводит к их более высокой концентрации в воде, чем в донных отложениях (ДО). ФОЭ с низкой растворимостью в воде адсорбируются на частицах ДО, аккумулируются и могут в дальнейшем даже служить вторичными источниками загрязнения [17].

Отдельно следует обратить внимание на результаты исследования донных отложений Северного Ледовитого океана. В работе говорится, что концентрации ФОЭ значительно выше, чем сумма ПБДЭ, определенная в этих же пробах. Это указывает на то, что органические фосфаты еще сильнее подвержены переносу на большие расстояния из регионов-источников [8, 18]. Четко определены признаки биоаккумуляции ФОЭ: живые организмы, будь то рыбы, моллюски или растения, накапливают ФОЭ в более высоких концентрациях по сравнению с окружающей средой [3, 12, 15]. Отмечается, что бентос и рыбы, обитающие на глубине, накапливают больше ФОЭ, чем пелагические организмы и беспозвоночные, обитающие в толще. Зафиксировано

линейное и значительное увеличение коэффициентов биоаккумуляции с ростом липофильности, подтверждаются накопление и концентрация ФОЭ в пищевых цепях морских организмов [3, 19].

Обнаружение ФОЭ даже в организме человека подтверждает актуальность угрозы здоровью и обосновывает необходимость дальнейшего мониторинга соединений [4, 5]. Соединения группы ФОЭ показали нейротоксические эффекты, эмбриотоксичность, канцерогенность и влияние на фертильность, способность вызывать аллергии, причем ТСЕР был однозначно признан канцерогенным. Это свидетельствует о существующей угрозе организму человека, стоящая на вершине пищевой цепи. Освещенная в статье проблема является полем для широкого спектра исследований [20, 10].

Заключение

Широкое распространение органических фосфатов на мировых рынках ввиду их активного использования при производстве пластмасс вызывает озабоченность ученых по всему миру, так как объем пластиковых отходов, образующихся в результате все набирающего темпы производства и потребления, неуклонно растет. Это ставит важную проблему сопутствующих пластику соединений, выделяемых в окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла продукта: при производстве, использовании и утилизации. Также фосфорорганические эфиры могут попадать в почву, воду и атмосферу, где они способны оказывать токсическое воздействие на экосистемы и накапливаться в цепях питания, что несет возможность потенциального риска для здоровья человека.

В настоящем обзоре предпринята попытка сформулировать проблему появления нового персистентного экотоксиканта и продемонстрировать уровни его присутствия в окружающей среде. Согласно проведенному анализу современных зарубежных исследований, органические фосфаты представляют собой группу устойчивых загрязнителей, действительно проявляющих признаки персистентности и высокой способности к биоаккумуляции. Наличие этих свойств свидетельствует о возможных серьезных экологических последствиях, связанных с использованием этих соединений на производстве, что опровергает предположение о том, что ФОЭ являются более безопасной заменой ПБДЭ. Помимо этого, освещенная в статье проблема поднимает вопрос поиска более безопасных и эколого-

гически устойчивых альтернативных химических соединений для использования их как антипиренов и пластификаторов вместо фосфорорганических эфиров, токсичность которых доказана.

Практическая значимость настоящей статьи определяется тем, что она обращает внимание научного сообщества и заинтересованных сторон на недостаточно изученную, актуальную проблему присутствия фосфорорганических эфиров в объектах окружающей среды, что может быть внедрено как основа формирования эффективных природоохранных стратегий, направленных на снижение негативного воздействия органических фосфатов на окружающую среду и живые организмы. Проведенный анализ обосновывает значимость проблемы распространения фосфорорганических эфиров как серьезной угрозы для здоровья экосистемы. Представленные в работе данные могут быть востребованы научным сообществом, поскольку они указывают на перспективные направления для отечественных исследований персистентного экотоксиканта. Последующие работы могут быть направлены, к примеру, на оценку содержания фосфорорганических эфиров в природных средах России, на более глубокое понимание механизмов распространения и воздействия этой группы опасных загрязняющих веществ. Включение российских исследователей в актуальную проблематику позволит заполнить существующий пробел в научных данных и интегрировать отечественные исследования в международные инициативы по изучению малоизученных опасных органических загрязнителей.

Список литературы

1. Cristale J., Katsoyiannis A., Sweetman A.J., Jones K.C., Lacorte S. Occurrence and risk assessment of organophosphorus and brominated flame retardants in the River Aire (UK) // *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 179. P. 194-200. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.04.001.
2. Полякова О.В., Лебедев А.Т. Антропогенные органические соединения в атмосфере Москвы // *Лаборатория и производство*. 2019. № 5. С. 104-113. DOI: 10.32757/2619-0923.2019.5.9.104.112.
3. Bekele T.G., Zhao H., Wang Q., Chen J. Bioaccumulation and trophic transfer of emerging organophosphate flame retardants in the marine food webs of Laizhou Bay, North China // *Environmental Science & Technology*. 2019. Vol. 53. № 22. P. 13417-13426. DOI: 10.1021/acs.est.9b03687.
4. Ding J., Xu Z., Huang W., Feng L., Yang F. Organophosphate ester flame retardants and plasticizers in human placenta in Eastern China // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 554. P. 211-217. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.171.
5. Kim J.W., Isobe T., Muto M., Tue N.M., Katsura K. Organophosphorus flame retardants (PFRs) in human breast milk from several Asian countries // *Chemosphere*. 2014. Vol. 116. P. 91-97. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.02.033.
6. Du J., Li H., Xu S., Zhou Q., Jin M., Tang J. A review of organophosphorus flame retardants (OPFRs): occurrence, bioaccumulation, toxicity, and organism exposure // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. P. 22126-22136. DOI: 10.1007/s11356-019-05669-y.
7. Dou M., Wang L. A review on organophosphate esters: physicochemical properties, applications, and toxicities as well as occurrence and human exposure in dust environment // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 325. P. 116601. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116601.
8. Ma Y., Xie Z., Lohmann R., Mi W., Gao G. Organophosphate Ester Flame Retardants and Plasticizers in ocean sediments from the North Pacific to the Arctic Ocean // *Environmental Science & Technology*. 2017. Vol. 51. № 7. P. 3809-3815. DOI: 10.1021/acs.est.7b00755.
9. Sagerup K., Leonards P., Routti H., Fuglei E., Aars J., Ström H., Gabrielsen G.W. Organophosphorous flame retardants in Arctic biota. 2011. The Norwegian Polar Institute study. [Электронный ресурс]. URL: <https://brage.npolar.no/npolar-xmlui/bitstream/handle/11250/173195/OrganophosphorousFlameRetardants2011.pdf?sequence=1> (дата обращения: 11.10.2024).
10. Wan W., Zhang S., Huang H., Wu T. Occurrence and distribution of organophosphorus esters in soils and wheat plants in a plastic waste treatment area in China // *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 214. P. 349-353. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.04.038.
11. Cao X., Wang B., Liu X., Cheng J., Wang S. Study of the Spatiotemporal Variations, Source Determination, and Potential Ecological Risk of Organophosphate Esters in Typical Coastal Tourist Resorts in China // *Water*. 2023. Vol. 15. № 22. P. 3976. DOI: 10.3390/w15223976.
12. Da S., Wang J. Occurrence, Bioaccumulation, and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Rivers Receiving Different Effluents // *Toxics*. 2024. Vol. 12. №. 8. P. 612. DOI: 10.3390/toxics12080612.
13. Hu Z., Yin L., Wen X., Jiang C., Long Y., Zhang J., Liu R. Organophosphate esters in China: fate, occurrence, and human exposure // *Toxics*. 2021. Vol. 9. № 11. P. 310. DOI: 10.3390/toxics9110310.
14. Li W., Yuan Y., Wang S., Liu X. Occurrence, spatio-temporal variation, and ecological risks of organophosphate esters in the water and sediment of the middle and lower streams of the Yellow River and its important tributaries // *Journal of Hazardous Materials*. 2023. Vol. 443. P. 130153. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130153.
15. Luo W., Yao S., Huang J., Wu H., Zhou H., Du M., Sun J. Distribution and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Agricultural Soils and Plants in the Coastal Areas of South China // *Toxics*. 2024. Vol. 12. №. 4. P. 286. DOI: 10.3390/toxics12040286.
16. Schreder E.D., La Guardia M.J. Flame retardant transfers from US households (dust and laundry wastewater) to the aquatic environment // *Environmental science & technology*. 2014. Vol. 48. № 19. P. 11575-11583. DOI: 10.1021/es502227h.
17. Lai N.L.S., Kwok K.Y., Wang X.H., Yamashita N., Liu G., Leung K.M., Lam J. C. Assessment of organophosphorus flame retardants and plasticizers in aquatic environments of China (Pearl River Delta, South China Sea, Yellow River Estuary) and Japan (Tokyo Bay) // *Journal of hazardous materials*. 2019. Vol. 371. P. 288-294. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.029.
18. Fu J., Fu K., Gao K., Li H., Xue Q., Chen Y., Jiang G. Occurrence and trophic magnification of organophosphate esters in an Antarctic ecosystem: insights into the shift from legacy to emerging pollutants // *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 396. P. 122742. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122742.
19. Wang Y., Zhao Y., Han X., Wang J., Zhuang Y., Li W. A review of organophosphate esters in aquatic environments: levels, distribution, and human exposure // *Water*. 2023. Vol. 15. №. 9. P. 1790. DOI: 10.3390/w15091790.
20. Paun I., Pirvu F., Iancu V.I., Niculescu M., Pascu L.F., Chiriac F.L. An Initial Survey on Occurrence, Fate, and Environmental Risk Assessment of Organophosphate Flame Retardants in Romanian Waterways // *Journal of xenobiotics*. 2023. Vol. 14. № 1. P. 31-50. DOI: 10.3390/jox14010003.

УДК 91:574.21:593.12(571.63)
DOI 10.17513/use.38346

БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ДОННОЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА ВЛАДИМИРА (СРЕДНЕЕ ПРИМОРЬЕ)

Иванова Е.Д., Жариков В.В., Лебедев А.М.

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

Цель работы – дать описание таксономического состава выделенных комплексов бентосных фораминифер в прибрежной зоне залива Владимира, выявить закономерности распределения видов в зависимости от различных факторов донной среды. Материалом послужили образцы осадков, взятые при проведении подводных картировочных маршрутов с использованием легководолазного снаряжения и с точной навигационной привязкой. Обработка проб на фораминиферовый анализ проводилась по общепринятой методике. В ходе работы было выявлено, что основными природными факторами, влияющими на формирование и распределение комплексов бентосных фораминифер, их численность и видовое разнообразие, являются грунты и гидрологический режим акватории (течения, волно-прибойные явления). Влияние антропогенного фактора проявляется в морфологических изменениях фораминифер. Деформированные раковины были обнаружены в прибрежной зоне п. Ракушка, где происходит загрязнение акватории сточными водами промышленно-сельскохозяйственного производства. Изучение элементного состава стенок раковин фораминифер в этом районе выявили содержание в них тяжелых металлов. Проведенные исследования показали, что формирование сообществ бентосных фораминифер происходит в прямой зависимости от природных и антропогенных факторов, что позволяет использовать их в качестве индикаторов условий донной среды.

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, факторы среды, загрязнение, морфология, залив Владимира

BENTHIC FORAMINIFERA AS INDICATORS OF BOTTOM ENVIRONMENT IN THE COASTAL ZONE OF VLADIMIR BAY (MIDDLE PRIMORYE)

Ivanova E.D., Zharikov V.V., Lebedev A.M.

*Federal state budgetary institution of science Pacific Geographical Institute Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: ivanova@tigdvo.ru*

The work is devoted to the description of the species composition of the benthic foraminiferal complexes in the coastal zone of Vladimir Bay and to identify patterns of species distribution depending on various factors of the bottom environment. The material was sediment samples taken during underwater mapping routes using light diving equipment and precise navigational reference. Processing of samples for foraminiferal analysis was carried out according to generally accepted methods. During the work, it was revealed that the main natural factors influencing the formation and distribution of benthic foraminiferal complexes, their abundance and species diversity are the ground and the hydrological regime of the water area (currents, wave-surf phenomena). The influence of the anthropogenic factor is manifested in the morphological changes of foraminifera. Deformed shells were found in the coastal area of the Rakushka village, where the water area is polluted by wastewater from industrial and agricultural production. A study of the elemental composition of foraminifera shell walls in this area revealed the presence of heavy metals in them. The conducted studies showed that the formation of benthic foraminiferal communities occurs in direct dependence on natural and anthropogenic factors, which makes it possible to use them as indicators of the conditions of the bottom environment.

Keywords: benthic foraminifera, environmental factors, pollution, morphology, Vladimir Bay

Введение

Главной особенностью современных морских исследований, включая изучение донных сообществ, к которым относятся бентосные фораминиферы, является их экологическая направленность. Экологический критерий исследований дает возможность выявлять влияние определенных факторов среды на развитие и распределение фораминиферовых ассоциаций, а также определять причины морфологических изменений раковин БФ. Бентосные фораминиферы (БФ) – это простейшие одноклеточные ор-

ганизмы размером от 20–50 до 1000 мкм, обитающие в условиях открытого океана, окраинных и полуизолированных бассейнов и выдерживающие колебания солености от 0–10 до почти 70 ‰ [1, с. 58]. Жизнедеятельность и распределение БФ зависят от различных абиотических характеристик среды (температура, соленость, гидродинамика, растворенный кислород, питательные вещества, микроэлементы, субстрат). Кроме этого, большое значение имеет антропогенный фактор, как основная причина загрязнения акватории, в результате чего могут

наблюдаться видовая и численная обедненность комплексов БФ, морфологические изменения раковин [2]. В представленной работе показаны результаты изучения сообществ бентосных фораминифер в прибрежной зоне залива Владимира. Данных по микрофауне этой акватории практически нет, так как в период с 1934 по 1999 г. здесь располагалась военно-морская база ТОФ, район был практически закрыт для научно-исследовательской и рыбохозяйственной деятельности [3]. В настоящее время в заливе проводятся морские биологические исследования, активно ведутся промысел беспозвоночных и водорослей, работы по их культивированию [4, с. 19].

Цель данной работы – дать описание таксономического состава выделенных комплексов бентосных фораминифер, выявить закономерности распределения видов в зависимости от различных факторов донной среды.

Материалы и методы исследования

Отбор проб в заливе Владимира проводился вдоль побережья бухты Северная (западная, восточная и кутовая части), на выходе из бухты Средняя в районе мысов, а также вдоль восточного побережья бухты Южная [5]. Работа выполнялась по принятой в Лаборатории морских ландшафтов Тихоокеанского института географии ДВО РАН методике картографирования подводных ландшафтов с использованием легководолазного снаряжения и с точной навигационной привязкой [6, с. 73]. Для каждой точки фиксировались типы донных грунтов (ил, песок, гравий, валуны и т.д.) с визуальным определением преобладающей фракции. Для фораминифероанализа были использованы образцы осадков, отобранных на 11 станциях (точки отбора) (рис. 1).

Пробы взвешивались, отмывались через сито с размером ячеек 63- μm и высушивались при комнатной температуре. Последующий просмотр образцов велся в гранулометрических фракциях $> 0,15$ мкм и $> 0,063$ мкм. В каждом образце определялся таксономический состав комплекса, подсчитывались общая численность БФ (для показательности в пересчете на 50 г сухого осадка) и их процентное соотношение. Определение видов проводилось по работам отечественных и зарубежных авторов [7, с. 285–397; 8; 9, с. 1–377]. Также были использованы международные электронные базы данных [10–12].

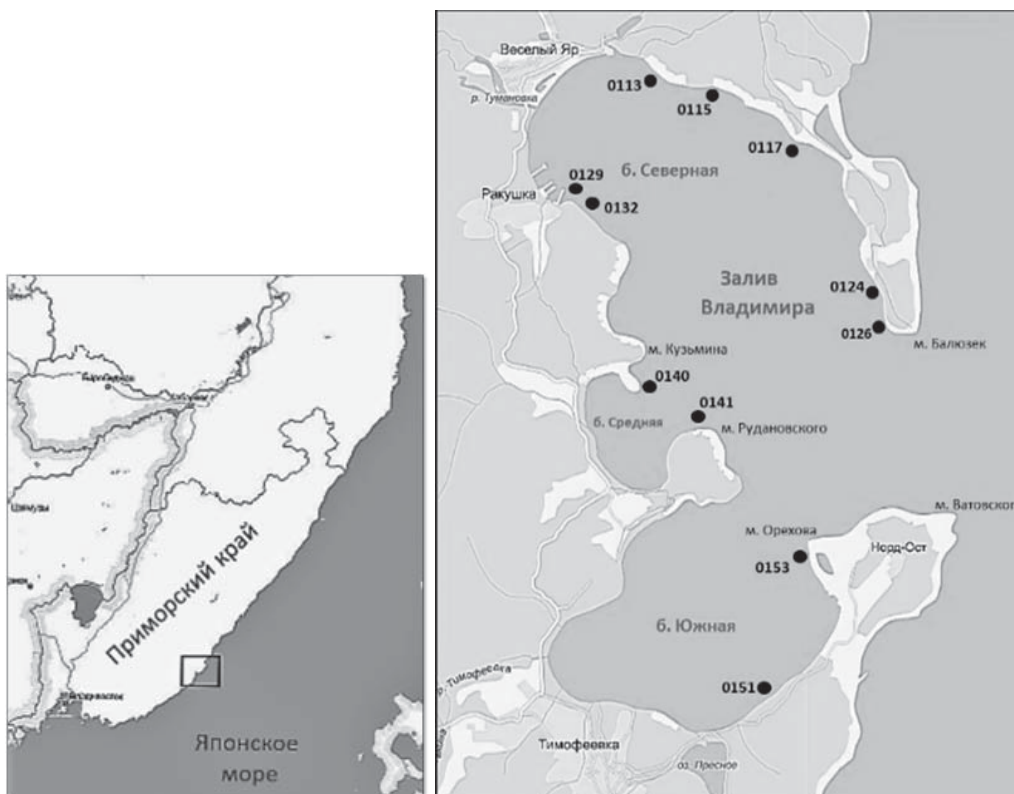
Физико-географическая характеристика района

Залив Владимира представляет собой полузакрытый водоем, вдающийся в восточное побережье Среднего Приморья. Вход в залив располагается между двумя мысами: мыс Балюзек на севере и мыс Ватовского на юге. В состав акватории залива Владимира входят три бухты (Северная, Средняя, Южная), выходы из которых ограничены внутренними мысами (м. Кузьмина, м. Рудановского, м. Орехова) (рис. 1). В бухты впадают небольшие речки и мелкие ручьи, значительно распресняя (до 20 %) их кутовые участки [13, с. 94]. Бухта Северная является продолжением залива Владимира и практически не имеет естественных границ. Наиболее мелководная из всех бухт – бухта Средняя, которая ограничена м. Кузьмина и полуостровом Рудановского. Максимальные глубины бухты редко превышают 10 м. Бухта Южная по своим физико-географическим характеристикам значительно отличается от других бухт залива Владимира. Водообмен с водами залива затруднителен, в отличие от других бухт (Северная и Средняя). Это обусловлено мелководностью участка, расположенного между полуостровами Ватовского и Рудановского, и небольшим расстоянием между полуостровами. Ширина этого участка составляет 1,6 км, а ширина самого залива более 4 км. Своеобразен и рельеф дна. В центральной части находится относительно глубокая (более 20 м) «яма». Глубина пролива, соединяющего бухту Южная с заливом Владимира, не превышает 10–12 м. Таким образом, водообмен осуществляется только верхними слоями воды [13]. Твердые грунты (камни, выход коренных пород, булыжник и т.п.) в заливе Владимира расположены непосредственно вблизи берега. Причем в северной части залива граница твердых грунтов ограничена 5-метровой изобатой, а в большинстве случаев не превышает 2–3 м. Глубже расположены полумягкие (галька) и мягкие (песок, алевроит) грунты, слагающие осадки наиболее глубоководных районов залива [3]. У полуострова Рудановского твердые грунты распространяются до глубин 10–12 м, а у северной стороны полуострова Ватовского – до 15–18 м.

Исследования гидрологического режима залива Владимира выявили циклонический характер циркуляции вод залива. У м. Балюзек преобладает течение северо-западного направления с максимальной скоростью до 4,2 см/с, обеспечивая заток вод в залив.

У м. Ватовского преобладает течение северного направления. На выходе из бухты Южной основной поток разделяется на две ветви: одна в северо-восточном направлении (в сторону м. Ватовского), другая в за-

падном направлении, образуя циклонический круговорот в придонном слое бухты Южной. Северо-восточная ветвь определяет гидрологическую обстановку у мыса Ватовского [13, с. 94].



№ точки отбора	Местоположение	Глубина (м)	Характер грунта
0113	Северная (кутовая) часть б. Северная	6,4	Мелкозернистый песок, алеврит с галькой и гравием
0115	— « —	5,5	Мелкозернистый песок, наилок
0117	— « —	8,4	Мелкозернистый песок с щебнем
0124	Восточная часть б. Северная, район м. Балюзек	2,6	Гравий и галька с единичными валунами
0126	— « —	5,9	Средне- и мелкозернистый песок с единичными валунами
0129	Западная часть б. Северная, р-н п. Ракушка	12,6	Алеврит, мелкозернистый песок
0132	— « —	11,2	Алеврит, мелкозернистый песок
0140	Северный мыс у входа в бухту Средняя (южнее м. Кузьмина)	10,4	Средне- и мелкозернистый песок, раковинный детрит
0141	Южный мыс у входа в бухту Средняя (к северу от м. Рудановского)	10,3	Гравий, галька
0151	Южная (кутовая) часть б. Южная	13,0	Заиленный песок с гравием и галькой
0153	Восточная часть б. Южная, район м. Орехова	10,0	Галечник с крупнозернистым песком

Рис. 1. Расположение и характеристика точек отбора проб в заливе Владимира

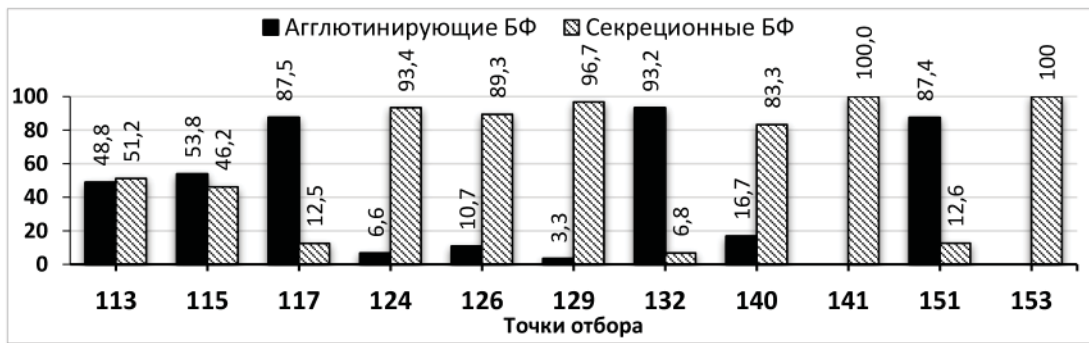


Рис. 2. Соотношение (%) секреторных и агглютинирующих БФ в комплексах

Результаты исследования и их обсуждение

Бентосные фораминиферы

Выделенные в прибрежной зоне залива Владимира комплексы БФ представлены 47 видами, из которых 7 относятся к агглютинирующим (песчаным) формам, остальные секреторные (известковые). На фоне общего преобладания секреторных форм в некоторых комплексах доминируют агглютинирующие виды (рис. 2).

Состав и численность фораминиферо-вых ассоциаций варьируют в зависимости от местоположения и соответствующих условий среды (характер грунта и гидрологический режим) (таблица) [14, с. 138].

В бухте Северная образцы осадков были отобраны в районе м. Балюзек (восточное побережье залива), в кутовой части и в районе п. Ракушка (рис. 1).

В точках отбора проб (0124 и 0126) в районе м. Балюзек выделенные комплексы БФ представлены секреторными видами, обычными для условий сублиторали. Из агглютинирующих фораминифер встречены *Eggerella advena*, *Ammotium cassis*, *Labrospira jeffreysi* – виды, широко распространенные от литорали до внешнего шельфа [1, с. 327–343]. Общая численность БФ в точке отбора 0124 выше (245 экз./50 г сух. ос.), чем в точке отбора 0126 (47 экз./50 г ос.), однако видовой состав не так разнообразен (16 видов против 24) (таблица). Возможно,

причиной такого отличия служит местоположение станций. Точка отбора 0124 расположена севернее по отношению к точке отбора 0126, на меньшей глубине. Активность гидрологического режима здесь проявляется не так сильно, что отразилось на жизнедеятельности БФ. Ядро комплекса составляют известковые виды, характерные для условий сублиторали и внутреннего шельфа: *Criboelphidium subarcticum* (23,5 %), *Criboelphidium asterineum* (22,9 %), *Retroelphidium subclavatum* (11,8 %). Субдоминантная группа представлена видами, обычными для условий открытых бухт и заливов с нормальной соленостью [5, с. 215–228; 1, с. 327–343] (таблица). В точке отбора 0126 состав доминантной группы БФ отличается увеличением доли видов *Discobis bradyi* (10,7 %) и *Canalifera fax* (9,3 %) (таблица). Это эпифаунальные (живущие на поверхности осадка) фораминиферы, предпочитающие грубые осадки (хорошо перемытый крупный песок), формирующиеся при воздействии активной гидродинамики. Субдоминантная группа более разнообразна и включает виды, обычные для условий открытых бухт и заливов, внутреннего шельфа [7, с. 215–228; 1, с. 327–343]. Течение, обеспечивающее заток вод у м. Балюзек [13], создает условия для транспортировки в бухту многих видов, что объясняет такое высокое таксономическое разнообразие комплексов БФ.

Видовой состав комплексов БФ и их процентное соотношение в точках отбора проб

Точки отбора	113	115	117	124	126	129	132	140	141	151	153
Экз./50 г сух. осадка	82	25	176	245	47	1111	299	802	381	1545	616
Число видов	12	6	3	16	24	30	6	17	8	7	12
Секреторные БФ (%)											
<i>Buccella inusitata</i> Andersen						0,1					

Окончание табл.

Точки отбора	113	115	117	124	126	129	132	140	141	151	153
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	6,5	32,3	12,5	6,0	2,7	1,5	2,3	0,3			
<i>Buccella granulata</i> (Lautenschleger)				0,2		0,7			12,1		2,3
<i>Buccella troitzkyi</i> Gudina	1,2										
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny)	38,2	1,5			5,3	1,5	1,1			3,0	
<i>Canalifera fax</i> (Nicol)				0,6	9,3	0,8			8,1		18,2
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker et Jacob)					1,3						
<i>Criboelphidium asterineum</i> Troitskaja	2,9			22,9	1,3	18,0		4,2			
<i>Criboelphidium etigoense</i> (Husezima et Maruhasi)	0,6				4,0	9,5		3,1	4,0		2,3
<i>Criboelphidium goesi cognatum</i> Polovova					2,7	0,2		2,1			
<i>Criboelphidium kusiroense</i> (Asano)				5,8		4,3		1,0			4,6
<i>Criboelphidium subarcticum</i> (Cushman)				23,5	21,3	23,2		1,0	24,2	3,0	22,8
<i>Cribrononion incertus</i> (Williamson)				0,6		0,3					
<i>Discobis bradyi</i> (Cushman)				6,2	10,7	1,8		6,3	36,4		19,3
<i>Discorbis subaraucana</i> Cushman						14,4					
<i>Discorbis tchaynicovi</i> Troitskaja					1,3						0,2
<i>Elphidiella flos</i> Troitskaja				0,2	1,3	2,4		11,5			
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem)						0,2		2,0			
<i>Elphidium jenseni</i> (Cushman)				5,8							
<i>Fissurina</i> sp.					2,7	0,1					
<i>Miliolinella</i> cf. <i>subrotunda</i> (Montagu)					1,3						
<i>Neoconorbina explanata</i> Troitskaja					1,3						
<i>Nonionella japonica</i> (Asano)	0,6										
<i>Nonionella pulchella</i> Hada					1,3	2,2		0,2			
<i>Pateoris hauerinoides</i> (Rhumbler)					1,3	0,1					
<i>Polymorphina</i> sp.								0,1			
<i>Protelphidium anglicum</i> Murray	0,6	4,6				0,2	3,4	34,5			
<i>Quinqueloculina akneriana</i> d'Orbigny						0,1					
<i>Quinqueloculina contorta</i> d'Orbigny											0,3
<i>Quinqueloculina interposita</i> Levitchuk					2,7	0,1					
<i>Quinqueloculina lata</i> Terquem				1,0				8,4			4,3
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linneus)				0,2		0,7		4,2	12,1		14,2
<i>Quinqueloculina stalker</i>									2,5		6,4
<i>Quinqueloculina vulgaris</i> d'Orbigny					8,0				0,5		5,2
<i>Quinqueloculina yezoensis</i> Asano						0,2					
<i>Retroelphidium subclavatum</i> (Gudina)	0,6			11,8		8,3		4,3		6,7	
<i>Retroelphidium subgranulosum</i> (Asano)		7,7		8,7	6,7	5,8					
<i>Rosalina vilardeboana</i> d'Orbigny					1,3	0,04					
<i>Spirillina</i> sp.						0,04					
Агглютинирующие БФ (%)											
<i>Ammotium cassis</i> (Parker)	1,8	23,1	52,5		1,3		15,9			26,0	
<i>Eggerella advena</i> Cushman	0,6			5,8	6,7	1,4		12,5		17,8	
<i>Miliammina kononovi</i> K. Furssenko						0,04					
<i>Rotaliammina moneronensis</i> K. Furssenko					2,7						
<i>Rotaliammina ochracea</i> (Williamson)				0,8							
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	43,5	30,8	35,0			1,8	68,2	4,2		43,1	
<i>Labrospira jeffreysi</i> (Williamson)					1,3						

В кутовой части бухты Северная образцы осадков отбирались на станциях 0113 (гл. 6,4 м), 0115 (гл. 5,5 м) и 0117 (гл. 8,4 м). Грунт в этом районе представлен заиленным мелко- и среднезернистым песком с щебнем, галькой и гравием на скальных выходах (рис. 1). Защищенность этого района от сильного волнения и прибоя объясняет заиленность грунта и способствует активным процессам накопления органического вещества ($C_{орг.}$), что характерно для кутовых частей акваторий [14, с. 137]. В этих условиях сформировались фораминиферовые сообщества, где ядро комплекса составляют агглютинирующие *Ammotium cassis* и *Trochammina inflata*, инфаунальные (зарывающиеся) виды, часто встречающиеся в солонатоводных маршах, заиленных осадках лагун и эстуариев, в условиях низкой гидрологической активности [1, с. 327–343]. Из секреторных форм наиболее многочисленны *Buliminella elegantissima* и *Buccella frigida*, также относящиеся к инфаунальным видам, предпочитающим заиленные осадки. Самая многочисленная субдоминантная группа отмечается в точке отбора 0113, что, вероятно, связано с более активной гидрологической обстановкой. Сюда входят секреторные *Criboelphidium asterineum*, *Criboelphidium etigoense*, *Buccella troitzkyi* и др., обычные для условий сублиторали с хорошей вентиляцией поровых вод (таблица). Комплекс БФ в точке отбора 0117 представлен только тремя видами (*Ammotium cassis*, *Trochammina inflata*, *Buccella frigida*), однако суммарное количество раковин на 50 г осадка значительно выше, чем в остальных комплексах этого района, и насчитывает 176 экземпляров (таблица).

В районе п. Ракушка пробы были взяты в точках отбора 0129 (гл. 12,6 м) и 0132 (гл. 11,2 м). Точки расположены относительно недалеко друг от друга (рис. 1), однако выделенные фораминиферовые комплексы значительно отличаются. В точке отбора 0129 комплекс характеризуется высокими значениями обилия БФ (1111 экз./50 г ос.) и видового разнообразия (30 видов) и почти полностью состоит из секреторных видов. Исключение составляют агглютинирующие *Trochammina inflata* и *Eggerella advena*, встреченные в небольших количествах (таблица). Такие высокие показатели фораминиферо-вых сообществ связаны, вероятно, с речным стоком р. Тумановки и других мелких ручьев, обеспечивающих активное поступление органического вещества

в этом районе. Помимо этого, многие виды, вероятно, заносятся сюда течением северо-западного направления, циркулирующим вдоль побережья бухты Северная, что обусловило богатый видовой состав комплекса [13]. Напротив, в точке отбора 0132 отмечается высокое содержание агглютинирующих видов, на долю которых приходится 93,2 % (таблица). Для этих фораминифер благоприятны относительно грубые грунты – пески и алевриты, сформированные в результате волноприбойных процессов, вызывающих береговую абразию в этом районе [3]. Кроме того, грунт в точке отбора сильно биотурбирован, как результат жизнедеятельности других донных организмов. Все это повлияло на формирование комплекса с относительно невысокими показателями численности (299 экз./50г ос.) и видового разнообразия БФ (6 видов).

Точки отбора 0140 и 0141 расположены на входе в бухту Средняя на глубине около 10 м (рис. 1). Бухта имеет хороший водообмен с водами залива, при этом прибойные явления бывают редко и выражены слабо, особенно в районе точки отбора 0141 [3]. Выделенные в этих осадках комплексы БФ представлены известковыми видами, обычными для условий сублиторали и внутреннего шельфа с нормальной соленостью и хорошей вентиляцией придонных вод [7, с. 215–228]. Агглютинирующие формы встречены только в точках отбора 0140 и представлены видами *Eggerella advena* и *Trochammina inflata*. Их присутствие можно объяснить расположением точки отбора в районе с более активной гидродинамикой.

В точках отбора 0151 и 0153 пробы были взяты в прибрежной зоне восточной части бухты Южная (рис. 1). Максимальное содержание БФ в комплексе из всех изученных отмечено в точке отбора 0151 (1545 экз./50 г сух. ос.), однако видовой состав достаточно беден (7 видов). Доминирующее положение занимают агглютинирующие виды (*Trochammina inflata*, *Ammotium cassis*, *Eggerella advena*), процентное содержание которых составляет 87 %. Секреторные фораминиферы встречены в малом количестве и представлены 3 видами (таблица). На формирование состава комплекса БФ, очевидно, повлияло расположение станции в кутовой части бухты на глубине 13,0 м в зоне слабой гидродинамики. Поставку терригенного материала и органического вещества обеспечивают р. Тимофеевка и небольшие речки, впадаю-

щие в бухту и влияющие также на уровень солености водоема. Такие условия среды благоприятны для жизнедеятельности агглютинирующих фораминифер, толерантных к условиям распреснения. Точка отбора 0153 расположена практически на выходе из бухты Южная южнее м. Орехова. В этом районе наблюдается постоянное поступление насыщенных кислородом водных масс из открытого моря [13], что обеспечивает хорошую сортировку грунтов, представленную хорошо сортированным крупнозернистым песком с галькой. Весь комплекс БФ состоит только из известковых форм, с доминированием эпифаунальных видов, широко распространенных на шельфе: *Cribo-*

elphidium subarcticum (Cushman), *Discobis bradyi* (Cushman), *Canalifera fax* (Nicol), *Quinqueloculina seminulum* (Linneus) (таблица). Агглютинирующие фораминиферы не встречены [14, с. 190].

Влияние антропогенного фактора на бентосные фораминиферы

При изучении комплексов БФ из осадков в точке отбора 0129 (район п. Ракушка) были встречены деформированные формы, указывающие на неблагоприятные условия донной среды [2]. С помощью электронного сканирующего микроскопа с интегрированной системой ЭДС был изучен элементный состав стенок раковин (рис. 3).

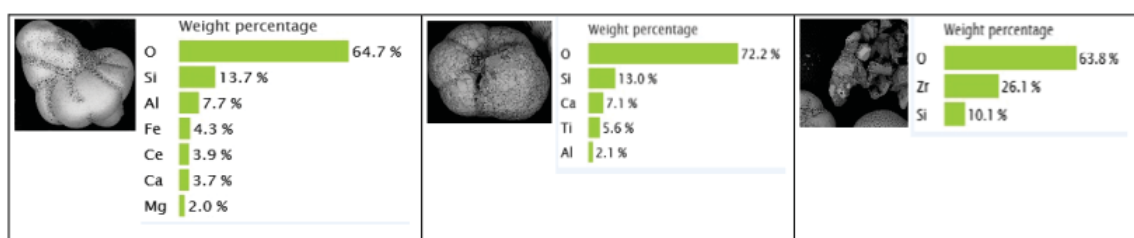


Рис. 3. Примеры элементного состава стенок раковин БФ из осадков прибрежной зоны п. Ракушка

Результаты анализа показали присутствие в стенках раковин элементов, используемых в различных отраслях промышленности, а также в судостроении [5]. В раковинах фораминифер из других районов залива эти элементы обнаружены не были. Ранее проводимые в заливе Владимира комплексные экологические исследования показали, что наибольшие концентрации тяжелых металлов отмечаются в бухте Северной, в районе расположения точки отбора 0129, что хорошо сопоставляется с данными авторов [4, 3]. Причинами такого негативного воздействия на донные экосистемы в этом районе являются вынос сточных вод р. Тумановка, а также деятельность располагавшейся здесь ранее базы подводных лодок.

Заключение

Формирование сообществ БФ в прибрежной зоне залива Владимира происходит в прямой зависимости от природно-экологических факторов среды, а также антропогенного воздействия на акваторию. Экологические предпочтения агглютинирующих фораминифер обусловили их высокое содержание в условиях повышенного содержания органического вещества в заи-

ленных осадках при слабой гидродинамике, что характерно для кутовых частей залива. В зоне активной гидродинамики с хорошей сортировкой грунта отмечается преобладание секреторных видов. Показателем антропогенного воздействия на акваторию является появление деформированных форм БФ, а также элементный состав раковин БФ в комплексах прибрежной зоны п. Ракушка. Вынос сточных вод промышленного и сельскохозяйственного производства, а также деятельность военно-морской базы ТОФ, долгие годы располагавшейся в этом районе, негативно повлияли на естественные условия среды, что отразилось на жизнедеятельности донных организмов. Такая связь делает БФ хорошими индикаторами как природных условий формирования осадка, так и антропогенного влияния на гидрологический режим акватории.

Список литературы

- Murray J.W. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Hardback: University of Southampton, 2006. 440 p.
- Тарасова Т.С., Романова А.В., Плетнев С.П., Аннин В.К. Современные комплексы бентосных фораминифер в бухте Житкова (о. Русский) залива Петра Великого Японского моря // Известия ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 158–167. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-184-158-167.

3. Гальшева Ю.А., Сердюк У.И., Христофорова Н.К. Состав и распределение макробентоса сублиторали залива Владимира Японского моря // Известия ТИНРО. 2018. Т. 192. С. 145–156. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-145-156.
4. Гальшева Ю.А., Пелех А.Д., Бойченко Т.В., Нестерова О.В., Яковлева А.Н. Органическое вещество в экосистеме залива Владимира (Японское море): ресурс питания и возможный фактор экологического риска // Морской биологический журнал. 2023. Т. 8, № 2. С. 18–41. DOI: 10.21072/mbj.2023.08.2.02.
5. Иванова Е.Д. Микрофаунистические исследования в прибрежной зоне залива Владимира (Восточное Приморье) // Геосистемы и их компоненты в Северо-Восточной Азии: эволюция и динамика природных, природно-ресурсных и социально-экономических отношений: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Владивосток, 21–22 апреля 2016 г.). Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 188–192.
6. Жариков В.В., Преображенский Б.В. Ландшафтный мониторинг бухты Алексея залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 2 (10). С. 72–84.
7. Фораминиферы дальневосточных морей СССР. Новосибирск: Наука, 1979. 399 с.
8. Tikhonova A., Merenkova S., Korsun S., Matul A. Image dataset of common benthic foraminiferal taxa in the North Atlantic seafloor surface sediments (59.5°N transect) between the Labrador sea and Faeroe-Shetland sill // Data in Brief. 2019. Vol. 26. 104554. DOI: 10.1016/j.dib.2019.104554.
9. Yanli Lei, Tiegang Li. Atlas of Benthic Foraminifera from China Seas. The Bohai Sea and the Yellow Sea // Springer Geology. 2016. 399 p. DOI: 10.1007/978-3-662-53878-4.
10. Satoshi Hanagata, Takami Nobuhara Illustrated guide to Pliocene foraminifera from Miyakojima, Ryukyu Island Arc, with comments on biostratigraphy // Palaeontologia Electronica. 2015. 18.1.3A. P. 1–140. DOI: 10.26879/444.
11. Foraminifera Database [Электронный ресурс]. URL: <https://foraminifera.eu/> (дата обращения: 19.10.2024).
12. World Foraminifera Database [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marinespecies.org/foraminifera/> (дата обращения: 19.10.2024).
13. Шепель Н.А. Предпосылки к воспроизводству дальневосточного трепанга в заливе Владимира (Японское море) // Вопросы рыболовства. 2009. Т. 10, № 1 (37). С. 92–101.
14. Иванова Е.Д., Жариков В.В., Лебедев А.М. Развитие и распределение фораминиферных сообществ в подводных ландшафтах прибрежной зоны залива Владимира (Среднее Приморье) // География: развитие науки и образования. Ч. I. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXIX Герценовские чтения (Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2016 г.). СПб.: Издательство РГПУ им. А.И. Герцена, 2016. С. 136–140.

УДК 908:504(571.13)
DOI 10.17513/use.38347

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГЕОСИСТЕМЫ ЧЕРНОЛУЧЕНСКО-КРАСНОЯРСКОЙ ЗОНЫ ОТДЫХА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Мезенцева О.В., Павленко А.И.

*ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»,
Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru*

Цель исследования заключается в проведении количественного и качественного анализа геосистемы Чернолученско-Красноярской зоны отдыха Омской области для сохранения фитоценоза и обеспечения рационального использования рекреационного потенциала этой территории. Исходные данные (в частности, показатели деятельности специализированных средств размещения Чернолученско-Красноярской зоны отдыха Омской области) были предоставлены Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики; карта четвертичных образований Чернолученско-Красноярской зоны отдыха; сводный отчет «О результатах полевых обследований особо охраняемых природных территорий регионального значения на соответствие статусу» – Омским филиалом ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу». Использование материалов Федерального агентства лесного хозяйства ФГБУ «Рослесинфорг» (Омский филиал), а также применение картографического и статистического методов позволили получить качественные характеристики, такие как состав флоры и биоразнообразие. Подсчеты и сравнительные анализы площадей лесных насаждений, сети тропинок и живого напочвенного покрова, а также оценка рекреационной нагрузки дали возможность определить стадии дигрессии, установить границы устойчивости и рассчитать критические нагрузки для фитоценозов. Эти данные послужили основой для разработки практических рекомендаций по восстановлению и управлению данной оздоровительной зоной. По итогам работы была создана карта «Рекреационная нагрузка Чернолученско-Красноярской зоны отдыха», на которой обозначены участки с различной плотностью посещаемости (количество посетителей на единицу площади). Также составлена диаграмма «Динамика рекреационной нагрузки Чернолученско-Красноярской зоны отдыха» за период с 1986 по 2023 г. Кроме того, подготовлена таблица «Критерии оценки рекреационных нагрузок и стадии дигрессии в сосняках» на примере базы отдыха «Иртышский».

Ключевые слова: геосистема, динамика, устойчивость, рекреационная нагрузка, стадии дигрессии

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE GEOSYSTEMS OF THE CHERNOLUCHENSK-KRASNOYARSK RECREATION AREA OF THE OMSK REGION

Mezentseva O.V., Pavlenko A.I.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru

The aim of the study is to conduct a quantitative and qualitative analysis of the geosystem of the Chernoluchensko-Krasnoyarsk recreation area of the Omsk region in order to preserve the phytocenosis and ensure rational use of the recreational potential of this territory. The initial data (in particular, the performance indicators of specialized accommodation facilities of the Chernoluchensko-Krasnoyarsk recreation area of the Omsk region) were provided by the Territorial Body of the Federal State Statistics Service. Map of Quaternary formations of the Chernoluchensko-Krasnoyarsk recreation area; summary report “on the results of field surveys of specially protected natural areas of regional significance for compliance with the status” – by the Omsk branch of the Federal Budgetary Institution “Territorial Fund of Geological Information for the Siberian Federal District”. The use of materials from the Federal Forestry Agency of the Federal State Budgetary Institution “Roslesinforg” (Omsk branch), as well as the application of cartographic and statistical methods made it possible to obtain qualitative characteristics such as flora composition and biodiversity. Calculations and comparative analyses of forest areas, path networks and living ground cover, as well as an assessment of the recreational load made it possible to determine the stages of digression, establish stability boundaries and calculate critical loads for phytocenoses. These data served as the basis for developing practical recommendations for the restoration and management of this health resort. Based on the results of the work, a map of the “Recreational Load of the Chernoluchensko-Krasnoyarsk Recreation Area” was created, which shows areas with different visitor density (number of visitors per unit area). A diagram of the “Dynamics of the Recreational Load of the Chernoluchensko-Krasnoyarsk Recreation Area” for the period from 1986 to 2023 was also compiled. In addition, a table of “Criteria for Assessing Recreational Loads and Digression Stages in Pine Forests” was prepared using the Irtyshsky recreation center as an example.

Keywords: geosystems, dynamics, stability, recreational load, stages of digression

Введение

Чернолученско-Красноярская оздоровительная зона (зона отдыха) (ЧКЗО) располагается на территории Западно-Сибирской равнины, в центральной подзоне лесостеп-

ной зоны Омской области в 50–60 км от Омска [1]. Эта зона является одним из немногих мест в пригороде, где организован отдых населения, включая известный курорт «Чернолучье» (рис. 1).

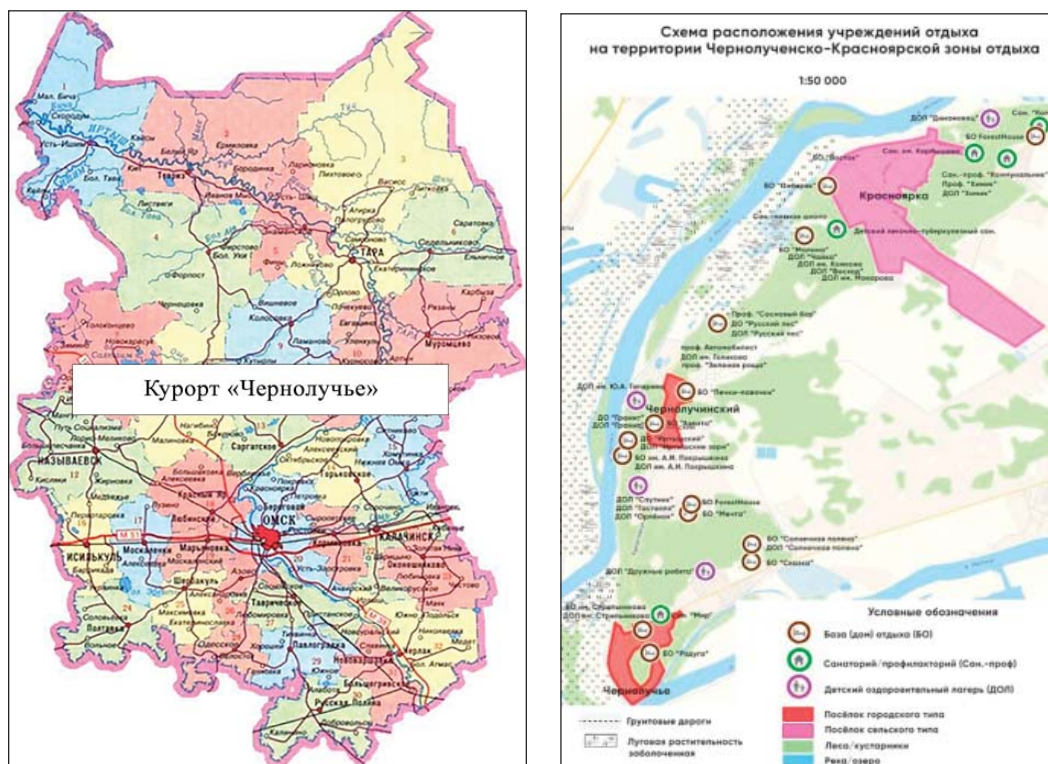


Рис. 1. Чернолуценско-Красноярская зона отдыха, курорт «Чернолучье»
 Источник: составлено авторами по [1]

Чернолуценско-Красноярская зона отдыха обладает уникальными природными лечебными факторами, сочетая в себе водное пространство р. Иртыш, лесные массивы, источники минеральных вод. Является местом для организации бальнеологического и климатического курорта. Здесь созданы условия для лечения пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта, нервной системы и нарушения обмена веществ.

Освоение геосистемы ЧКЗО началось в 1734 г., согласно данным профессора А.Д. Колесникова. Из 466 пашенных крестьян Тарского ведомства 151 чел. проживал в Чернолуценской слободе. Формирование рекреационной системы происходило без учета научно обоснованных рекомендаций, что привело к стихийному размещению объектов и неравномерной нагрузке на различные участки территории.

Целью исследования является проведение количественного и качественного анализа геосистемы ЧКЗО, выявление существующих проблем и разработка практических рекомендаций по эффективному управлению и восстановлению территории оздоровительной зоны.

Материалы и методы исследования

Для определения количественных показателей числа посетителей на единицу площади были использованы материалы и исходные данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики (Омскстат). Для получения качественных характеристик таких, как состав флоры и растительное биоразнообразие, привлекались материалы Федерального агентства лесного хозяйства ФГУП «Рослесинфорг» (Омский филиал).

В исследовании применены картографический и статистический методы. Далее представлен анализ следующих данных: площадь лесных насаждений, площадь сети тропинок, число посетителей на единицу площади, оценка состояния живого напочвенного покрова.

Результаты исследования и их обсуждение

Основная часть территории ЧКЗО занята остатками естественных реликтовых ленточных сосновых лесов, представляющих собой интразональную растительность. Связь реликтового характера данных боров обусловлена расселением сосны

обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в более северные районы после окончания ледниковой эпохи из укрытий, расположенных южнее. На остальных участках преобладают леса, образованные березой бородавчатой или повислой (*Betula pendula*), осинной (*Populus tremula*), рябиной сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухой обыкновенной (*Prunus padus*), боярышником кроваво-красным (*Crataegus sanguinea*), кизильником черноплодным (*Cotoneaster melanocarpus*) и малиной обыкновенной (*Rubus idaeus*) [2] (рис. 2).

Из представленных на рис. 2 данных видно, что площадь курортной зоны с 1926 г. по 2023 г. увеличилась в 4 раза. Основной причиной такого роста стало увеличение числа туристов и возросший интерес к отдыху на природе. Снижение за период с 1986 по 2023 г. площади лесных массивов на 17 % обусловлено сочетанием естественных (таких как лесные пожары и естественное старение) и антропогенных (рекреационная нагрузка) факторов.

В ЧКЗО, по результатам исследований, проведенных в 2023 г. специалистами в области лесного хозяйства и экологии [3], преобладают средневозрастные лесные насаждения, составляющие 89,2 % всех лесных угодий. Среди них доминируют хвойные породы, занимающие 87,9 % от общего объема средневозрастных насаждений, а также мягколиственные породы, составляющие 93,2 % от всех мягколиственных лесонасаждений. Структура леса по возрастам способствует созданию условий для развития лечебно-оздоровительной инфраструктуры, но это станет возможным лишь при соблюдении установленных норм рекреационных нагрузок.

Как видно из диаграммы, оздоровительная зона испытывает значительную рекреационную нагрузку. Если детские лагеря работают только несколько месяцев в году (три-четыре смены), то базы отдыха, санатории и профилактории принимают гостей весь год и привлекают значительное число посетителей [4] (рис. 3).

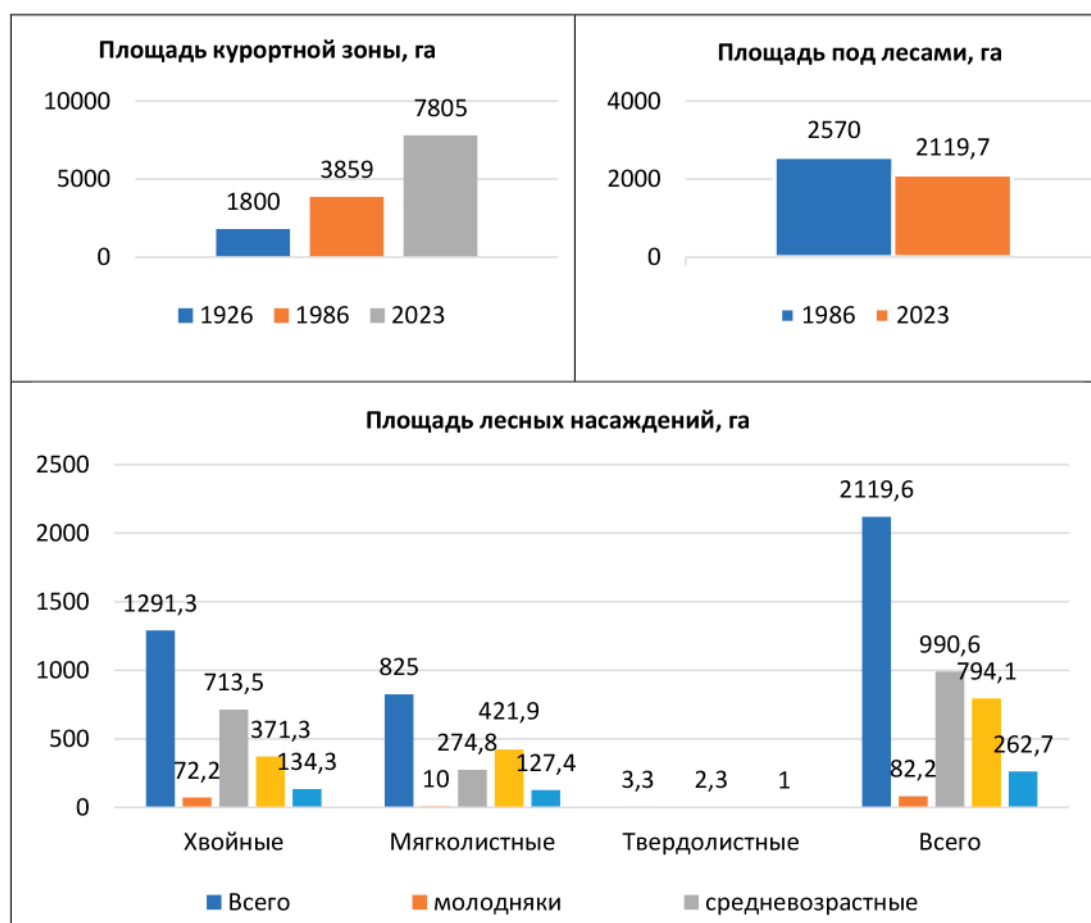


Рис. 2. Распределение площади лесных насаждений ЧКЗО
Источник: оставлено авторами по [3]

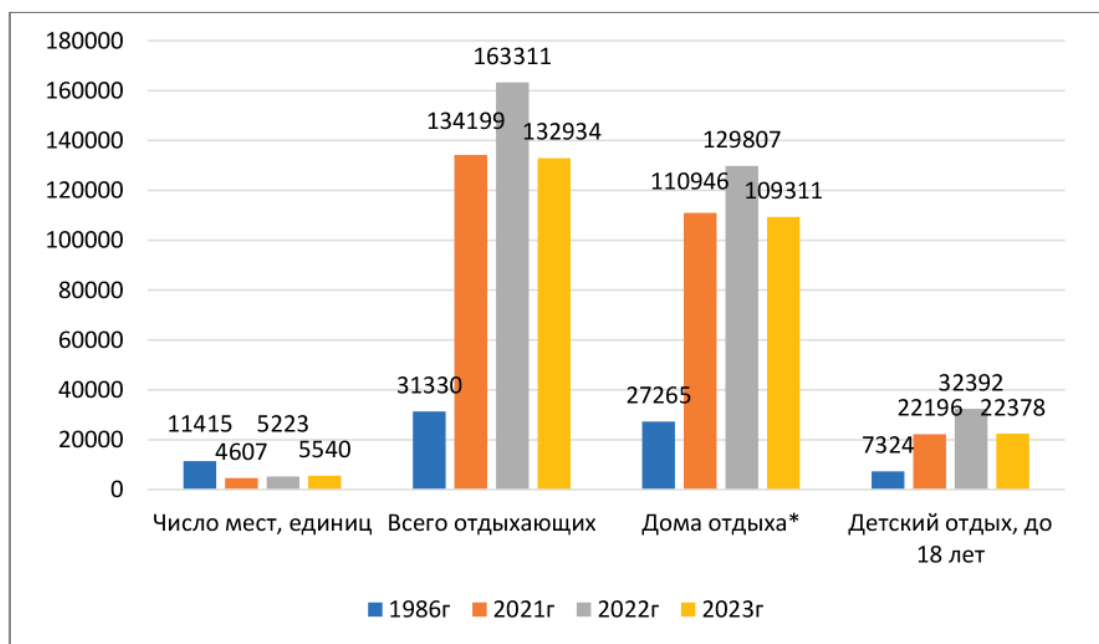


Рис. 3. Динамика рекреационной нагрузки ЧКЗО
Составлено авторами по источнику [4]
* Профилактории, санатории, базы отдыха, турбазы, ДОЛ

Таблица 1

Средний показатель отдыхающих на гектар ЧКЗО в год

Тип учреждения отдыха ¹	Размер земельного участка на 1 место, м ² /га	Среднее значение размера земельного участка на 1 место, м ² /га	Количество человек на 1 га	Вместимость, мест			Количество отдыхающих чел./га, в год ²		
				Количество отдыхающих круглогодично			2021 г.	2022 г.	2023 г.
				2021 г.	2022 г.	2023 г.			
Санатории и профилактории вместимость до 500 мест для взрослых:	150	175	57	1122	1524	2060	330	402	328
для детей:	200			109629	125725	105447			
Базы отдыха: вместимость до 500 мест	110	3462	3677	3456					
Детские оздоровительные лагеря: вместимость до 160 мест	200	162	61	21022	28566	18514			
вместимость до 400 мест	175								

¹Размеры учреждений отдыха, принятые по таблице ВСН 23-75/ Госгражданстрой Инструкция по планировке и застройке курортов и зон отдыха. Инструкция по планировке и застройке курортов и зон отдыха. М.: Госгражданстрой, 1976. С. 12.

² $P = N/\Pi$, где P – рекреационная нагрузка, N – количество отдыхающих в год, Π – площадь участка в га.

Источник: составлено авторами по источнику [4].

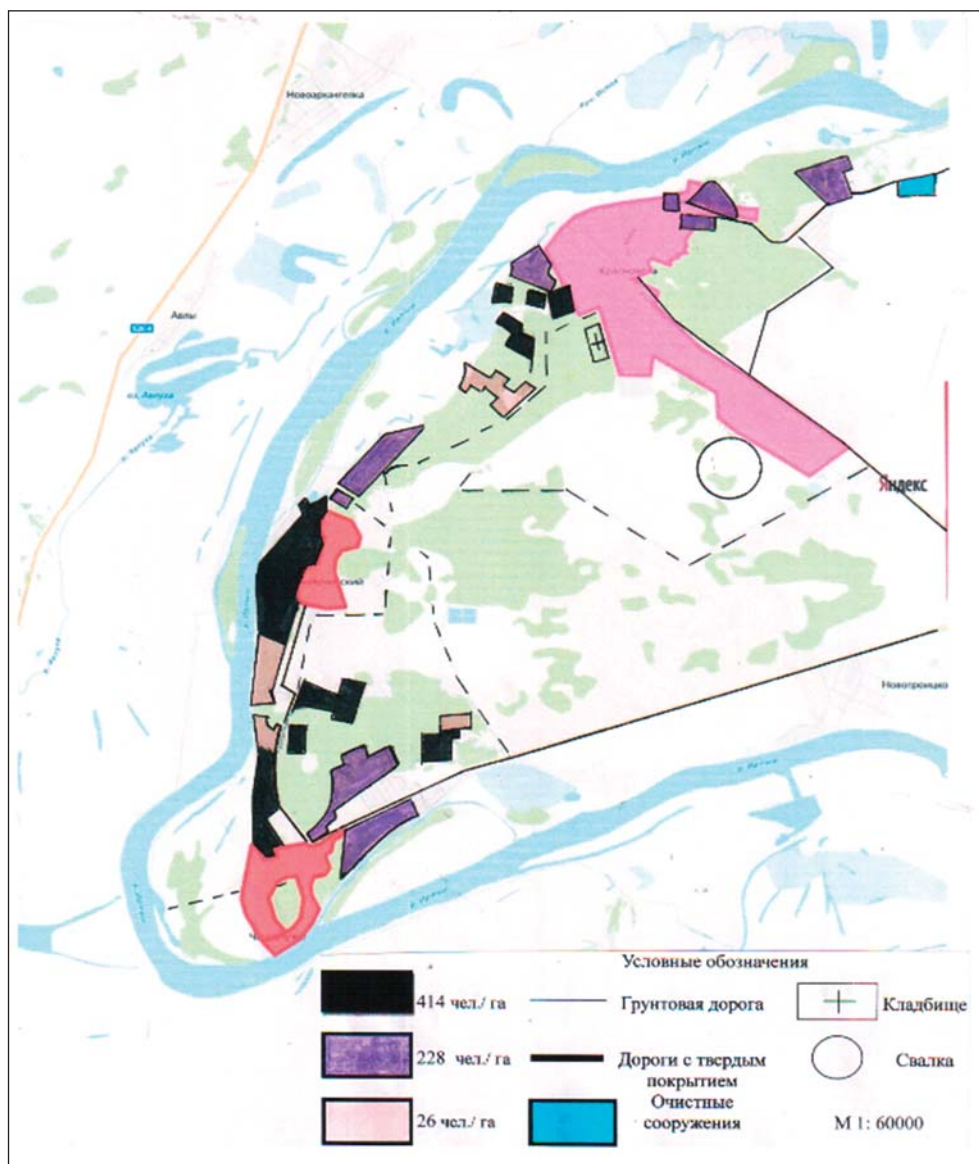


Рис. 4. Рекреационная нагрузка Чернолуценско-Красноярской зоны отдыха
Источник: составлено авторами по [4]

В условиях возрастающего рекреационного давления возрастает важность геоэкологической оценки, которая позволяет получить более полную картину состояния геосистемы (табл. 1).

Максимальная рекреационная нагрузка приходится на береговую полосу и прилегающие к ней участки бора, где плотность посещения достигает более 400 чел./га (рис. 4).

Особенно высокая нагрузка наблюдается в районе узкой зеленой полосы между детским оздоровительным лагерем «Орленок» и профилакторием «Автомобилист». К другим критически загруженным участкам относятся: бор на территории бывшей

базы отдыха «Иртышский», который сейчас заброшен, не охраняется и имеет стихийные дороги и хозяйственные постройки; территории бывших спортивных лагерей институтов в с. Чернолустье. Сравнительно удовлетворительное состояние бора отмечается в районе села Красноярка, где рекреационные нагрузки ниже – около 200–230 чел./га, а уровень благоустройства учреждений отдыха выше (например, санатории «Колос» и «Коммунальник»)

Преимущества метода комплексной оценки рекреационных нагрузок на фитоценозы заключаются в том, что все определяемые критерии отражают степень деградации растительных сообществ (табл. 2).

Таблица 2

Критерии оценки рекреационных нагрузок и стадии дигрессии в сосняках (на примере базы отдыха «Иртышский»)

Площадь сети тропинок S, %	Рекреационная нагрузка, чел./га ¹	Дополнительные критерии		Стадии дигрессии
		Характер троп	Живой напочвенный покров	
15	14–15	Пешеходная тропа шириной 0,7–1,0 м представлена сухой лесной подстилкой из хвои, мелких веток, сосновых шишек сосен, мощностью 5–7 см	Подрост: 2С ² (h ³ – 140–150 см). Малина обыкновенная, кизильник черноплодный, боярышник кроваво-красный; гвоздика игольчатая [6, с. 409], пустырник обыкновенный, пырей ползучий, мятлик луговой, одуванчик, подорожник средний	II
		На данной площадке сеть тропинок отсутствует, 100 % покрытие травой	Подрост: 3С (h – 100–110–112 см). Кизильник черноплодный, малина обыкновенная, шиповник коричный, вейник наземный, купена лекарственная, клевер люпиновый, чина луговая	II–III
40	38–39	Пешеходные тропы шириной 0,4–1,5 м, сухая лесная подстилка из хвои, мелких веток, сосновых шишек, корней сосен, диаметр 4–6 см, мощность 2–3 см	Подрост отсутствует. Кустарники: кизильник черноплодный, шиповник коричный. Возле троп угнетенная растительность из подорожника среднего, клевера ползучего, пастушьей сумки, одуванчика, икотника серого	III–IV
19,2	18–19	Пешеходные тропы шириной 0,7–1,0 м представлены сухой лесной подстилкой из хвои, мелких веток мощностью 3,5–4,5 см. На тропе видны корни диаметром 1–2 см	Подрост отсутствует. Кустарники: кизильник черноплодный, малина обыкновенная. На тропе восстанавливается травянистая флора: одуванчик, пастушья сумка, подорожник средний, василистник малый	IV–III
22,4	21–22	Тропа шириной 0,6–1,0 м лишена растительности, покрыта сухой лесной подстилкой из хвои, сосновых шишек, мелких веток, мощностью 3,1–4 см. На поверхности тропы корни диаметром 3–4 см	Подрост отсутствует. Травяно-кустарниковый покров: кизильник черноплодный, тимофеевка луговая, овсяница овечья, полынь холодная, лебеда, икотник серый, липучка обыкновенная, подорожник средний, пырей ползучий, пустырник обыкновенный, подмаренник северный, клевер ползучий, чина луговая, василистник малый, мятлик луговой	IV
54	52–53	Пешеходная дорога вдоль бортики коренного берега шириной 1,8–2,0 м покрыта сухой лесной подстилкой из хвои, мелких веток, сосновых шишек, мощностью 1,1–2,0 см	Подрост отсутствует. Травяно-кустарниковый покров: кизильник черноплодный, василистник малый, подмаренник северный, люцерна серповидная. Вдоль троп преобладают сорняки: клевер ползучий, подорожник средний, икотник серый, одуванчик, лебеда, костер, полынь холодная	VI–V

¹P = K/Π, где P – рекреационная нагрузка на тропях, K – количество отдыхающих на гектар, Π – процент площади троп от гектара.

²В лесной таксации и лесоустройстве используются различные обозначения для характеристики лесов. «2С» при учете подроста означает: 2 – количество подроста, С – обозначение породы дерева, в данном случае сосны.

³В лесной таксации и лесоустройстве буква h используется для обозначения высоты деревьев. Составлено авторами по источнику [5].

Площадь стихийно образовавшихся троп является ключевым показателем для оценки рекреационной нагрузки и стадий дигрессии леса. Установлена прямая связь между площадью сети тропинок и уровнем рекреационного антропогенного воздействия. Степень рекреационных нагрузок рассчитывалась по стандартной методике, учитывающей такие параметры, как количество отдыхающих (число людей, которые посещают данную территорию в течение года), площадь участка (размер территории, выраженный в гектарах).

Живой напочвенный покров очень чувствителен к вытаптыванию. В травянистой растительности соснового бора доминируют сорные виды, такие как подорожник средний, одуванчик лекарственный, клевер ползучий и пастушья сумка, которые становятся все более многочисленными по мере увеличения площади уплотненной почвы [6]. На участках с рекреационными нагрузками 18–22 чел./га наиболее устойчивыми к уплотнению почвы и механическим повреждениям оказались луговые виды, лесные злаки и осоки; покрытие ими остается довольно высоким. Лесные и лесолуговые растения, такие как купена лекарственная, подмаренник северный, люцерна серповидная, василистник малый, чина луговая, менее устойчивы к рекреационным нагрузкам и встречаются редко. Под влиянием рекреационных нагрузок снижается мощность лесной подстилки. Установлена обратная зависимость между рекреационным давлением и толщиной лесной подстилки. Подрост и подлесок повреждаются и уничтожаются, особенно при высоких нагрузках (18–19 чел./га), когда подрост полностью исчезает. Он сохраняется лишь в густых биологических группах.

В результате исследований были выделены 4 из 5 стадий дигрессии, каждой из которых соответствуют определенные уровни рекреационной нагрузки [7]. Однако на исследуемой территории первая стадия дигрессии не была зафиксирована, что свидетельствует о том, что процесс деградации фитоценоза уже достиг более поздних стадий. Граница экологического равновесия фитоценоза проходит между III и IV стадиями рекреационной дигрессии. Следовательно, нагрузки, соответствующие верхней границе III стадии дигрессии (18–19 чел./га), можно рассматривать как критические. На II и III стадиях дигрессии изменения живого напочвенного покрова незначительны, про-

цесс деградации фитоценоза еще обратим. Для поддержания и повышения устойчивости таких насаждений важно проводить лесовосстановительные работы. На IV и V стадиях дигрессии, характеризующихся отсутствием подроста и увеличением обилия сорных видов, необходимо принять восстановительные меры: ограничить свободный доступ к зеленым насаждениям, проложить дорожную сеть с улучшенным покрытием, защитить редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды и их местообитания, провести реконструкцию древостоев с созданием искусственных лесных формаций, огородить и замульчировать отдельные участки.

Заключение

В рамках исследования геосистемы ЧКЗО были составлены карты, таблицы и диаграммы, позволяющие дать комплексную геоэкологическую оценку воздействия на растительность курортной зоны, определить стадии дигрессии и критические рекреационные нагрузки. Для сосняков, например, на базе отдыха «Иртышский» критическая нагрузка составляет 18–19 чел./га. Планирование геоэкологических и лесохозяйственных мероприятий зависит от степени рекреационного воздействия и стадии дигрессии леса.

Комплексный мониторинг состояния геосистемы Чернолученско-Красноярской зоны отдыха следует осуществлять каждые 3–5 лет. Мониторинг должен включать оценку биоразнообразия, влияние рекреационной нагрузки, определение уровня деградации, оценку эффективности восстановительных мер и естественных процессов восстановления. Эти программы мониторинга помогут своевременно выявлять проблемы и разрабатывать эффективные меры для их решения, обеспечивая комфортные условия для отдыха.

Список литературы

1. Постановление Главы администрации Омской области от 08 декабря 1992 г. № 408-п «О Чернолученско-Красноярской оздоровительной зоне» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/15504823/> (дата обращения: 09.10.2024).
2. Сводный отчет «О результатах полевых обследований ООПТ регионального значения на соответствие статусу, указанному в нормативно-правовых актах» / Министерство промышленной политики, транспорта и связи Омской области ФГУ «ТФИ по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по Омской области». ФГОУ ВПО ОмГАУ. Омск, 2007. С. 108–129. [Электронный ресурс]. URL: https://omsktfti.ru/?option=com_content&view=article &id=39:oopt1&catid=101:oopt&Itemid=353 (дата обращения: 09.10.2024).
3. Отчет о результатах деятельности Главного управления лесного хозяйства Омской области за 2023 год [Элек-

тронный ресурс]. URL: <https://gulh.omskportal.ru/oiv/gulh/otrasl/otchet> (дата обращения: 09.10.2024).

4. Реестр организации отдыха детей и их оздоровления на территории Омской области на 2024 год [Электронный ресурс]. URL: https://mszhk.omskportal.ru/oiv/mdms/otrasl/inf-sistem?ysclid=lzi20ikv_51464580159 (дата обращения: 09.10.2024).

5. Павленко А.И. Естественное восстановление рекреационных участков леса Чернолученско-Красноярской зоны отдыха // Ratio et Natura. 2024. № 3 (11). URL: <https://ratio-natura.ru/sites/default/files/2024-09/metodika-i-rezultaty-issledovaniy-raznotravno-zlakovogo-bereznyaka-na-territorii-chnoluchensko-krasnoyarskoy-zony-otdykha.pdf> (дата обращения: 09.10.2024).

6. Павленко А.И. Влияние рекреационной нагрузки на видовой состав растений Чернолученско-Красноярской зоны // Омский научный вестник. 2023. № 2 (8). URL: <https://ratio-natura.ru/sites/default/files/2023-08/vliyaniye-rekreacionnoy-nagruzki-na-vidovoy-sostav-rasteniy-chnoluchensko-krasnoyarskoy-zony.pdf> (дата обращения: 09.10.2024).

7. Матвеев С.М., Мироненко А.В., Тимашук Д.А. Лесоводственный и дендро-климатический анализ искусственных сосновых фитоценозов, подверженных рекреационной дигрессии в пригородной зоне г. Воронежа // Журнал Сибирского федерального университета. 2015. Серия Биология. № 4. С. 410–425. URL: <http://journal.sfu-kras.ru/article/19994> (дата обращения: 09.10.2024).

УДК 91:502.7(571.56)
DOI 10.17513/use.38348

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

Николаева Н.А.

*ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru*

Цель работы – формирование показателей оценки экологического воздействия объектов энергоснабжения арктических территорий Якутии на природную среду. Применение методики геоэкологического подхода позволило провести группирование показателей оценки взаимодействия объектов энергоснабжения и природной среды: воздействия объектов энергетики на компоненты природы; изменений в них и степени устойчивости ландшафтов бассейнов арктических рек. Анализ информации по показателям загрязнений атмосферы и водных ресурсов показал, что степень их трансформации зависит от степени количественного и качественного воздействия объектов энергетики и от степени устойчивости природных комплексов. Показано, что экологическое воздействие энергисточников в целом незначительно – выбросы и сбросы загрязняющих веществ в атмосферу и водную среду не превышают нормируемых показателей. Определено, что уровень изменения основных компонентов ландшафтов водной и воздушной сред зависит как от степени воздействия, мощности и интенсивности выбросов и сбросов, так и от природной устойчивости самих ландшафтов. Показателем природных условий территории изучения является устойчивость ландшафтов, оценка которых была определена по их мерзлотным и биогидроклиматическим показателям. Выявлены крайне низкая и низкая степени устойчивости северных ландшафтов к техногенным воздействиям. Составленная в результате исследования экологическая карта ландшафтов арктической зоны Якутии дает возможность выбора направлений рационального природопользования и охраны изучаемого региона.

Ключевые слова: Арктика, энергетика, ландшафты, воздействие, изменения, показатели, устойчивость

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWRS-2024-0031 «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных энергетических систем в труднодоступных изолированных территориях Севера и Арктики».

FORMATION OF INDICATORS FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE ENERGY SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA ON THE NATURAL ENVIRONMENT

Nikolaeva N.A.

*V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru*

The aim of the work is to form indicators for assessing the environmental impact of energy supply facilities in the Arctic territories of Yakutia on the natural environment. The application of the geoecological approach methodology made it possible to group indicators for assessing the interaction of energy supply facilities and the natural environment: the impact of energy facilities on natural components; changes in them and the degree of stability of landscapes in the Arctic river basins. An analysis of information on indicators of atmospheric and water pollution showed that the degree of their transformation depends on the degree of quantitative and qualitative impact of energy facilities and on the degree of stability of natural complexes. To collect indicators of changes in natural components, an analysis of data on changes in the air and water environments was carried out in comparison with indicators of their standard states. It has been shown that the environmental impact of energy sources is generally insignificant – emissions and discharges of pollutants into the atmosphere and aquatic environment do not exceed standard indicators. It has been determined that the level of change in the main components of landscapes of water and air environments depends both on the degree of impact, power and intensity of emissions and discharges, and on the natural stability of the landscapes themselves. The indicator of natural conditions of the study area is the stability of landscapes, the assessment of which was determined by their permafrost and biogidroclimatic indicators. Extremely low and low degrees of stability of northern landscapes to man-made impacts were revealed. The ecological map of landscapes of the Arctic zone of Yakutia compiled as a result of the study makes it possible to choose the directions of rational nature management and protection of the studied region.

Keywords: Arctic, energy, landscapes, impact, consequences, indicators, stability

The work was carried out within the framework of the state assignment project FWRS-2024-0031 “Comprehensive studies of priorities for the development of energy in the Republic of Sakha (Yakutia), taking into account the impact on the environment and the development of methods and techniques for increasing the energy efficiency and reliability of local energy systems in hard-to-reach isolated areas of the North and the Arctic”.

Введение

В современных социально-экономических условиях одним из ключевых стратегических направлений развития Азиатского Севера РФ является разработка потенциала экспортноориентированных минерально-сырьевых ресурсов Арктической зоны Республики Саха (Якутия), которая происходит в труднодоступных районах с суровым климатом и является экологически рискованным видом природопользования.

На территории Арктической зоны расположены месторождения многих полезных ископаемых: золота, серебра, редкоземельных металлов, россыпей алмазов на реках Анабар, Оленек, Молодо [1], а также обширных запасов многих других полезных ископаемых. Для освоения месторождений предполагается усовершенствование существующей энергоснабжающей инфраструктуры, диверсификация схем электроснабжения и формирование альтернативных источников энергии.

Важнейшим аспектом освоения минерально-сырьевых ресурсов региона и их энергоснабжения является экологическая безопасность, что связано со значительным воздействием на окружающую среду на слабоустойчивые северные ландшафты и требует проведения анализа и научной оценки современного состояния природной среды и экологических последствий. Необходимость минимизации негативных последствий обуславливает необходимость поиска различных направлений методических подходов и их совершенствование. Это диктует необходимость разработки набора показателей, включение которых в комплексную оценку схем энергоснабжения позволит принять обоснованное рациональное решение перспективного развития конкретных объектов.

Для решения этих задач предлагается применение геоэкологических методов исследования, а именно комплексного геоэкологического подхода, располагающего ландшафтной методикой, позволяющей установить механизм взаимосвязи между компонентами геосистемы [2, с. 33], произвести геоэкологическую оценку территорий с антропогенной нагрузкой [3], а также применить принципы концепции геотехнических систем, обеспечивающие изучение взаимодействия объектов энергетики с природной средой [4].

В связи со значительным количеством различных проявлений взаимодействия технических сооружений с природной средой возникает необходимость группирования

набора показателей оценки экологического воздействия на природную среду энергосистемы арктических территорий Якутии.

Разработка набора показателей и включение их в комплексную оценку схем энергоснабжения позволит принять обоснованное и рациональное решение перспективного развития конкретных объектов.

Характеристика энергосистемы арктической зоны Республики Саха (Якутия)

Арктическая зона Республики Саха (Якутия) охватывает 13 районов (улусов) республики: Абыйский, Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский, Момский, Нижнеколымский, Оленёкский, Среднеколымский, Усть-Янский, Эвено-Быгантайский.

Эти районы, входящие в состав Северного энергорайона Якутии, наряду с другими северными районами относятся к децентрализованной зоне энергоснабжения. Основным источником энергоснабжения здесь являются изолированные локальные дизельные электростанции. Суммарная установленная электрическая мощность электростанций Арктической зоны составила на 01.01.2020 более 167,2 МВт [5]. Объекты энергоснабжения состоят из 166 электростанций, из которых 135 дизельных, 3 газопоршневых, 4 газотурбинных. В п. Депутатском функционирует единственная мини-ТЭЦ на угле мощностью 7,5 МВт. Кроме того, функционируют 23 возобновляемых энергоисточника суммарной мощностью 2602 кВт, из которых 21 составляют солнечные электростанции (СЭС) суммарной мощностью 1662 кВт и 2 ветроэлектростанции (ВЭС) суммарной мощностью 940 кВт [6]. В 2021 г. запланировано строительство возобновляемых источников энергии 6 солнечных электростанций суммарной мощностью 3343 кВт и две СЭС суммарной мощностью 125 кВт с накопителями энергии [5].

Целью исследования является формирование показателей оценки экологического воздействия объектов энергоснабжения арктических территорий Якутии на природную среду.

Материалы и методы исследования

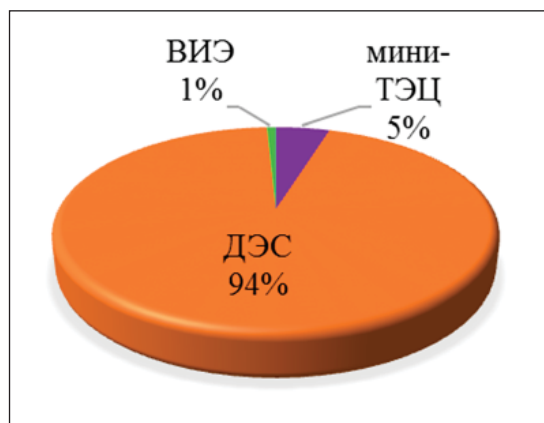
Путем применения геоэкологического подхода было проведено группирование показателей, раскрывающих процессы трансформации природной среды под влиянием техногенной деятельности для оценки экологического воздействия энергосистемы

бассейнов р. Яна, Индигирка, Колыма и для обоснования направлений снижения негативного воздействия при разработке и освоении минерально-сырьевых ресурсов.

Использованы методы ландшафтного анализа, комплексного географического подхода, концепции геотехнических систем, сравнительный, статистический, картографический, оценочный методы. Также применены данные наблюдений ФБГУ ЯУГМС (Федерального бюджетного государственного управления Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Результаты исследования и их обсуждение

Были сгруппированы показатели воздействия на природную среду существующих стационарных источников энергии, представленных в основном ДЭС, ТЭЦ, угольным разрезом в п. Депутатский: объемы и состав выбросов в атмосферу загрязняющих веществ; показатели химического загрязнения поверхностных вод от различных источников, объемы и состав поступающих в природу загрязняющих веществ от развешивания отходов, отвалов, шламохранилища. При этом наибольшее воздействие на природную среду приходится на дизельные электростанции [7], а другие источники энергии, включая ТЭЦ, угольный разрез, а также альтернативные (СЭС и ВЭУ), оказывают незначительное воздействие на экологическое состояние природной среды (рисунк).



Структура установленной электрической мощности электростанций в арктической зоне

Показателями воздействия на воздух являются выбросы загрязняющих веществ в Нижне-Колымском, Момском, Абыйском, Верхоянском, Аллаиховском, Среднеколымском, Верхнеколымском, Усть-Янском улусах от функционирования 215 дизельных энергетических установок, которые оказывают локальное воздействие на окружающую среду. Поскольку на изучаемой территории систематический контроль за загрязнением атмосферного воздуха не ведется, то объемы максимальных и валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от ДЭУ были подсчитаны в соответствии с требованиями методики [8]. В табл. 1 приведены суммарные сведения о выбросах загрязняющих веществ по районам.

Таблица 1

Суммарные выбросы загрязняющих веществ от дизельных установок по арктическим районам за 2000–2005 и 2014–2018 гг.

Выбросы	Нижнеколымский	Аллаиховский	Момский	Среднеколымский	Абыйский	Верхнеколымский	Верхоянский	Усть-Янский
Оксид углерода	5,48	18,79	12,32	19,18	1,15	20,95	16,4	29,14
Оксид азота	8,49	57,38	19,19	30,06	1,77	32,76	25,97	45,64
Углеводороды	2,57	8,62	3,99	7,06	0,54	9,68	7,46	14,00
Сажа	0,45	1,35	0,91	1,39	0,09	1,55	1,10	10,38
Диоксид серы	1,06	4,94	2,78	4,52	0,22	4,73	4,28	6,77
Формальдегид	0,13	0,35	0,33	0,50	0,02	0,4	0,30	0,57
Бензапирен	1,06	3,78	2,44	3,87	0,22	4,12	3,40	6,18

Таблица 2

Оценка степени загрязнения воды рек Яна, Индигирка и Колыма

Годы	Оценка качественного состояния вод бассейнов исследуемых рек Арктики								
	Р. Яна			Р. Индигирка			Р. Колыма		
	Класс	Разряд	Степень загрязнения	Класс	Разряд	Степень загрязнения	Класс	Разряд	Степень Загрязнения
2009	4	а	грязная	4	а	грязная	3	а	загрязненная
2010	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2011	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2012	3	б	очень загрязненная	3	б	очень загрязненная	2	–	слабо загрязненная
2013	4	а	грязная	4	а	грязная	3	а	загрязненная
2015	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2016	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2017	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	б	очень загрязненная
2018	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	б	очень загрязненная
2019	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	б	очень загрязненная
2020	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2021	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2022	4	а	грязная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная
2023	3	б	очень загрязненная	3	б	очень загрязненная	3	а	загрязненная

В целом можно заключить, что с каждым годом постепенно происходит небольшое увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в связи с увеличением расхода дизельного топлива.

Гидрохимическое состояние воды исследуемых рек дано на основе статистической обработки данных гидрохимической сети наблюдений ФБГУ ЯУГМС [9] и оценено на основе значений УКИЗВ (удельного комбинаторного индекса загрязненности воды), что позволяет подразделить качество поверхностных вод на 5 основных классов и 6 разрядов в зависимости от степени их загрязненности [9]. Характерными загрязняющими веществами бассейнов северных рек являлись органические вещества по ХПК (химическому потреблению кислорода) и БПК₅ (биохимическому потреблению кислорода в течение 5 суток), соединения меди, железа, цинка, марганца, фенолы, нефтепродукты, ртути [9]. Собранные данные были сопоставлены с предельно до-

пустимыми концентрациями нормируемых веществ, что отражает отклонения от этих нормативов. Степень измененности природы определена на основе сравнения ее с базовым или фоновым состоянием. Общая характеристика загрязненности рек приведена из [9] и отражена в табл. 2.

Оценка природных условий территории Якутии для целей развития энергетики должна базироваться на понятиях об устойчивости ландшафтных комплексов в условиях техногенного воздействия, определяемой характером техногенных воздействий и свойствами ландшафтов. Так, устойчивость ландшафтов бассейнов изучаемых рек оценена по их мерзлотным и биогидроклиматическим показателям с использованием балльного метода.

Основой методики оценки степени устойчивости ландшафтных комплексов явился расчет устойчивости северных ландшафтов [10] с применением карты Республики Саха (Якутия) [11]. В результате

оценки определено, что степень устойчивости северных ландшафтов закономерно согласуется с их широтно-зональным и высотно-поясным распространением. Выявлено, что преобладающая часть ландшафтов арктической территории Якутии является неустойчивой. Так, оценка ландшафтов бассейна р. Яны показала, что тундровая ландшафтная провинция с низкотеррасовым ландшафтом поймы в устье, относящаяся к субарктическим и арктическим тундрам, определена как природный комплекс крайней степени неустойчивости. Горнотундровая, а также моренная провинции с преобладанием горноредколесных ландшафтов и заболоченные редколесья речных долин отнесены к неустойчивым. Среднегорная провинция с горнотундровыми и горноредколесными ландшафтами, представленная горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика, определена как относительно неустойчивая [12].

В бассейне р. Индигирки крайне неустойчивой к внешним воздействиям явилась озерно-термокарстовая ландшафтная провинция с арктическими тундрами. К неустойчивым отнесены также горнотундровая и горноредколесная озерно-термокарстовая и низкогорная провинции. Среднегорная горнотундровая и горноредколесная северотаежная ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые [13].

Устойчивость ландшафтов бассейна р. Колымы оценена таким образом, что наиболее неустойчивыми по сумме баллов явились провинции, относящиеся к субарктическим и арктическим тундрам, горным тундрам и лесотундрам: озерно-термокарстовые, тундровая низкогорные. Горноредколесные и подгольцово-редколесные плоскогорная, низкогорная и среднегорная провинции являются слабоустойчивыми, а занимающая наиболее южную часть бассейна р. Колымы северотаежная низкогорная провинция имеет среднюю степень устойчивости к антропогенным [14].

Заключение

Разработаны показатели, характеризующие экологические последствия, необходимые для комплексной оценки воздействия объектов энергоснабжения на природную среду при освоении минерально-сырьевых ресурсов в арктическом секторе Республики Саха (Якутия). Использование геоэкологического подхода позволило дать количественные оценки эмиссии загрязняющих

веществ в основные элементы природной среды – в атмосферу и водные объекты и произвести экологическую оценку изменения состояния природной среды в результате функционирования объектов энергетики для условий Арктики.

Определено, что степень изменения водной и воздушной сред зависит от степени техногенного воздействия и устойчивости ландшафтов. Степень устойчивости ландшафтов обусловлена соотношением криогенных и биогидроклиматических условий, являющихся основными факторами ландшафтообразования в каждом природном комплексе.

Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от дизельных электростанций не превышают предельных концентраций, но с каждым годом отмечается небольшое увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в связи с увеличением расхода дизельного топлива. Сбросы сточных вод объектов энергоснабжения в бассейны изучаемых рек не являются существенным фактором техногенного влияния на качество воды, хотя вносят определенный вклад в загрязнение вод. К основным загрязнителям относятся производственные сбросы горнодобывающих предприятий и хозяйственно-бытовые стоки населенных пунктов. Характерными загрязняющими веществами бассейна являются органические вещества по ХПК и БПК₅, соединения меди, железа, цинка, марганца, фенолы, нефтепродукты, ртути.

Одним из основных факторов риска при освоении минерально-сырьевых ресурсов Арктики является низкая степень устойчивости ландшафтов. Оценка степени устойчивости ландшафтов бассейнов р. Яны, Индигирки и Колымы позволила определить, что в целом все ландшафтные провинции неустойчивы. Крайней степенью неустойчивости обладают арктические и субарктические тундры и горные тундры. Таким образом, основным фактором риска является низкая устойчивость северных ландшафтов, что определяет дальнейшее изучение влияния энергетических объектов на состояние природных ландшафтов Арктики.

Результаты могут быть востребованы при разработке комплексной оценки схем энергоснабжения арктических территорий РФ, выдаче рекомендаций республиканским органам власти, горнодобывающим предприятиям и энергетическим компаниям при планировании развития территории и регламентации хозяйственной деятельности.

Список литературы

1. Роднина Н.В. Арктическое оленеводство Якутии в условиях промышленного освоения территории: конфликт интересов или перспективы для сотрудничества // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12, № 1. С. 140–151.
2. Сочава В.Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Избранные труды. Новосибирск: Наука, 1986. 344 с.
3. Платонова С.Г., Стрельникова Т.О., Скрипко В.В., Адам А.А., Цимбалай Ю.М. Геоэкологическая оценка районов угледобычи на примере Новокузнецкого района Кемеровской области // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 156–167.
4. Исаев С.В. Концепция геотехнических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 105–113. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-3-105-113.
5. Иванов А.В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 13. С. 62–80. DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
6. Шакиров В.А., Тугузова Т.Ф., Муzychук Р.И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. 2020. № 4 (40) С. 106–114. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116.
7. Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Тугузова Т.Ф., Шакиров В.А., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Факторы, влияющие на эффективность использования ветропотенциала в локальной энергетике Якутии // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017. № 1. С. 84–92.
8. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок. СПб., 2001. 14 с.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Саха (Якутия) за 2005–2023 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/doki/doklady-o-sostojanii-okruzhajuschej-sredy> (дата обращения: 12.10.2024).
10. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
11. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
12. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 79–84. DOI: 10.17513/use.37201.
13. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна реки Индигирка к антропогенному воздействию // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 59–64. DOI: 10.17513/use.37686.
14. Nikolaeva N.A. Landscape approach towards developing nature-preserving measures in the pool of the river Kolyma of Sakha Republic (Yakutiya) // European Journal of Natural History. 2013. № 2. P. 70–71.

УДК 910.3:504.436(470.325)
DOI 10.17513/use.38349

ОХРАНЯЕМЫЕ РОДНИКИ ИВНЯНСКОГО И ПРОХОРОВСКОГО РАЙОНОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ИХ СТАТУСА

Новых Л.Л., Орехова Г.А., Гайденок Е.М., Новых И.Е.

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

Цель исследования – описание современного состояния охраняемых родников двух административных районов Белгородской области, определение их соответствия критериям памятников природы регионального значения и рекреационного потенциала этих объектов. Ивнянский и Прохоровский районы области граничат между собой, но различаются по своим геоэкологическим и культурно-историческим особенностям. В ходе мониторинговых исследований проведены повторная паспортизация родников, определение их санитарно-технического состояния, соответствия критериям памятников природы регионального значения и рекреационной привлекательности. В ходе выполнения работы предложены варианты совершенствования паспорта родника для целей описания рекреационных особенностей источников. Установлено, что охраняемые родники Ивнянского района преимущественно малоледобитные и неиспользуемые, имеют среднюю или низкую рекреационную привлекательность. В Прохоровском районе преобладают высокодебитные охраняемые родники, они активно используются для различных видов деятельности и характеризуются высокой рекреационной привлекательностью, поэтому являются перспективными для дальнейшей охраны. В исследуемых районах необходимо корректирование существующей сети особо охраняемых природных территорий в разделе «памятники природы – родники». По итогам проведенной работы даны конкретные предложения о направлениях такого совершенствования. Представленная статья продолжает серию публикаций по оценке охраняемых родников Белгородской области.

Ключевые слова: Белгородская область, Ивнянский район, Прохоровский район, родник, памятник природы, паспорт родника, рекреационная привлекательность родников

PROTECTED SPRINGS OF IVNYANSKY AND PROKHOROVSKY DISTRICTS IN BELGOROD REGION AND PROSPECTS FOR MAINTAINING THEIR STATUS

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

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

The purpose of the study is to characterize the current state of protected springs in two administrative districts of the Belgorod region, determine their compliance with the criteria of natural monuments of regional significance and assess the recreational potential of these objects. Ivnyansky and Prokhorovsky districts border each other, but differ in geocological and cultural-historical characteristics. In the course of monitoring studies, a repeated passportization of springs was carried out, their sanitary and technical condition, compliance with the criteria of natural monuments of regional significance and recreational attractiveness were assessed. Options for improving the passport of springs in order to describe the recreational features of the sources are proposed. It was found that the protected springs of the Ivnyansky district are predominantly low-flow and unused, have average and low recreational attractiveness. On the contrary, in the Prokhorovsky district, high-flow protected springs predominate, which are actively used for various activities and are characterized by high recreational attractiveness, which makes them promising for further protection. It is necessary to adjust the existing network of specially protected natural areas in the areas under study in the section “natural monuments – springs”. Based on the results of the work, specific proposals were made on the directions of such improvement. The presented article continues a series of publications on the assessment of protected springs in the Belgorod region.

Keywords: Belgorod region, Ivnyansky district, Prokhorovsky district, spring, natural monument, spring passport, recreational attractiveness of springs

Введение

В течение ряда лет авторы занимаются изучением родников Белгородской области, что позволяет уверенно утверждать о росте числа публикаций, посвященных различным аспектам использования и оценки состояния родников. В то же время многочисленные результаты показывают, что повсеместно происходит антропогенная

деградация родников, уменьшение их количества и снижение качества; это отмечается не только российскими, но и зарубежными исследователями [1–3]. В связи с этим звучат призывы признать родники особой группой экосистем, которая требует пристального внимания к ее сохранению [4].

В настоящее время повсеместно растет рекреационная популярность родников, все

чаще в их окрестностях создают зоны отдыха и социокультурные комплексы. Согласно опубликованным данным [5], родники повышают геотуристический потенциал территории, а для оценки такого потенциала необходимо использовать не только параметры самого родника, но и его вовлеченность в локальную рекреационную программу, то есть значимость объекта для местного населения.

В качестве рекреационных объектов часто выступают родники, которые относятся к памятникам природы. В Белгородской области авторами давно выявлена проблема неравномерного распределения охраняемых родников по территории, которое не может быть объяснено только природными особенностями отдельных районов. Однако эта проблема до сих пор не решена, поэтому приходится обращаться к обоснованию необходимости выявления тех родников, которые соответствуют статусу памятников природы регионального значения, особенно в тех районах, в которых такие памятники природы до сих пор отсутствуют [6].

В одной из работ указывается, что памятник природы регионального уровня значимости должен иметь буферную зону, измеряемую сотнями метров, а родниковедческий (местный) уровень включает минимальное использование ресурсов родника и практически полное отсутствие буферной зоны [7]. Если исходить из таких критериев, родники могут быть памятниками природы как регионального, так и местного уровня.

Однако совершенствование сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) области не привело к разделению охраняемых природных комплексов и объектов в Белгородской области по значению на региональные и муниципальные [8].

Авторы считают, что на территории области могут быть родники, относящиеся как к местным, так и к региональным памятникам природы. Очевидно, что критерии их отнесения к той или иной группе должны отличаться. Важной современной задачей совершенствования сети ООПТ области является выявление соответствия существующих охраняемых родников критериям памятников природы регионального значения и мониторинг их состояния.

Цель исследования – анализ современного состояния охраняемых родников Ивнянского и Прохоровского районов Белгородской области и оценка их соответствия критериям памятников природы регионального значения.

Материалы и методы исследования

Мониторинг состояния родников исследуемых районов авторы проводят с 2005 г. За это время охраняемые родники были обследованы по 5–6 раз, что позволяет устанавливать тенденции изменения их состояния. В 2024 г. было проведено очередное обследование охраняемых родников северной части области, в ходе которого было зафиксировано изменение состава охраняемых родников в соответствии с [8]. В региональную сеть ООПТ в настоящее время входят 4 родника в Ивнянском районе и 5 родников в Прохоровском. Ранее в Прохоровском районе было 6 родников – памятников природы, но источник «Исток притока р. Донецкая Сеймица» в х. Гремучий был выведен из состава ООПТ. В своем исследовании авторы рассматривают этот родник, чтобы определить целесообразность его исключения из разряда памятников природы.

Основные методы исследования, использованные в работе, – теоретический анализ, экспедиционный, описания, измерения, сравнительный анализ.

Паспортизация родника – оформление документа, содержащего информацию о роднике. ГОСТа содержания паспорта родника не существует, поэтому предлагаются разные варианты. Наиболее полной и научной, по мнению авторов, является схема паспорта, опубликованная В.М. Швеца с соавт. [9, с. 157], которую мы используем в своих исследованиях.

Санитарно-техническое состояние родника (СТСР) включает в себя следующие параметры: техническое состояние каптажа (ТСК), санитарное состояние родника (ССР), санитарное состояние области питания (ССОП). Показатель учитывает техническую оборудованность родника, состояние территории, непосредственно прилегающей к роднику, и загрязненность водосбора [9, с. 126–128].

При выделении памятников природы используются три группы факторов: решающие, позволяющие отнести природный объект к разряду памятников природы только по наличию одного из данных факторов без дополнительных исследований; основные, дающие возможность отнесения природного объекта к разряду памятников природы при наличии еще хотя бы одного из факторов настоящей шкалы; дополнительные, действующие только в дополнение к основным и решающим. К решающим факторам относятся значительная

научная ценность; ценное историческое или природное значение; важное экологическое значение; к основным – уникальность, достопримечательность объекта и его культурно-познавательная ценность; к дополнительным – эстетическая привлекательность, живописность объекта, его рекреационно-оздоровительное значение и пропагандистско-воспитательная ценность [9, с. 137].

Методика оценки рекреационной привлекательности родников (их туристско-рекреационного потенциала) разработана О.Г. Гришуткиным и Д.С. Щуряковым. Она включает 24 критерия по оценке, которые разделены на пять блоков: природная привлекательность, культурно-познавательная привлекательность, инфраструктура, благоустройство, санитарно-экологическое состояние [10, с. 138]

Паспортизация родников, определение их санитарно-технического состояния и соответствия критериям памятников природы проводились по [9]; рекреационная привлекательность – по [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Ивнянский и Прохоровский районы находятся на севере западной части области. Они граничат между собой, но различаются по своим природным особенностям, так как относятся к разным физико-географическим районам: Ивнянский район – к Псельско-Ворсклинскому, а большая часть Прохоровского района – к Осколо-Северскодонецкому [11, с. 14]. Характерной особенностью Псельско-Ворсклинского района является почти полное отсутствие выходов мело-мергельных пород на склонах балок и речных долин, а в Осколо-Северскодонецком районе представлена ось наибольших тектонических поднятий свода Воронежской антеклизы. Указанные различия обусловлены неотектоническими особенностями территории: Ивнянский район расположен в зоне современных вертикальных движений с интенсивностью от 2 до 4 мм/год, а Прохоровский – с интенсивностью от 4 до 6 мм/год [11, с. 36].

В табл. 1 даны некоторые важные характеристики обследованных родников.

Таблица 1

Особенности изученных родников

№	Название родника, ближайший населенный пункт	Рельеф	Обустройство	Дебит, л/с	Тип использования
Ивнянский район					
1	Родник у х. Полянка	Склон долины ручья	Бетонное кольцо	0,4	Не исп.
2	Родник вблизи с. Новоселовка Вторая	Пойма	Бетонное кольцо	0,3	Не исп.
3	Родник у х. Спицын	Пойма	Не обустроен	Около 5	Не исп.
4	Родник в с. Верхопень	Склон террасы	Сруб и беседка	0,1	Х-п + Р (нерегулярно)
Прохоровский район					
5	«Родник у Барской дачи» (х. Кострома)	Верховья ручья	Беседка, купель, часовня	Более 30	К + Р
6	«Приток р. Сев. Донец» (юго-вост. х. Черновка)	Пойма	Декоративный сруб, купель, ротонда	Более 10	Р + К + Х-п
7	Истоки реки Северский Донец (с. Подольхи)	Пойма	Труба-каптаж, купель, ротонда, зона отдыха	Около 10	Р + К + Х-п
8	«Приток реки Донецкая Сеймица (х. Григорьевка)	Пойма	Бетонное кольцо, навес	0,7	Х-п + Р (нерегулярно)
9	Родник в ур. «Петровская дача» (вблизи с. Вязовое)	Склон террасы	Комплекс сооружений	0,1	Р + К + Х-п
10.	«Исток притока р. Донецкая Сеймица» в х. Гремучий	Подножие террасы	Родники не каптированы	Более 10	Р (нерегулярно)

Примечание. 1) типы использования: Р – рекреационное, К – культовое, Х-п – хозяйственно-питьевое, Не исп. – не используется;

2) Родник № 10 выведен из состава охраняемых объектов района.



Рис. 1. Охраняемые родники Прохоровского района, известные за его пределами:
 А – Истоки реки Северский Донец (№ 7), Б – Родник у Барской дачи (№ 5),
 В – Родник в урочище «Петровская дача» (№ 9) (фото авторов)

Сравнительный анализ представленных данных показывает, что охраняемые родники Ивнянского района преимущественно малодобитные и неиспользуемые, в то время как родники Прохоровского района в основном высокодебитные и активно используются для различных видов деятельности. Этому способствуют не только рассмотренные выше природные геоэкологические условия территории района, но и его культурно-исторические особенности. Как отмечают некоторые авторы [12], Прохоровский район – особый среди районов Белгородской области: здесь проходит водораздел бассейнов рек Днепр и Дон, берут свое начало реки Северский Донец, Псёл, Липовый Донец, Саженский Донец, Журавка, протекают реки Донецкая Сеймица, Корень, Ольшанка. На территории района находится Государственный военно-исторический музей-заповедник «Прохоровское поле», включающий культурно-исторический центр «Третье ратное поле России».

Среди охраняемых родников три известны далеко за пределами района (рис. 1).

Для родника в с. Подольхи («Истоки реки Северский Донец») еще в 1997 г. была установлена стела, а позже появилась часовня в честь иконы Пресвятой Богородицы «Всецарица». Другим важным культурно-историческим кластером Прохоровского района является парк регионального значения «Ключи» («Родник у Барской дачи»). Рекреационно-оздоровительная зона располагается в живописном месте с. Кострома на территории бывшей барской усадьбы по-

мещика К.А. Питры. Рекреационные объекты представлены рядом подворий: «Прохоровское ремесло»; «Кузнечное мастерство»; «Хлебосолье»; «Подворье традиционной русской кухни»; «Подворье традиционных русских напитков»; «Рукоделие»; «Мир детства» [12]. Третий известнейший родник расположен в урочище «Петровская дача» вблизи с. Вязовое, он посвящен великомуученику Пантелеймону Целителю.

В табл. 2 представлены результаты проведенной оценки соответствия изученных родников критериям памятников природы.

«Формула соответствия» показывает, сколько решающих, основных и дополнительных факторов установлено для данного родника при оценке его соответствия критериям региональных памятников природы.

Эта методика была использована авторами ранее при изучении родников ряда районов области, но ее использование осложнялось недостаточной однозначностью рекомендуемых критериев. В то же время в Федеральном законе «Об особо охраняемых природных территориях» [13] в качестве критериев отнесения к памятникам природы названы экологическая, научная, культурная и эстетическая ценность. При этом культурная ценность понимается в широком диапазоне, то есть включает традиционно высокое историческое, культурное или религиозное значение родника. Эстетическая ценность вследствие субъективности ее восприятия может усиливать другие критерии, но не выступать в качестве основного.

Таблица 2

Оценка соответствия родников критериям памятников природы

№	Район	Название родника	«Формула соответствия»	Ценность объекта (в соответствии с [13])	Рекреационный потенциал	Вывод о соответствии критериям
1	Ивнянский	Родник у х. Полянка	0p0o0д	?	Низкий	Нет
2		Родник вблизи с. Новоселовка 2	0p0o0д	?	Средний	Нет
3		Родник у х. Спицын	1p0o1д	1	Средний	Да
4		Родник в с. Верхопенье	0p0o1д	?	Средний	Нет
5	Прохоровский	Родник у Барской дачи	2p2o2д	134	Высокий	Да
6		Приток реки Северский Донец (Черновка)	2p1o2д	134	Высокий	Да
7		Истоки Северского Донца, с. Подольхи	2p1o2д	134	Высокий	Да
8		Родник в х. Григорьевка	0p0o0д	?	Средний	Нет
9		Родник в ур. «Петровская дача» (вблизи с. Вязовое)	1p2o1д	3	Высокий	Да
10		Родник у х. Гремучий	2p1o2д	1	Средний	Да

Примечание: ценность объекта в соответствии с Законом об ООПТ: 1 – экологическая, 2 – научная, 3 – культурная, 4 – эстетическая, ? – трудно определить.

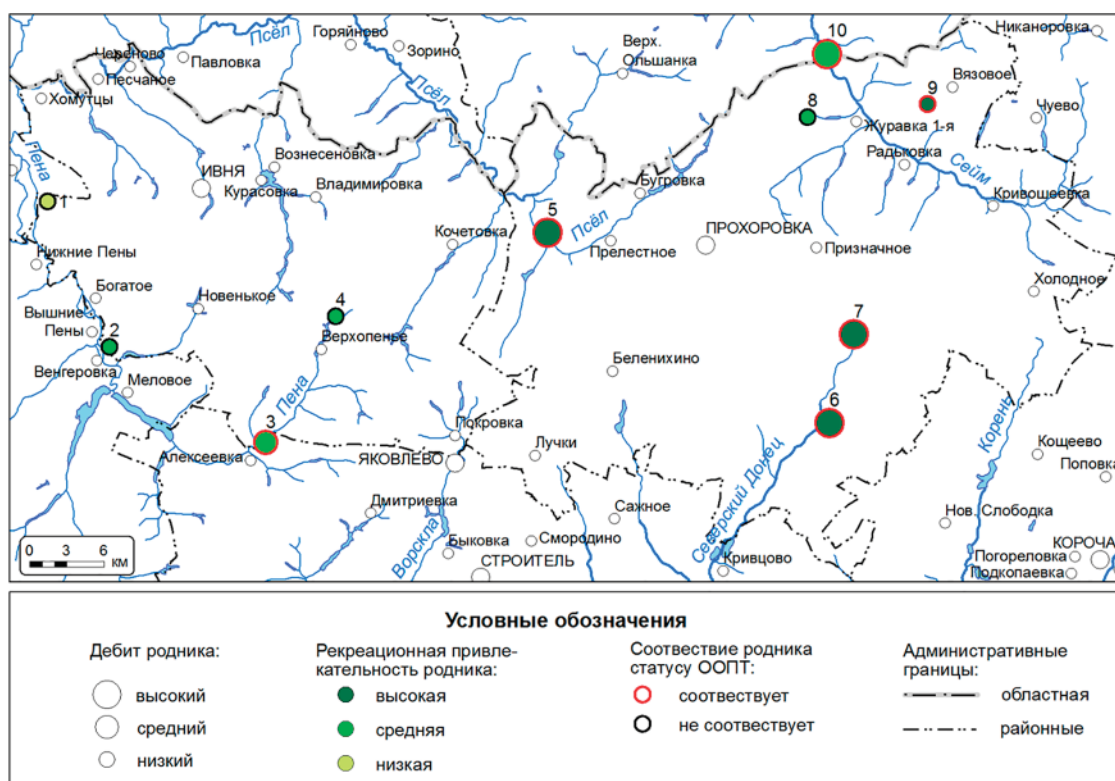


Рис. 2. Размещение родников – памятников природы регионального значения по территории Ивнянского и Прохоровского районов, их дебит, рекреационная привлекательность и соответствие статусу охраняемых
Источник: картосхема составлена авторами

Такого же мнения придерживаются и авторы исходной методики, так как эстетическая привлекательность объекта отнесена ими к дополнительным факторам. Опыт исследования родников показывает, что эстетическая ценность необязательно требует обустройства родника. Есть природные родники, которые удивляют своей красотой, несмотря на отсутствие обустройства.

Решающие факторы для выделения памятников природы охватывают перечень критериев из ФЗ № 33 [9, с. 137]. При отсутствии решающих факторов итоги оценки по названной методике могут быть подкреплены результатами определения рекреационной привлекательности родников. Наличие высокой или очень высокой оценки рекреационной привлекательности позволяет уверенно судить о соответствии родника критериям памятника природы регионального значения.

На рис. 2 приведена картосхема размещения исследуемых родников и ряд их характеристик.

Анализ представленной информации показывает, что в Ивнянском районе три родника не соответствуют статусу охраняемых, поэтому необходима реорганизация существующей сети ООПТ района с выводом этих родников из состава охраняемых. У них средняя или низкая рекреационная привлекательность, малый дебит. В списке охраняемых на сегодняшний день остается родник у х. Спицын вследствие наличия среднего дебита около 5 л/с. Необходимы дополнительные исследования по поиску объектов, соответствующих указанному

статусу, а также наблюдения за динамикой дебита родника у х. Спицын. Если его дебит будет уменьшаться, встанет вопрос и о его несоответствии статусу ООПТ.

Иная картина в Прохоровском районе, где большинство родников – объектов сети ООПТ соответствует своему статусу. Их ценность определяется либо высоким дебитом, так как родники вытекают из меловых отложений, либо культурно-историческим значением, когда в роднике была явлена икона. Родник в х. Гремучий (№ 10) был выведен из состава ООПТ преждевременно и требует восстановления своего статуса.

К родникам, потерявшим статус памятника природы, можно отнести родник в х. Григорьевка (№ 8) (рис. 3). Его необходимо вывести из состава ООПТ.

По внешнему виду родник не похож на памятник природы регионального значения, но информационная табличка подтверждает, что ошибки в идентификации родника не было.

У четырех родников района, относящихся к памятникам природы регионального значения, зафиксирована высокая рекреационная привлекательность, что свидетельствует о перспективности их дальнейшего нахождения в составе ООПТ. По значениям рекреационной привлекательности эти родники образуют следующий ряд: Истоки Северского Донца (с. Подольхи, 35,2 балла) – Родник у Барской дачи (с. Кострома, 33,4 балла) – Родник в урочище «Петровская дача» (вблизи с. Вязовое, 33,0 балла) – Приток реки Северский Донец (с. Черновка, 32,7 балла).



Рис. 3. Охраняемый родник в х. Григорьевка:
 А – информационная табличка родника; Б – внешний вид родника (фото авторов)

В ходе проведения исследований охраняемых родников была выявлена необходимость совершенствования паспорта родника для включения в него оценок, определяющих статусность и рекреационную значимость родников. В связи с чем предлагается в пункт «Особенности родника» для охраняемых объектов обязательно вносить информацию о соответствии критериям памятников природы, а паспорт в целом для всех родников дополнить двумя показателями: оценка пейзажной выразительности в окрестностях родников и оценка рекреационного потенциала (рекреационной привлекательности).

Заключение

Практическая значимость исследования заключается в том, что его результаты позволяют наметить пути совершенствования сети ООПТ Ивнянского и Прохоровского районов в разделе «Памятники природы – родники». Для Ивнянского района актуальными являются исследования по поиску репрезентативных объектов, которые могут обоснованно войти в сеть ООПТ, так как совпадают с критериями для охраняемых родников. Необходим мониторинг состояния родника у х. Спицын, прежде всего его дебита, чтобы оценить дальнейшие перспективы данного родника.

Для Прохоровского района следует провести некоторую корректировку сети ООПТ, включающую возврат родника у х. Гремучий в разряд охраняемых и выведение из состава памятников природы родника у х. Григорьевка, как не соответствующего критериям. Несмотря на высокую рекреационную привлекательность четырех охраняемых родников и перспективность их дальнейшей охраны, также необходимы исследования по поиску объектов, которые могут быть введены в состав ООПТ, чтобы ценные родники района, которые на сегодняшний день не имеют статуса памятника природы, но достойны его, могли получить такой статус.

Использование результатов экологической службой области при дальнейшем совершенствовании сети ООПТ указанных районов позволит перейти к научно обоснованной системе памятников природы, включающей действительно ценные и уникаль-

ные объекты. Это даст возможность туристическим организациям планировать познавательные маршруты с посещением указанных объектов, а проектным организациям – использовать результаты исследования в территориальном планировании при разработке мероприятий по развитию рекреационного потенциала изучаемой территории.

Список литературы

1. Ильина В.Н., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. К инвентаризации и характеристике родников Камышлинского района Самарской области // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. Т. 3, № 1 (93). С. 116–119. DOI: 10.23670/IRJ.2020.93.3.018.
2. DellaSala D.A., Goldstein M.I. Imperiled: The Encyclopedia of Conservation // Elsevier Science. 2022. P. 436–458.
3. Currell M.J., Katz B.G. Threats to Springs in a Changing World: Science and Policies for Protection. American Geophysical Union, 2022. 240 p.
4. Cantonati M., Fensham R.J., Stevens L.E., Gerecke R., Glazier D.S., Goldscheider N., Knight R.L., Richardson J.S., Springer A.E., Tockner K. Urgent Plea for Global Protection of Springs // *Conservation Biology*. 2020. № 35 (1). P. 378–382. DOI: 10.1111/cobi.13576.
5. Ghosh A., Mukhopadhyay S. Evaluation of springs and waterfalls as Geomorphosites and proposition of strategies to develop Geotourism at Ajodhya hill, Puruliya district // *Eastern India GeoJournal*. 2022. Vol. 87 (1). P. 87–99.
6. Новых Л.Л., Орехова Г.А. К вопросу о соответствии родников Краснояружского, Ракитянского и Новооскольского районов критериям памятников природы регионального значения // *Научные Ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки*. 2010. № 3 (74). Вып. 10. С. 123–131.
7. Федотов В.И., Григорьевская А.А. Формирование сети малых типов особо охраняемых природных территорий административной области // *Вестник Самарского гос. ун-та. Серия: География, геоэкология*. 2000. № 1. С. 130–134.
8. Об утверждении перечней особо охраняемых природных территорий регионального значения Белгородской области: Постановление Правительства Белгородской области от 15.08.2016 № 299-пп [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/441631076> (дата обращения: 25.10.2024).
9. Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство / Отв. ред. А.Г. Корнилов. Белгород: КОНСТАНТА, 2018. 200 с.
10. Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. М.: Научный мир, 2002. 160 с.
11. Гришуткин О.Г., Щуряков Д.С. Методика оценки туристско-рекреационного потенциала родников региона // *Географический вестник*. 2023. № 2 (65). С. 136–153.
12. Петин А.Н., Киреева-Гененко И.А., Бугаева Е.А., Польшгалова А.Ю. Геоэкологические аспекты рекреационного природопользования на примере Прохоровского района // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1–1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18250> (дата обращения: 20.10.2024).
13. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изм. и доп.) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/10107990/> (дата обращения: 25.10.2024).

УДК 528.88
DOI 10.17513/use.38350

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СУРАБАЯ В ИНДОНЕЗИИ)

¹Сафитри Д.А., ²Беспалова Л.А., ²Глушко А.Е.

¹Университет 17 Августа 1945 Сурабая, Сурабая, Индонезия,
e-mail: dika-ayu@untag-sby.ac.id;

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru, arinaglushko01@gmail.com

Цель исследования – интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов. Авторами с помощью данных дистанционного зондирования (снимки Landsat и Sentinel за 24 года исследований) в программе ENVI 4.6 выполнена оценка продвижения береговой линии под воздействием природных и антропогенных факторов, выделены типы земной поверхности, выполнена классификация рода мангровых зарослей с использованием машинного обучения Smile Random Forest в программном обеспечении Google Earth Engine; выполнен анализ картографических данных с использованием технологий геоинформационных систем в программном обеспечении ArcGIS 10.3. Для верификации полученных данных с помощью космоснимков проводились полевые подспутниковые наблюдения. По результатам интегральной геоэкологической оценки прибрежной зоны Сурабая, выполненной по комплексу показателей (антропогенное давление, зависящее от плотности населения; антропогенная нагрузка на земли прибрежных территорий по степени их преобразования под влиянием хозяйственной деятельности; интенсивность проявления опасных береговых процессов), выявлены 3 зоны – с высокой, средней и низкой степенью проявления природно-техногенных процессов. На долю с высоким проявлением приходится 35% площади прибрежной зоны, средним – 25%, низким – 40%. Даны рекомендации по снижению негативных последствий проявления техно-природных процессов для каждой зоны.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, геоэкологическая оценка, антропогенное давление, антропогенная нагрузка, опасные береговые процессы, классы землепользования, Индонезия, Сурабая

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE LEVEL OF MANIFESTATION OF NATURAL-TECHNOGENIC PROCESSES (BASED ON THE EXAMPLE OF THE COASTAL ZONE OF SURABAYA IN INDONESIA)

¹Safitri D.A., ²Bespalova L.A., ²Glushko A.E.

¹Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia, e-mail: dika-ayu@untag-sby.ac.id;

²Southern Federal University, Rostov-on-Don,
e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru, arinaglushko01@gmail.com

The aim of the study is to conduct an integrated geoecological assessment of the coastal zone of Surabaya based on the intensity of natural-technogenic processes. Using remote sensing data (Landsat and Sentinel images over 24 years of research) in the ENVI 4.6 software, the authors evaluated the shoreline dynamics under the influence of natural and anthropogenic factors, identified land surface types, and classified mangrove species using the Smile Random Forest machine learning algorithm in Google Earth Engine software. Cartographic data were analyzed using geographic information system technologies in ArcGIS 10.3. To verify the data obtained from satellite images, ground-based field observations were conducted. As a result of the integrated geoecological assessment of the Surabaya coastal zone, based on a set of indicators (anthropogenic pressure related to population density, anthropogenic impact on coastal lands according to their transformation due to economic activities, and the intensity of hazardous coastal processes), three zones with high, medium, and low levels of natural-technogenic processes were identified. The areas with high intensity account for 35% of the coastal zone, medium intensity for 25%, and low intensity for 40%. Recommendations are provided to mitigate the negative effects of technogenic-natural processes for each zone.

Keywords: remote sensing data, geoecological assessment, anthropogenic pressure, anthropogenic impact, hazardous coastal processes, land use classes, Indonesia, Surabaya

Введение

Сурабая – второй по значению после Джакарты индустриальный и деловой центр Индонезии. Здесь расположены крупные предприятия машиностроительной, текстильной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, крупные торговые порты. Главными экологическими

проблемами региона являются промышленное загрязнение воздуха и воды в городских районах, вырубка мангровых лесов, разрушение берегов, высокие темпы урбанизации приводят к быстрому преобразованию природных ландшафтов.

Цель исследования – интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны

Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов.

Задачи исследования: провести оценку антропогенного давления на основе данных о численности и плотности населения и темпах его роста; провести классификацию земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки с использованием данных ДЗЗ; ранжировать прибрежную зону Сурабая по интенсивности проявления опасных береговых процессов.

Материалы и методы исследования

Комплексный характер исследований определил необходимость применения методов, используемых в геоэкологии, геоморфологии морских берегов (экспедиционных, картографических, расчетных), статистических методов обработки информации, сравнительно-географического метода, ГИС-технологии и методов дистанционного зондирования Земли, с использованием машинного обучения Smile Random Forest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE). Все исследования основаны на данных ДЗЗ, технологии ГИС, классифи-

кации рода мангровых зарослей с использованием машинного обучения Smile Random Forest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE). Для верификации данных ДЗЗ проводились полевые подспутниковые наблюдения.

Геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая проводилась по таким показателям, как оценка антропогенного давления [1, с. 30–34], оценка антропогенной нагрузки на естественные ландшафты [2, с. 20–40], оценка интенсивности проявления опасных береговых процессов (ОБП).

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка антропогенного давления на прибрежные районы Сурабая. Основными показателями, по которым можно судить о численности населения, являются плотность населения и темпы его роста. Сурабая характеризуется высокими темпами роста населения. В результате быстрого роста населения возникает дисбаланс между населением и природой, а также доступными объектами жизнедеятельности.

Таблица 1

Показатели антропогенного давления (К) прибрежной зоны Сурабая

Большой район	Район	Подрайон	Площадь (км ²)	Население	Плотность	Коэффициент	Ранг
Западная Сурабая	Беново	Ромо Калисари	7,58	2714	358,04	1,32	Низкий
		Тамбак Осовиланган	3,61	3902	1080,88	1,76	Низкий
	Асемрово	Тамбак Лангон	6,46	7267	1124,92	1,77	Низкий
		Грегес	6,46	7599	1176,31	1,79	Низкий
		Калианак	4,07	8322	2044,71	2,00	Низкий
Северная Сурабая	Крембанган	Моро Крембанган	3,17	49311	15555,52	2,80	Высокий
		Западная Перак	1,607	16685	10382,70	2,64	Высокий
	Пабеан Чантукан	Северная Перак	1,79	29604	16538,54	2,82	Высокий
	Семампир	Уджунг	1,62	37268	23004,93	2,95	Высокий
	Кенджеран	Булак бантенг	2,67	36517	13676,77	2,75	Высокий
		Тамбак Веди	0,98	17915	18280,61	2,86	Высокий
		Кедунг Човек	1,13	6415	5676,99	2,40	Средний
		Кенджеран	0,93	7125	7661,29	2,52	Средний
		Суколило	3,13	11095	3544,72	2,22	Средний
Восточная Сурабая	Мулиореджо	Дукух Сутореджо	2,14	16910	7901,86	2,53	Средний
		Калисари	2,13	11017	5172,30	2,37	Средний
	Суколило	Кепутих	14,4	18203	1264,09	1,82	Низкий
	Рунькуть	Вонореджо	6,48	18254	2816,97	2,13	Средний
		Медокан Аю	7,23	27980	3869,98	2,25	Средний
	Гунунг Аньяр	Гунунг Аньяр Тамбак	4,41	10408	2360,09	2,06	Средний

Движущим фактором антропогенного давления (K) на окружающую среду является человек. Антропогенное давление представляет собой интегральную величину энергии, используемой на единицу площади территории. Для оценки антропогенного давления на исследуемой территории вводится коэффициент антропогенного давления (K). Рассчитывается он по формуле [1]:

$$\lg K = -0,97 + 0,9 \lg \text{ПН},$$

где ПН – плотность населения чел./км².

В табл. 1 представлены результаты оценки прибрежной зоны Сурабая по показателю коэффициента антропогенного давления (K). Коэффициент определялся на уровне подрайонов.

На основе обработки данных показатель степени антропогенного давления на побережье Сурабая разделен на 3 зоны (рис. 1).

Зона 1 характеризуется самыми высокими показателями антропогенного давления. Сюда входит большая часть Северной Сурабая (6 подрайонов): Моро Крембанган, Западный Перак, Северный Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди. Здесь расположен крупный промышленный центр города, жилые районы с самой плотной застройкой, промышленные зоны, складские

помещения, терминалы, военные объекты. На долю этой зоны приходится 30% прибрежных территорий.

Зона 2 характеризуется средним уровнем антропогенного давления и состоит из 5 подрайонов Восточной Сурабая (Дукх Сутореджо, Калисари, Вонореджо, Медокан Аю, Гунунг Аньяр Тамбак) и трех подрайонов Северной Сурабая (Кедунк Човек, Кенджеран, Суколило). Площади городской застройки не превышают 40%. Большая часть побережья занята рыболовными прудами, рисовыми полями. На долю этого кластера приходится 40% прибрежных территорий.

Зона 3 с низкими показателями антропогенного давления характеризуется низкой плотностью и низкой численностью населения. В данную зону входит вся Западная Сурабая, включая 5 подрайонов. Подрайон Ромо Калисари является подрайоном с самым низким значением коэффициента антропогенного давления на побережье Сурабая. Площадь городской застройки здесь не превышает 57%. Остальная территория занята прудами (34%), растительностью и пустошью. Низкое антропогенное давление характерно для 30% площади прибрежных территорий Сурабая.

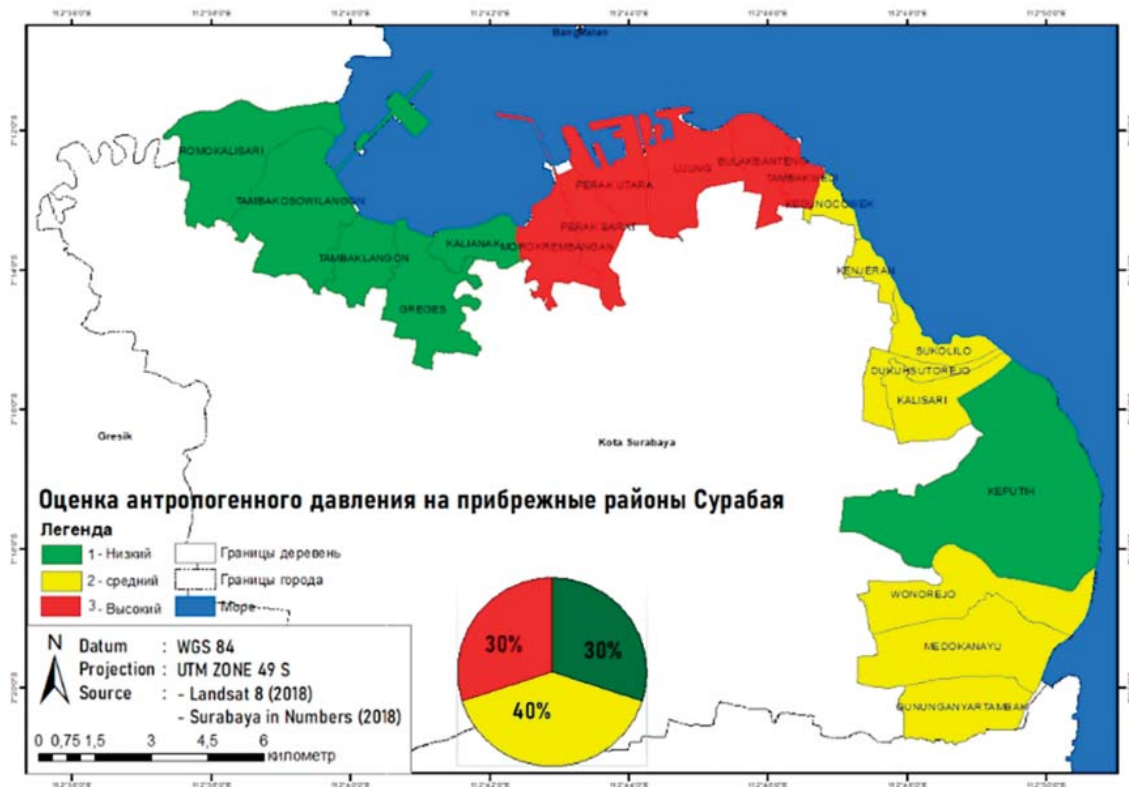


Рис. 1. Ранжирование прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенного давления

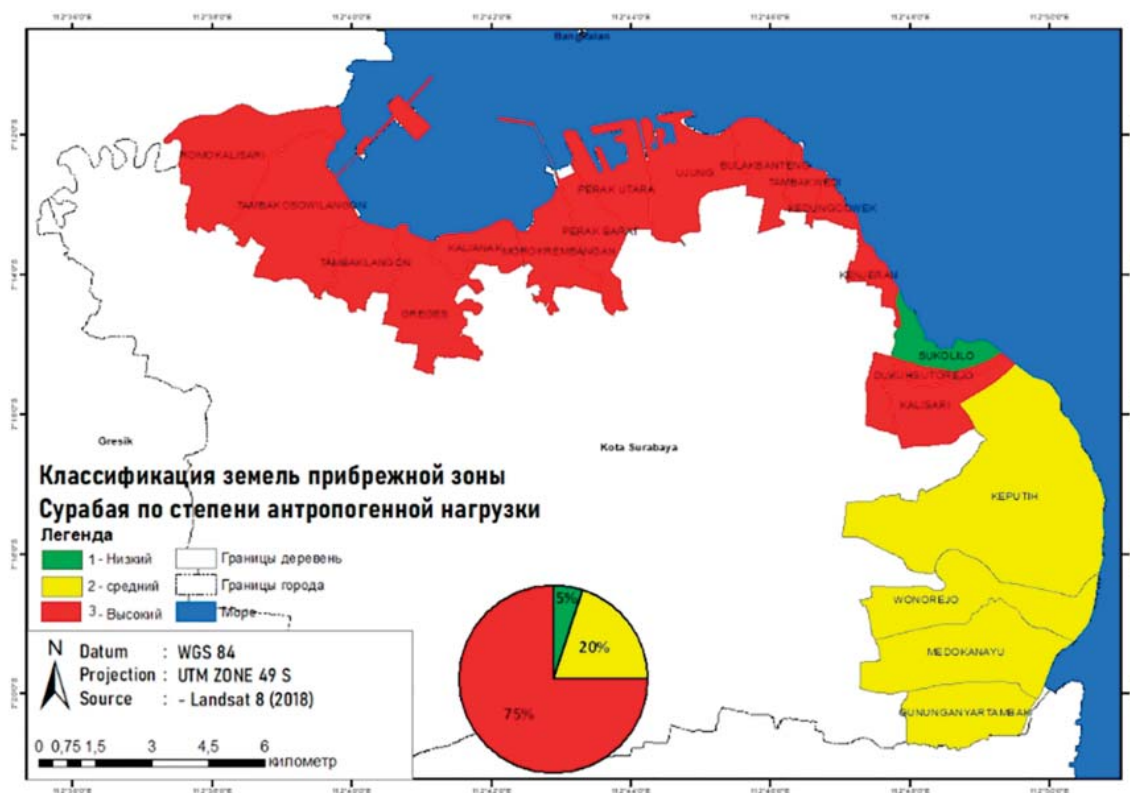


Рис. 2. Прибрежные территории Сурабаи по степени антропогенной нагрузки

Классификация земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки. Деятельность человека может существенно влиять на прибрежные экосистемы. Одним из способов мониторинга антропогенных преобразований в прибрежной зоне является мониторинг земель (почвенно-растительного покрова). Мониторинг изменений в типах почвенно-растительного покрова может быть использован для понимания воздействия природных и антропогенных явлений на территорию, особенно в прибрежных районах [3].

Согласно классификации почвенно-растительного покрова, прибрежная зона Сурабая была сгруппирована в шесть типов, включая голую землю (пустыри), мангровые заросли, пруды, городские территории, растительность и водоемы.

Анализ почвенно-растительного покрова в прибрежной Сурабае по снимкам Landsat показал, что в 15 подрайонах преобладают городские территории. Вторым по величине доминирующим классом является класс прудов в 4 подрайонах (20%), а третьим – класс мангровых лесов в одном подрайоне (5%). Это свидетельствует о том, что прибрежная территория Сурабаи

относится к категории с высокой антропогенной нагрузкой, поскольку на большей ее части преобладают городские районы, где естественные мангровые леса или другая растительность почти полностью сведены. В результате этого в районах от морской активности наблюдается размыв берегов [4].

По результатам ранжирования большая часть прибрежных районов (75%) относится к территории с высокой антропогенной нагрузкой. Средняя антропогенная нагрузка (20% прибрежных территорий) характерна для подрайонов Кепутих, Вонореджо, Медокан Аю, Гунунг Аньяр Тамбак, где развита сельскохозяйственная деятельность (рыбоводные пруды, рисовые поля). Низкая антропогенная нагрузка выявлена только в подрайоне Суколило с мангровыми лесами, занимающими 49% его площади (рис. 2) [5].

Ранжирование прибрежной зоны по интенсивности проявления опасных береговых процессов. За 24 года размыв берегов наблюдался в нескольких прибрежных районах Сурабаи, таких как городской район Вонореджо, район Рунгкут площадью 141637,1 м². При этом аккумуляция произошла почти во всех прибрежных районах Су-

рабаи. Аккумуляция в подрайоне Суколило была самой большой, ее площадь составила 4401201,3 м². Наибольшее антропогенное воздействие на данную территорию было связано со строительством в 2013 г. порта Телук Ламонг площадью 916068,3 м² [6]. Результаты исследований показали, что 16 подрайонов (75%) имели низкий класс интенсивности проявления со скоростью размыва менее 0,33 м/г, в то время как 3 подрайона (15%) имели средний класс интенсивности проявления.

Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени

проявления природно-техногенных процессов (ПТП). Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая проводилась по трем показателям:

- 1) антропогенное давление, зависящее от плотности населения;
- 2) антропогенная нагрузки на земли прибрежных территорий по степени их преобразования под влиянием хозяйственной деятельности;
- 3) интенсивность проявления опасных береговых процессов (ОБП).

Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 4.

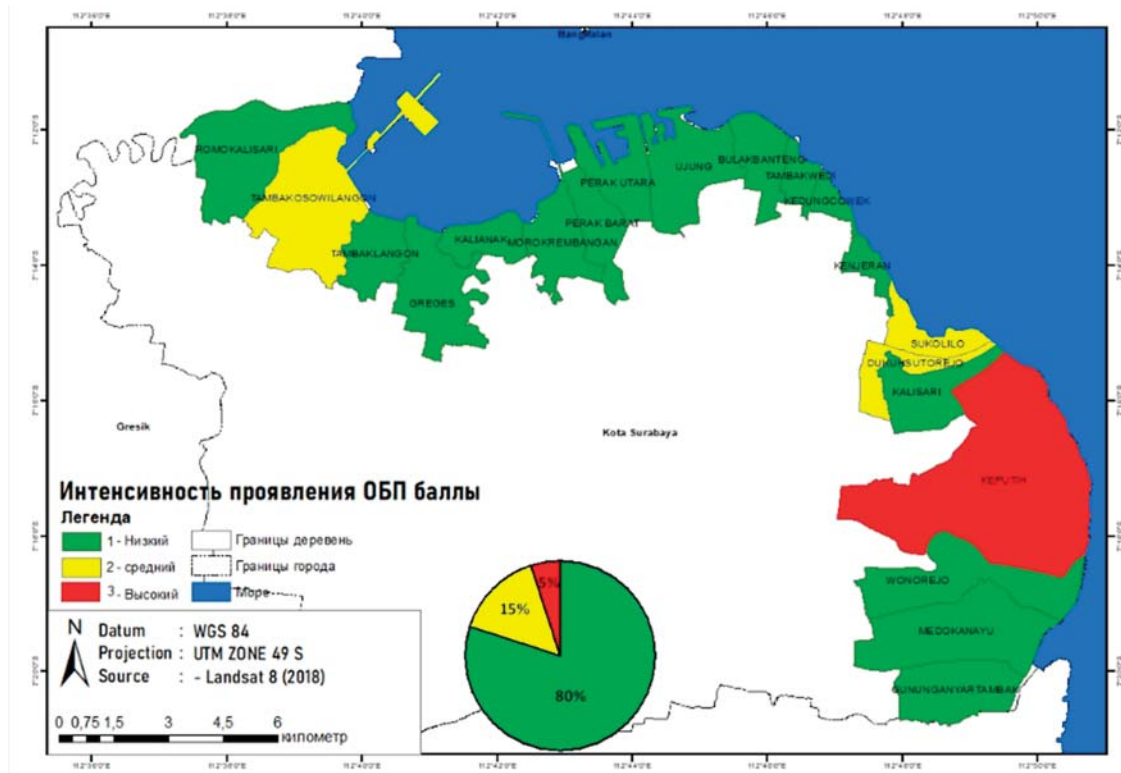


Рис. 3. Интенсивность проявления ОБП в прибрежной зоне Сурабая

Таблица 2

Результаты геоэкологической оценки прибрежной зоны Сурабая

Факторы	Оценка антропогенного давления на прибрежные районы Сурабая	Классификация земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки	Интенсивность проявления ОБП баллы	Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления
Низкий уровень, %	30	5	80	40
Средний уровень, %	40	20	15	25
Высокий уровень, %	30	75	5	35

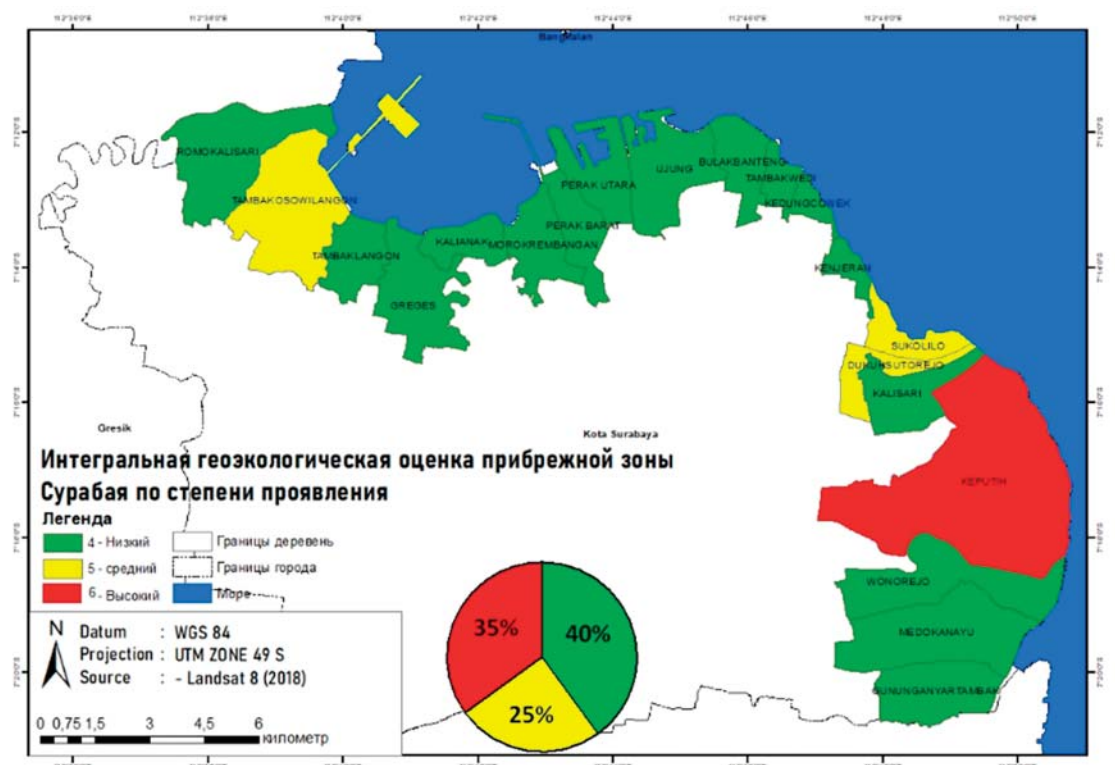


Рис. 4. Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая

Зона с высокой степенью проявления природных и техногенных процессов. Согласно геоэкологической оценке, в зону с высокой степенью проявления природно-техногенных процессов входит 7 подрайонов (35% площади побережья). На Севере сюда входят подрайоны Моро Крембанган, Западная Перак, Северная Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди и в Восточной Сурабае подрайон Дукух Сутореджо. Высокая степень проявления ПАП связана с высокой плотностью населения (антропогенного давления) и преобладанием городской застройки территории районов на площади от 56% до 97%, а также высокой антропогенной нагрузкой.

Зона со средней степенью проявления природных и техногенных процессов. Средний уровень проявления природно-техногенных процессов установлен для 5 подрайонов площадью 13,8 км² (25% площади прибрежной зоны): Тамбак Осовилангон, Калисари, Кепутих, Кенджеран и Кедунг Ковек. Средняя степень обусловлена тем, что здесь менее плотная городская застройка и в землепользовании преобладает портовое хозяйство.

Данные спутниковой съемки Landsat 8 показывают, что площадь подрайона Тамбак Осовилангон увеличилась за счет того,

что в 2013 г. в Телук Ламонге был построен новый порт, площадь которого растет с каждым годом. Кроме того, подрайон Тамбак Осовилангон – это промышленная и складская зона, зона погрузки и разгрузки контейнеров:

Зона с низкой степенью проявления природных и техногенных процессов. Значение геоэкологической оценки с низкой степенью проявления ПТП зафиксировано в 8 подрайонах площадью 66 км² (40%): Калянак, Грегес, Тамбак Лангон, Ромо Калисари, Гунунг Аняр Тамбак, Медокан Айю, Вонореджо, Кенджеран, Морокрембанган, Кедунг Ковек, Перак Барат, Тамбак Веди, Перак Барат и Суколило. Эти подрайоны расположены в основном в Западной Сурабае. Низкая степень проявления ПТП связана с низкой плотностью населения, преобладанием в землепользовании земель сельхозназначения и рыбоводных прудов, и преобладанием аккумуляции над размывом берегов.

Анализ состояния геоэкологических зон позволил предложить рекомендации для уменьшения степени проявления негативных ПТП в прибрежных районах Сурабаи, так как все выделенные геоэкологические зоны в целом подвержены процессам дальнейшей урбанизации.

Перечень необходимых мероприятий:

1. Восстановление экосистем (таких как мангровые леса) может быть сделано для усиления защиты прибрежной природы и восстановления экологических функций прибрежных территорий (*Зона 1, Зона 2, Зона 3*).

2. Проведение реновации для районов с плотной застройкой и расселение населения для снижения антропогенного давления (*Зона 1*).

3. Укрепление инфраструктуры для борьбы с размывом берегов: создание подпорных берегозащитных сооружений или восстановление растительности, способной удерживать почву в соответствии с научными исследованиями и долгосрочными экологическими расчетами (*Зона 3, особенно подрайон Вонорехо*).

4. Разработка правительством долгосрочной политики (на ближайшие 100 лет) с привлечением заинтересованных сторон для снижения проявления негативных техно-природных процессов, в особенности для районов с высокой плотностью населения и антропогенной нагрузкой [7] (*Зона 1, Зона 2*).

5. Корректировка землепользования для снижения рисков размыва берегов и изменение землепользования в сторону уменьшения доли антропогенных ландшафтов (пустырей) (*Зона 1, Зона 2, Зона 3*).

6. Рекультивация в прибрежной зоне при избыточной аккумуляции – изъятие осадочного материала и его использование для укрепления прибрежных районов, подверженных размыву (*Зона 1, Зона 2, Зона 3*).

7. Создание новых мест обитания (например, искусственных островов) при необходимости.

8. Пространственное планирование с учетом зон, подверженных аккумуляции, и структурирования землепользования для эффективного развития инфраструктуры и минимизации рисков проявления ПТП.

9. Управление прибрежной зоной, при котором процесс планирования осуществляется путем определения динамики береговой линии и потенциальных рисков и последствий, связанных с решениями, которые порождают различные сценарии будущего (*Зона 1, Зона 2, Зона 3*).

Заключение

Проведенные исследования с использованием данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий позволили провести интегральную геоэкологическую оценку прибрежной зоны Сурабая. Установлено, что главным фактором высокой степени проявления природно-техногенных процессов является высокий уровень урбанизации прибрежной зоны и нерациональное природопользование: вырубка мангровых лесов способствующих размыву берегов, высокая плотность поселения, обеспечивающая высокое антропогенное давление, незапланированная смена землепользования и образование пустошей на территории бывших рыбоводных прудов и др.

Проведенные исследования могут быть использованы при пространственном планировании с учетом антропогенного воздействия и при эффективном управлении землепользованием и развитием инфраструктуры для снижения рисков и укрепления экологической устойчивости прибрежных районов Сурабая.

Список литературы

1. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб.: Наука, 2004. 294 с.
2. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.: Маджента, 2003. 384 с.
3. Suharyo O.S., Hidayah Z. Pemanfaatan Citra Satelit Resolusi Tinggi Untuk Identifikasi Perubahan Garis Pantai Pesisir Utara Surabaya // Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology. 2019. Vol. 12, Is. 1. P. 89–96. DOI: 10.21107/jk.v12i1.5084.
4. Cannicci S., Lee S.Y., Bravo H., Cantera-Kintz J.R., Dahdouh-Guebas F., Fratini S., Diele K. A functional analysis reveals extremely low redundancy in global mangrove invertebrate fauna // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2021. Vol. 118, Is. 32. e2016913118. DOI: 10.1073/pnas.2016913118.
5. Safitri D.A., Bioresita F., Nugroho R.T., Bepalova L.A., Ramadanings N., Sobarman F.A. Mapping and monitoring of mangrove area in Surabaya (Indonesia) in the period of 1994–2018 using landsat satellite data and Google earth engine // Science in the South of Russia. 2023. Vol. 19, Is. 1. P. 51–58. DOI: 10.7868/25000640230106.
6. Сафитри Д.А., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. Исследование геоморфологических изменений береговой линии Сурабай, Индонезия с использованием данных дистанционного зондирования // Наука Юга России. 2020. Т. 16, № 4. С. 19–25. DOI: 10.7868/S25000640200403.
7. Williams A.T., Rangel-Buitrago N., Pranzini E., Anfuso G. The management of coastal erosion // Ocean & Coastal Management. 2018. Vol. 156. P. 4–20. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022.

СТАТЬИ

УДК 553.98

DOI 10.17513/use.38351

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ СЕВЕРО-ВАРТОВСКОЙ МЕГАТЕРРАСЫ**Жидков Е.О., Фаррахова О.А., Решетников М.В.***ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Когалым, e-mail: Mikhail.Reshetnikov@lukoil.com*

Целью исследования является определение характера смачиваемости горных пород продуктивных пластов и их зависимость от минералогического состава. В работе исследован параметр смачиваемости пород коллекторов, слагающих продуктивные пласты BV_8 и $YV_{1/1}$. Исследования проводились по ОСТ 39-180-85. Породы пласта BV_8 характеризуются высокими значениями показателя смачиваемости M 0,70–0,97, что классифицирует их как гидрофильные и преимущественно гидрофильные. Для формирования более детального представления о минералогическом и литологическом составе исследуемых горных пород в рамках исследования было проведено детальное литологическое описание горных пород и петрографических шлифов, также для описания минералогического состава и строения пустотного и порового пространства использованы результаты исследований, полученных при помощи электронно-микроскопических исследований. По результатам определения параметра смачиваемости коллектора пласта $YV_{1/1}$ показатель смачиваемости M варьируется в пределах от 0,03 до 0,40, что классифицирует его как гидрофобную и преимущественно гидрофобную породу. Полученные данные о характере смачиваемости коллекторов, слагающих продуктивные пласты, рекомендуется рассматривать как уточняющий параметр в совокупности с коэффициентами фазовой проницаемости и коэффициентами вытеснения нефти водой для выбора агента вытеснения при планировании методов повышения нефтеотдачи пластов.

Ключевые слова: смачиваемость горных пород, пласт BV_8 , пласт $YV_{1/1}$ **WETTABILITY OF ROCKS OF BV_8 AND $YV_{1/1}$ FORMATIONS WITHIN THE EASTERN PART OF THE NORTH VARTOVSKAYA MEGATERRACE****Zhidkov E.O., Farrakhova O.A., Reshetnikov M.V.***LUKOIL-Engineering LLC, Kogalym, e-mail: Mikhail.Reshetnikov@lukoil.com*

The purpose of the study is to determine the character of wettability of rocks of productive formations and its dependence on the mineralogical composition. In the work the parameter of wettability of reservoir rocks composing productive formations BV_8 and $YV_{1/1}$ was investigated. The studies were carried out according to OST 39-180-85. The rocks of the BV_8 formation are characterized by high values of the wettability parameter M 0.70-0.97, which classifies them as hydrophilic and predominantly hydrophilic. To form a more detailed idea of the mineralogical and lithological composition of the studied rocks, a detailed lithological description of the rocks and petrographic samples was carried out within the framework of the research; also, the results of studies obtained by means of electron-microscopic research were used to describe the mineralogical composition and the structure of the void and pore space. According to the results of determining the wettability parameter of the reservoir of the $YV_{1/1}$ formation, the wettability parameter M varies from 0.03 to 0.40, which classifies it as hydrophobic and predominantly hydrophobic rock. It is recommended to consider the obtained data on the character of reservoir wettability, which compose productive formations, as a clarifying parameter in conjunction with phase permeability coefficients and oil displacement coefficients with water to select a displacement agent when planning enhanced oil recovery methods.

Keywords: rock wettability, reservoir BV_8 , reservoir $YV_{1/1}$ **Введение**

Смачиваемость поверхности горных пород – это физическое свойство, которое в значительной степени определяет процесс извлечения нефти из пласта. Смачиваемость оказывает существенное влияние на различные свойства горных пород, такие как капиллярное давление, относительные фазовые проницаемости, остаточная нефтенасыщенность и др. Структурно-текстурные и поверхностно-молекулярные сложности горных пород определяют зависимость разных свойств горных пород от их смачиваемости, что придает ей значимость в перемещении флюидов внутри пласта и в процессах выдавливания нефти [1].

В горных породах смачиваемость может варьировать от сильно гидрофильной до сильно гидрофобной, во многом это зависит от взаимодействия пластовых флюидов с поверхностью горной породы, вследствие чего смачиваемость представляется одним из ключевых критериев характеристики коллектора [2–4]. В последние годы вырос интерес к изучению смачиваемости горных пород при решении производственных задач в нефтяной геологии [5–7]. Особое внимание уделяется изменениям смачиваемости пород-коллекторов в процессе разработки [8].

Целью исследования является определение характера смачиваемости горных

пород продуктивных пластов и их зависимость от минералогического состава.

Материалы и методы исследования

Определение смачиваемости выполнено по ОСТ 39-180-85 [9]. Для определения показателя смачиваемости породы необходим стандартный цилиндр для определения фильтрационно-емкостных свойств, хорошо консолидированный [10, с. 360]. На образцах недопустимо наличие сколов и трещин.

Проведение эксперимента

1. Экстрагированный образец с известной проницаемостью (не менее 0,01 мкм²) насыщают и производят гидростатическое взвешивание образца в воде.

2. Погружают насыщенный моделью пластовой воды образец в керосин на 20 ч. Производят гидростатическое взвешивание, определяют массу образца в воде.

3. Образец помещают в стакан центрифуги, заполненный керосином, и производят центрифугирование в течение 30 мин при факторе разделения 2500. Производят гидростатическое взвешивание, определяя массу образца в воде.

4. Испытуемый образец породы погружают в модель пластовой воды на 20 ч. Производят гидростатическое взвешивание, определяя массу образца в воде.

5. Цилиндр опускают в емкость, содержащую модель пластовой воды, и центрифугируют полчаса. Производят гидростатическое взвешивание, определяя массу образца в воде.

6. Полученные значения вносят в таблицу [9].

Обработка результатов эксперимента

Количество воды, вытесненной керосином из образца в результате противоточной капиллярной пропитки, определяется по формуле [10, с. 356]:

$$V_B = \frac{(P_1 - P_2)}{(\rho_B - \rho_K)}, \quad (1)$$

где V_B – объем воды, выдавленный керосином, см³; P_1 – масса образца в модели пластовой воды, насыщенного моделью пластовой воды, г; P_2 – масса цилиндра в модели пластовой воды после противоточной капиллярной пропитки, г; ρ_B – плотность модели пластовой воды, г/см³; ρ_K – плотность керосина, г/см³.

Количество воды (V_B^Σ), вытесненной керосином из образца в результате про-

тивоточной капиллярной пропитки и центрифугирования, определяется по формуле [10, с. 356]:

$$V_B^\Sigma = \frac{(P_1 - P_3)}{(\rho_B - \rho_K)}, \quad (2)$$

где P_3 – масса цилиндра в модели пластовой воды после центрифугирования в керосине, г; остальные обозначения приведены в формуле (1).

Количество керосина (V_K), вытесненного моделью пластовой воды из образца за счет противоточной капиллярной пропитки, определяется по формуле [10, с. 172]:

$$V_K = \frac{(P_4 - P_3)}{(\rho_B - \rho_K)}, \quad (3)$$

где P_4 – масса образца в модели пластовой воды после погружения его в модель пластовой воды в течение 20 ч, г; остальные обозначения приведены в формулах 1 и 2.

Общий объем керосина (V_K^Σ), вытесненного моделью пластовой воды из образца в результате противоточной капиллярной пропитки и центрифугирования, определяется по формуле [11, с. 356]:

$$V_K^\Sigma = \frac{(P_5 - P_3)}{(\rho_B - \rho_K)}, \quad (4)$$

где P_5 – масса образца в модели пластовой воды после капиллярной пропитки и центрифугирования в воде, г.

Смачиваемость (М) поверхности цилиндра определяется по формуле [11, с. 173]:

$$M = \frac{V_K}{V_K^\Sigma} = \frac{(P_4 - P_3)}{(P_5 - P_3)}. \quad (5)$$

Результаты определения категории смачиваемости представлены в таблице.

Характеристика смачиваемости поверхности породы по показателю смачиваемости М [11, с. 173]

Показатель смачиваемости М	
0,0–0,2	Гидрофобная
0,2–0,4	Преимущественно гидрофобная
0,4–0,6	Промежуточная смачиваемость
0,6–0,8	Преимущественно гидрофильная
0,8–1,0	Гидрофильная

Для формирования более детального представления о минералогическом и ли-

тологическом составе исследуемых горных пород в рамках исследований было проведено детальное литологическое описание горных пород и петрографических шлифов, также для описания минералогического состава и строения пустотного и порового пространства использованы результаты электронно-микроскопических исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе представлены результаты изучения смачиваемости пород коллекторов, слагающих продуктивные пласты БВ₈ и ЮВ_{1/1}. Продуктивные пласты выделены в отложениях мегионской, баженовской, васюганской и тюменской свит. Залежи нефти выявлены в пластах БВ₇, БВ₈, БВ₉, БВ₁₀, Ю_{1/1} и Ю₂.

Литология пласта БВ₈

Горизонт БВ₈ приурочен к верхней части мегионской свиты. Основные запасы углеводородов месторождения сосредоточены в этом пласте. Отложения представлены переслаиванием песчаников и алевролитов. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, алевроитовые, неравномерно глинистые. Алевролиты темно-серые, мелко-крупнозернистые, песчанистые, неравномерно

глинистые, рассеянная примесь глинистого материала 40%. По данным рентгеноструктурного анализа основным глинистым минералом цемента является хлорит в виде тонких пленок вокруг зерен.

По данным электронно-микроскопического исследования значительный объем породы составляют мелкие межмикроагрегатные микропоры изометричной формы со средним диаметром 2–4 мкм, межмикроагрегатно-зернистые микропоры анизометричной формы с сечением 10–15 мкм, межчастичные ультрамикропоры щелевидной формы с диаметром 0,05–0,1 мкм. Поверхность большинства зерен кварца и полевых шпатов покрыта тонкими пластинчатыми глинистыми частицами и ультрамикроагрегатами хлоритового состава (рис. 1).

Алевролиты мелко-крупнозернистые песчаные пласта БВ₈ имеют следующую характеристику. Поровое пространство породы состоит из межмикроагрегатных пор щелевидной формы со средней шириной 2–4 мкм, межультрамикроагрегатных тонких микропор анизометричной формы со средним диаметром 0,3–0,5 мкм. Поверхность большинства зерен кварца и полевых шпатов покрыта тонкими изометрично-пластинчатыми глинистыми частицами иллит-хлоритового состава (рис. 2).

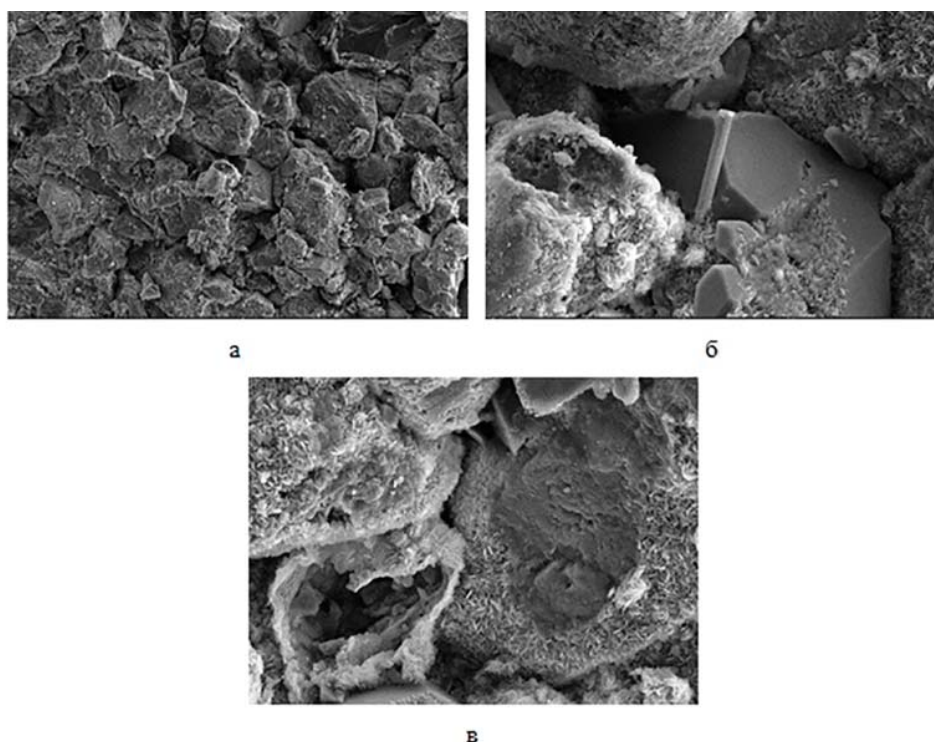


Рис. 1. Микрофотографии участков поверхности образца: а – общий вид песчаника; б, в – обломочные зерна кварца и полевых шпатов, микроагрегаты хлорита

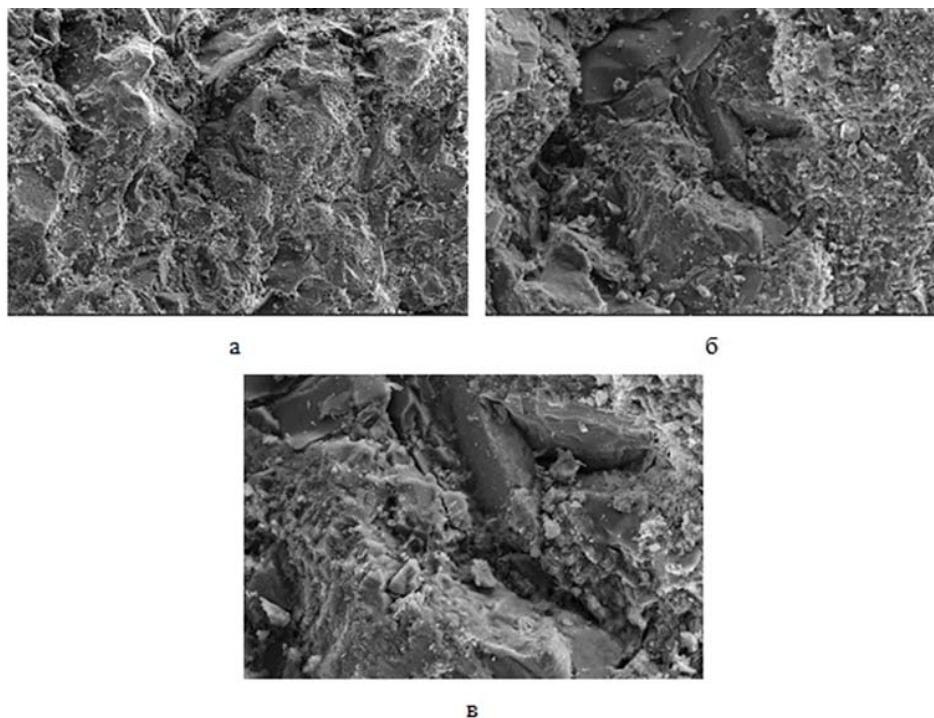


Рис. 2. Микрофотографии участков поверхности образца: а – общий вид алевролита; б, в – тонкие пленки глинистых частиц на поверхности обломочных зерен кварца, полевых шпатов

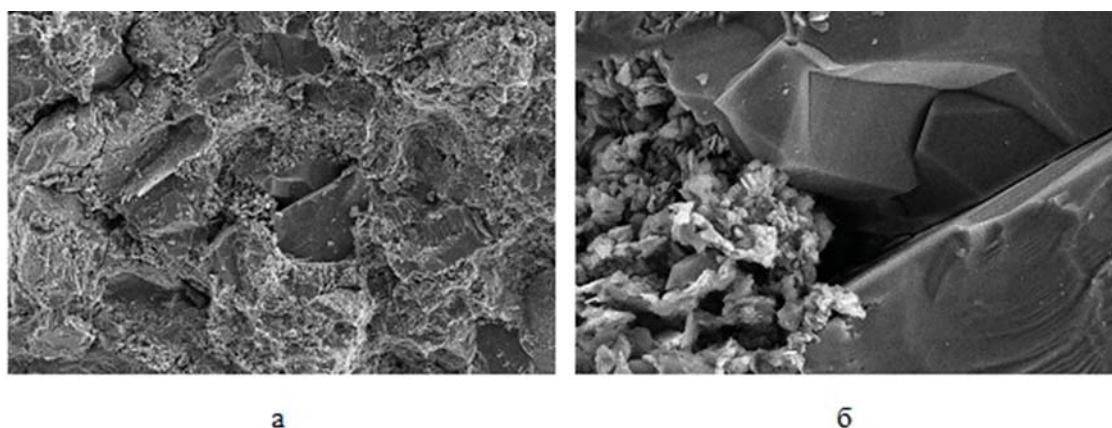


Рис. 3. Микрофотографии участков поверхности образца: а – общий вид песчаника; б – поровое пространство, частично выполненное каолинитом

Литология пласта ЮВ_{1/1}

Нефтегазоносность васюганской свиты связана с пластом ЮВ_{1/1}, залегающим в ее верхней части, достаточно выдержанным по площади и по разрезу. Отложения пласта ЮВ_{1/1} представлены песчаниками средне-мелкозернистыми, алевритистыми, с признаками углеводородов и алевролитами мелко-крупнозернистыми, песчанистыми, слабо пелитистыми, с признаками углеводородов. Цемент карбонатно-глинистый. В глинистой составляющей преобладает каолинит. Кар-

бонатная составляющая представлена кальцитом, доломитом и сидеритом.

По данным электронно-микроскопического исследования основную часть порового пространства составляют мелкие микропоры неравномерной формы со средним диаметром 2–4 мкм и крупные межмикроагрегатные микропоры изометричной формы с сечением 10–15 мкм, наиболее многочисленны межчастичные ультрамикропоры щелевидной формы со средней толщиной 0,1–0,2 мкм (рис. 3).

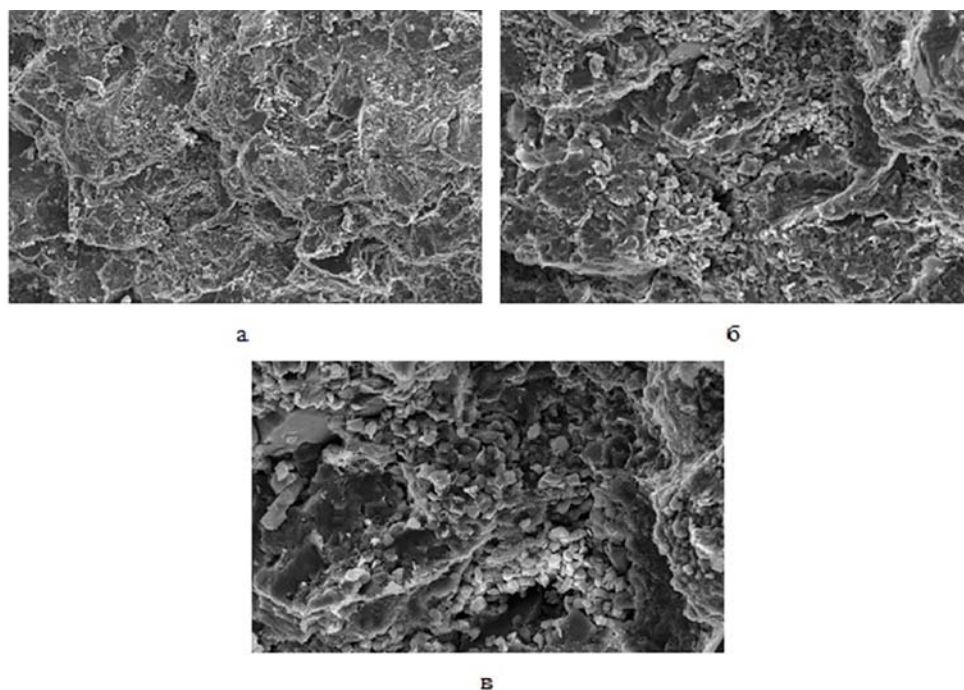


Рис. 4. Микрофотографии участков поверхности образца: а – общий вид песчаника; б, в – многочисленные участки развития каолинита

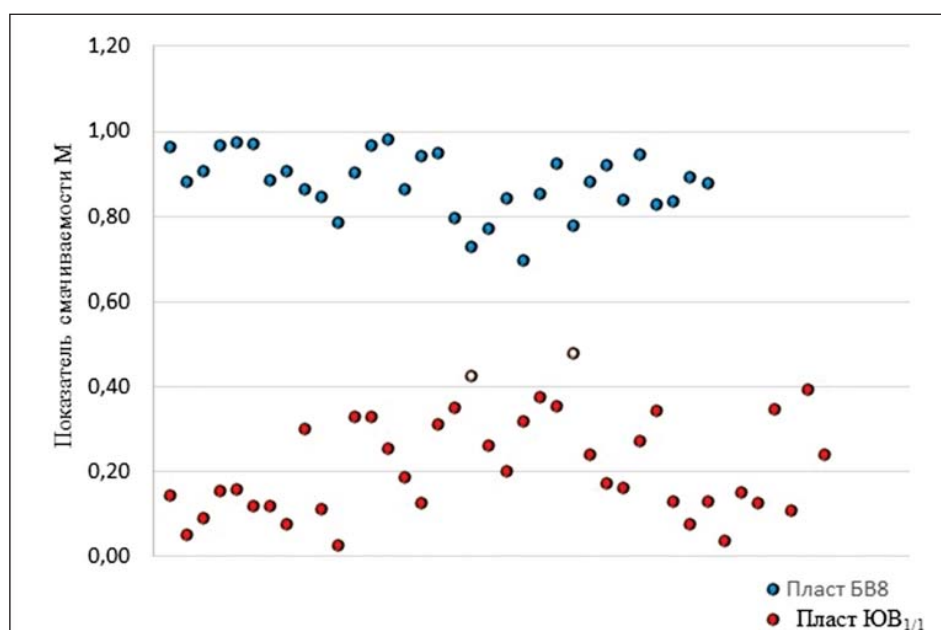


Рис. 5. Результаты определения показателя смачиваемости для пластов БВ₈ и ЮВ_{1/1}

Песчаники мелкозернистые алевритовые, слабо глинистые пласта ЮВ_{1/1} имеют следующую характеристику. Пространство между порами формируется микропорами со средним диаметром 1–3 мкм, межмикроагрегатно-зернистыми микропорами неравномерной формы со средней шириной 3–5 мкм, межчастичными ультрами-

кропорами щелевидной формы со средней толщиной 0,1–0,2 мкм. Отмечается среднекристаллический каолинит. Кристаллы хорошо окристаллизованы и часто образуют многочисленные плотные букетовидные агрегаты псевдогексагонального габитуса, заполняющие собой поровое пространство (рис. 4).

Результаты определения характера смачиваемости коллекторов, слагающих продуктивные пласты БВ₈ и ЮВ_{1/1}

Породы пласта БВ₈ характеризуются высокими значениями показателя смачиваемости М 0,70–0,97, что классифицирует их как гидрофильные и преимущественно гидрофильные. По результатам определения параметра смачиваемости коллектора пласта ЮВ_{1/1} показатель смачиваемости М варьируется в пределах от 0,03 до 0,40, что классифицирует его как гидрофобную и преимущественно гидрофобную породу. В гидрофильной системе вода покрывает зерна скелета и заполняет мелкие поры, а нефть заполняет крупные поры, находясь в их центре. В гидрофобных системах нефть обволакивает зерна скелета и занимает меньшие поры, а вода заполняет центр больших пор. Показатель М изменяется в зависимости от состава нефти, минерального состава внутрипоровой поверхности, цементации, петрофизических характеристик образца.

На смачиваемость влияют концентрации карбонатных минералов и минералов группы глин (хлорит, каолинит). Известно, что в нефтенасыщенных песчаниках каолинит является чаще гидрофобным, а иллиты и хлориты, как правило, больше тяготеют к гидрофильности. Различия в характере смачиваемости этих элементов связаны со структурными различиями этих глинистых минералов. Для коллекторов, сложенных обломочными породами, гидрофобиза-

ция увеличивается в процессе увеличения карбонатного цемента [12].

Результаты определения характера смачиваемости пород коллекторов представлены на рис. 5.

По результатам петрофизических исследований параметров удельного электрического сопротивления частично насыщенных образцов и коэффициентов водоудерживающей способности для каждого пласта были построены зависимости $\log(P_H)$ и $\log(KBC)$ (рис. 6), где P_H – показатель, указывающий на рост удельного электрического сопротивления не полностью насыщенной породы по сравнению с ее удельным электрическим сопротивлением в насыщенном цилиндре.

Параметр насыщения рассчитывается согласно уравнению Арчи – Дахнова [9]:

$$P_H = \frac{a_n}{K_B^n}, \quad (6)$$

где $a_n(a)$ и n – эмпирические константы, определяемые для каждой коллекции образцов; K_B – коэффициент водонасыщенности, д.ед. %.

$a_n(a)$ – определяется геометрией объема остаточной воды в порах. Обычно $a_n(a) \approx 1$. n – показатель насыщения, степень гидрофобности или гидрофильности, определяется характером смачиваемости породы. Абсолютно гидрофобными ($n > 5$) принято считать лишь твердые битумы и ископаемые угли, а также в ряде случаев породы нефтегазоматеринских толщ.

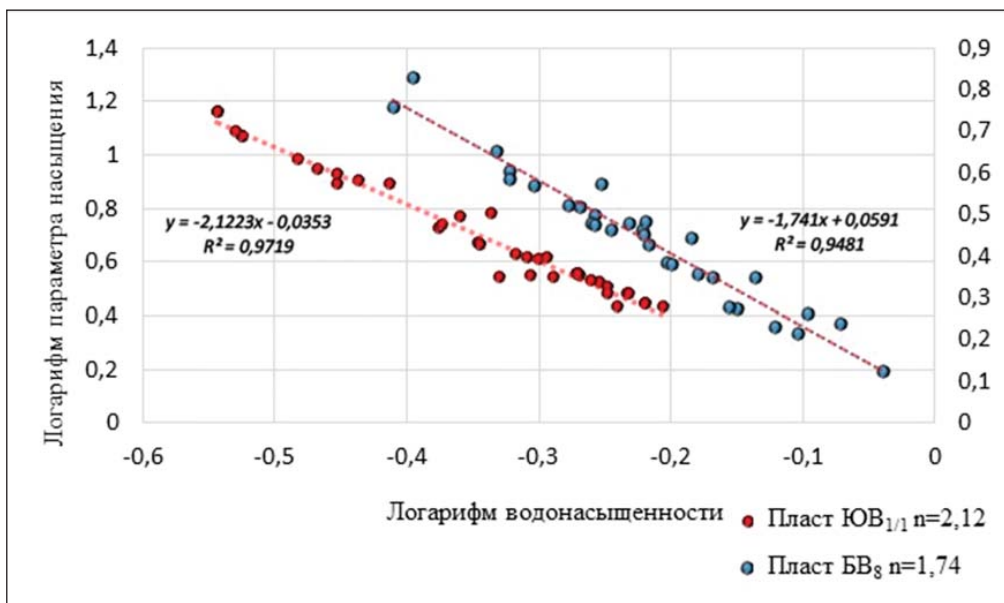


Рис. 6. График зависимостей $\log(P_H)$ и $\log(KBC)$

При $n > 2$ – порода гидрофобная, чем больше значение n , тем более гидрофобна порода. Увеличение гидрофобизации с увеличением n характерно для пород с любым типом пустотного пространства [12].

Заключение

В ходе исследования были определены значения коэффициента n для пластов БВ₈ и ЮВ_{1/1}, равные 1,74 и 2,12 соответственно, что, в свою очередь, подтверждает гидрофильность пласта БВ₈ и гидрофобность пласта ЮВ_{1/1}. Полученные данные о характере смачиваемости коллекторов, слагающие продуктивные пласты, рекомендуется рассматривать как уточняющий параметр в совокупности с коэффициентами фазовой проницаемости и коэффициентами вытеснения нефти водой для выбора агента вытеснения при планировании методов повышения нефтеотдачи пластов.

Список литературы

1. Гвоздик С.П., Макастров А.К., Русских К.Г., Шишлова Л.М. Оценка смачиваемости образцов терригенных горных пород на основе измерений диффузионно-адсорбционной активности // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 4. С. 50–56. DOI: 10.17122/ngdelo-2021-4-50-56.
2. Гурбатова И.П., Мелехин С.В., Чижов Д.Б., Файрузова Ю.В. Особенности изучения смачиваемости сложно построенных карбонатных пород-коллекторов лабораторными методами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2016. № 1. С. 43–47.
3. Сергеев В.В., Танимото К., Абэ М. Оценка влияния коллоидных систем с наночастицами на смачиваемость поверхности карбонатных горных пород // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. Т. 12, № 3. С. 166–173. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-166-173.
4. Мурцовкин В.А. Использование метода ядерно-магнитного резонанса для определения смачиваемости горных пород // Каротажник. 2016. № 1 (259). С. 35–44.
5. Шульга Р.С., Саломатин Е.Н., Новосадова И.В. Влияние смачиваемости на удельное электрическое сопротивление водонасыщенных и нефтеводонасыщенных горных пород в атмосферных и термобарических условиях пласта // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 10 (346). С. 99–105. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-10(346)-99-105.
6. Разницын А.В., Кочергин Е.А., Чижов Д.Б. Изучение петрофизических и динамических характеристик негидрофильных коллекторов месторождений Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2024. № 10 (394). С. 47–55.
7. Неволин А.И., Чижов Д.Б., Путилов И.С. Комплексный подход к определению остаточной водонасыщенности в лабораторных условиях на керне негидрофильных коллекторов месторождений нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2022. № 5 (365). С. 43–49. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-5(365)-43-49.
8. Колычев И.Ю. Изучение зональности распределения показателей смачиваемости по данным бокового каротажа для нефтенасыщенных визейских коллекторов Соликамской депрессии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16, № 4. С. 331–341. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.4.
9. ОСТ 39-180-85. Нефть. Метод определения смачиваемости углеводородсодержащих пород. М.: Миннефтепром, 1985. 14 с.
10. Макфи К., Рид Дж., Зубизаретта И. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. 924 с.
11. Михайлов Н.Н., Моторова К.А., Сечина Л.С. Смачиваемость нефтегазовых пластовых систем: учебное пособие. М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. 360 с.
12. Абасов М.Т., Алияров Р.Ю., Кондрушкин Ю.М., Мусаев Р.А., Гашимов А.Ф., Лунина В.Н., Мустафаев Р.Т., Гасымов А.Ш., Адигезалова А.А. Смачиваемость пород-коллекторов в процессе разработки залежей нефти // Нефтяное хозяйство. 2004. № 8. С. 69–71.

УДК 622.013.364.2
DOI 10.17513/use.38352

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПЛОДОРОДНОГО ПОЧВЕННОГО СЛОЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «АБАЛАКСКИЙ ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС»)

Токарева А.Ю., Алимова Г.С., Земцова Е.С., Кайгородов Р.В.

*ФГБУН Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения
Российской академии наук, Тобольск, e-mail: aytokareva@list.ru*

В данной работе представлен опыт проведения экспертизы плодородного почвенного слоя на территории заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс» и разработаны рекомендации по его восстановлению на основе проведения культивационных работ. Заказник расположен в северо-восточной части Тобольского муниципального района и имеет большую экологическую и историческую ценность. В границах заказника с разрешения надлежащих органов был организован карьер «Санниковский» для добычи песка. По результатам осмотра главным специалистом особо охраняемых природных территорий управления экологии Департамента недропользования и экологии Тюменской области зафиксированы 10 участков, где уничтожен плодородный слой почвы, общей площадью 56249 м². В результате судебных разбирательств суд принял решение назначить по делу экспертизу, проведение экспертизы поручить специалистам Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения Российской академии наук. На основании экспертизы были получены данные, не соответствующие материалам искового заявления. Результаты проведенной экспертизы удовлетворили судебную коллегию, и она смогла вынести решение. Данная работа может представлять интерес для специалистов-экологов при оценке нарушения или уничтожения плодородного почвенного покрова.

Ключевые слова: экспертиза, плодородный почвенный слой, ущерб, заказник

Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по темам: «Региональные особенности пространственно-временной дифференциации почв юга Тюменской области» (Регистрационный номер НИОКТР: 122011900105-8), «Эколого-геохимические преобразования почв экосистем Обь-Иртышского бассейна под воздействием природных и техногенных факторов» (Регистрационный номер НИОКТР: 1024032000029-9-1.5.4).

THE EXPERIENCE OF CONDUCTING AN EXAMINATION OF A FERTILE SOIL LAYER (USING THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF THE RESERVE OF REGIONAL SIGNIFICANCE “ABALAK NATURAL HISTORICAL COMPLEX”)

Tokareva A.Yu., Alimova G.S., Zemtsova E.S., Kaygorodov R.V.

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tobolsk, e-mail: aytokareva@list.ru*

This paper presents the experience of conducting an expert examination of a fertile soil layer on the territory of the reserve of regional significance “Abalak natural historical complex” and developed recommendations for its restoration based on cultivation work. The reserve is located in the northeastern part of the Tobolsk municipal district and has great ecological and historical value. Within the boundaries of the reserve, with the permission of the appropriate authorities, the Sannikovsky quarry was organized for sand extraction. According to the results of the inspection by the chief specialist of the specially protected natural territories of the Ecology Department of the Department of Subsoil Use and Ecology of the Tyumen region, 10 sites were recorded where a fertile soil layer was destroyed, with a total area of 56,249 m². As a result of the court proceedings, the court decided to appoint an expert examination of the case. Experts from the Tobolsk Integrated Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences will be assigned to conduct the examination. Based on the examination, data was obtained that did not correspond to the materials of the statement of claim. The results of the examination satisfied the judicial board, and it was able to make a decision. This work may be of interest to environmental experts in assessing the disturbance or destruction of fertile soil cover.

Keywords: expertise, fertile soil layer, damage, nature reserve

The work was carried out within the framework of fundamental scientific research on the topics: “Regional features of spatio-temporal differentiation of soils in the south of the Tyumen region” (Registration number of research and development works: 122011900105-8), “Ecological and geochemical transformations of soils of the Ob-Irtysh basin ecosystems under the influence of natural and man-made factors (Registration number of research and development works: 1024032000029-9-1.5.4).

Введение

Соблюдение техники проведения работ при добыче полезных ископаемых имеет большое значение. Несоответствие технологического процесса часто приводит к нарушению и уничтожению почвенного покрова [1–3]. При фиксировании нарушения и уничтожения почвенного покрова целесообразно проводить рекультивацию нарушенных земель. В Российской Федерации и за ее пределами накоплен значительный опыт восстановительных работ, особенно на месторождениях различных видов полезных ископаемых [4]. Специфика нарушенных земель и природно-географических условий вызывает необходимость индивидуального подхода к проектированию рекультивационных работ в каждом конкретном регионе. Так, в частности, рекультивация песчаных карьеров в ряде регионов страны освещена в научной литературе [5–7].

В настоящей работе представлен опыт проведения экспертизы уничтожения плодородного почвенного слоя на территории заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс».

Заказник утвержден Постановлением Правительства Тюменской области от 11.09.2006 № 206-п «О создании комплексного заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс», в настоящее время он занимает площадь 88173,14 га [8]. Категория «Особо охраняемые природные территории» (далее ООПТ) согласно классификации Международного союза охраны природы IV. Заказник расположен в юго-западной части Западно-Сибирской низменности на возвышенности Тобольский материк на правом берегу Иртыша и частично – на левом берегу р. Иртыш, в 8 км к востоку от г. Тобольска (рис. 1).

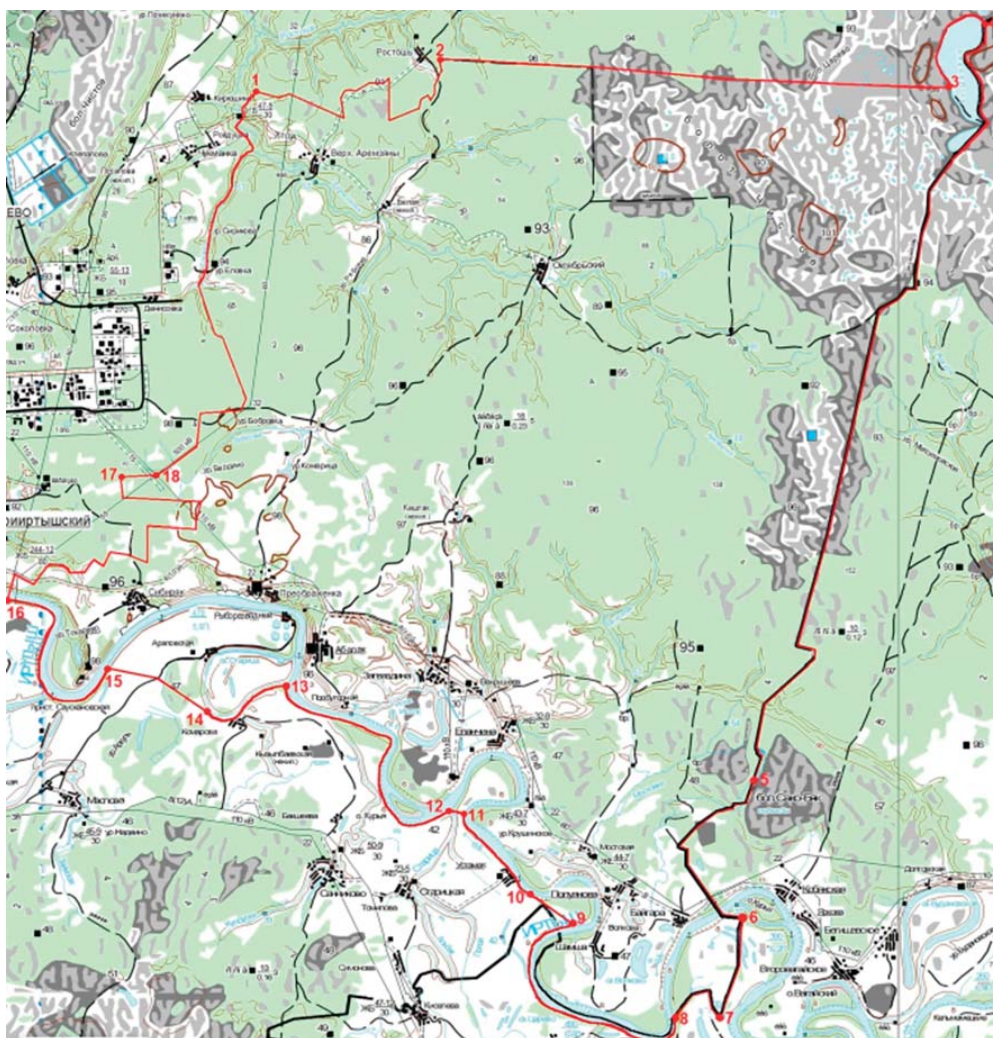


Рис. 1. Карта-схема расположения ООПТ заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс» [8]



Рис. 2. Запесочивание почвенного покрова на территории, прилегающей к участку недр «Санниковский» (фото А.Ю. Токаревой)

Основные цели создания данной ООПТ – сохранение в естественном состоянии природных комплексов и компонентов; охрана наиболее уязвимых природных комплексов и компонентов; создание условий для обеспечения сохранности объектов культурного наследия и выявленных объектов культурного наследия, расположенных в границах заказника; создание условий для обеспечения сохранности памятных мест [8, 9].

10.09.2018 акционерному обществу (далее АО) «П...» Департаментом недропользования и экологии Тюменской области была выдана лицензия на право пользования недрами [10].

В ходе проведения осмотра Департаментом недропользования установлено, что АО «П...» осуществляет пользование недрами на участке «Санниковский» с нарушением условий лицензионного соглашения, а именно допущено размещение карт намыва в границах заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс», что в нарушает режим особой охраны заказника (рис. 2) [10]. В межрайонную прокуратуру из Департамента недропользования и экологии Тюменской области поступил акт осмотра нарушения почвенного покрова заказника вблизи участка недр «Санниковский» (рис. 2). Кроме того, в ходе осмотра зафиксировано, что на заказнике регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс» уничтожен пло-

дородный слой почвы на площади 56249 м², о чем в Калининский районный суд г. Тюмени поступило исковое заявление Тобольского межрайонного прокурора в интересах Российской Федерации и неопределенного круга лиц к АО «П...» [10].

В результате судебных разбирательств судом было принято решение назначить по делу судебную экспертизу. Специалисты Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения Российской академии наук провели данную экспертизу по решению суда.

Экспертам нужно было выяснить, имеется ли в границах земель уничтожение плодородного почвенно-растительного слоя и, если имеется, какова его площадь. Для комплексной оценки к работе привлекались химики-почвоведы и ботаники.

Целью исследования является анализ состояния плодородного почвенного слоя на территории заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс» и разработка рекомендаций по его восстановлению на основе проведения культивационных работ. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи: провести отбор объединенных почвенных проб в границах земель; провести количественный химический анализ объединенных почвенных проб почвы; по результатам анализа подготовить отчет о состоянии плодородного слоя почв.



Рис. 3. Карта-схема расположения исследуемых участков (1–10, 11 (фон)) почвенного покрова и геоботанических исследований

Материалы и методы исследования

С каждого из 10 участков были отобраны объединенные пробы почвы. Для сравнения была принята близлежащая территория с неповрежденным почвенным покровом (фоновая территория) (рис. 3), где также была отобрана объединенная проба почвы. Объединенная проба представляет собой пять точечных проб, отобранных по углам площадки и в центре (метод конверта) с глубины 0–5 и 5–20 см. Точечные пробы отобраны лопатой (ГОСТ 19596-87).

Пригодность плодородного слоя почв рекомендуется проводить в соответствии с ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы (ССОП). Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» [10]. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий (М.: ЦНТИПР, 1994) [11].

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты количественного химического анализа образцов почв на участках № 1–10 и фоновом участке № 11, отобранных по глубине 0–5 и 5–20 см (по основным агрохимическим показателям).

Самые низкие значения основных агрохимических показателей по глубине по-

чвы 0–5 и 5–20 см выявлены на участках № 4, 7 и 9. Значения pH водной вытяжки во всех образцах почв, отобранных в плодородном слое почвы, находятся в пределах 5,5–8,2 единиц pH в соответствии с ГОСТ 17.5.1.03-86; pH солевой вытяжки в образцах почв варьирует от сильноокислой среды до нейтральной.

Превышение предельно допустимых концентраций подвижных форм металлов (цинка, меди, марганца, кобальта, свинца) обнаружено в почвах не было, как на всех исследуемых участках, так и на фоновом участке (табл. 2). Сумма токсичных солей во всех образцах проб почв составила менее 0,01 %, то есть почвы на исследуемых участках № 1–10 и на фоновом участке № 11 относятся к незасоленным по классификации Н.И. Базилевич, Е.И. Панковой [12]. Содержание алюминия подвижного в почвах всех участков находится в пределах 0–3 мг/100 г, что соответствует ГОСТ 17.5.1.03-86.

Значения удельной активности естественных радионуклидов – радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137 и стронция-90 в образцах проб почв, отобранных по глубине от 0 до 5 и от 5 до 20 см на всех исследуемых участках, в том числе и на фоновом, находятся в одних числовых диапазонах и не превышают допустимые уровни СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [13].

Таблица 1

Основные агрохимические показатели образцов проб почвы по глубине 0–5/5–20 см

№ участка	Показатели							Обменный магний
	Водо-растворимый фосфор (P ₂ O ₅)	Подвижный калий	Емкость катионного обмена	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Обменный калий	Обменный магний	
	мг/кг	мг/кг	мг·экв/100 г почвы		ммоль/100 г почвы			
1		<50/<50	20/18	0,54/0,78	5,0/5,2	4,00/5,00	1,25/1,75	
2		67,6/74,4	26/24	2,00/2,21	12,6/13,0	10,00/12,00	3,75/4,25	
3		61,7/59,2	24/24	1,94/2,31	13,2/12,0	18,80/17,50	4,75/4,50	
4		<50/<50	14/14	0,33/0,41	3,8/3,4	2,00/2,25	1,25/1,50	
5		86,2/99,2	28/30	0,91/1,18	16,4/19,2	14,30/17,50	3,75/4,00	
6	<12,5/<12,5	95,9/91,1	30/30	1,94/1,94	16,4/18,2	15,00/16,30	3,75/5,00	
7		<50/<50	16/16	0,87/1,26	7,0/7,0	4,75/4,75	1,75/1,75	
8		66,2/73,0	22/30	2,35/2,68	13,4/14,0	10,00/11,30	3,50/4,50	
9		<50/<50	24/22	0,59/0,44	4,4/3,6	2,75/2,50	1,50/1,50	
10		63,3/72,8	30/32	1,15/1,26	11,0/12,2	7,50/9,75	2,50/3,50	
11 (фон)		177/142	38/34	6,05/5,25	15,8/13,4	13,0/11,3	3,25/2,50	
Группировка почв по показателям [11]	менее 25 – очень низкое; 26–50 – низкое; 51–100 – среднее; 101–150 – повышенное; 151–250 – высокое; более 250 – очень высокое	менее 20 – очень низкое; 21–40 – низкое; 41–80 – среднее; 81–120 – повышенное; 121–180 – высокое; более 180 – очень высокое	менее 5,0 – очень низкая; 5,1–15,0 – низкая; 15,1–25,0 – умеренно низкая; 25,1–35,0 – средняя; 35,1–45,0 – умеренно высокая; более 45,0 – очень высокая	более 6,0 – 1 группа; 5,1–6,0 – 2 группа; 4,1–5,0 – 3 группа; 3,1–4,0 – 4 группа; 2,1–3,0 – 5 группа; менее 2,0 – 6 группа	менее 5,0 – очень низкая; 5,1–10,0 – низкая; 10,1–15,0 – средняя; 15,1–20,0 – повышенная; 20,1–30,0 – высокая; более 30,0 – очень высокая	0–2,5 – очень низкое; 2,6–5,0 – низкое; 5,1–10,0 – среднее; 10,1–15,0 – повышенное; 15,1–20,0 – высокое; более 20,0 – очень высокое	менее 0–0,5 – очень низкое; 0,6–1,0 – низкое; 1,1–2,0 – среднее; 2,1–3,0 – повышенное; 3,1–4,0 – высокое; более 4,0 – очень высокое	

Таблица 2

Содержание металлов в образцах проб почвы по глубине 0–5/5–20 см

№ участка	Подвижная форма, мг/кг						
	Цинк	Кадмий	Медь	Железо	Кобальт	Марганец	Свинец
1	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,22/0,21	>50/>50	0,05/<0,05	<10,00/<10,00	0,53/0,35
2	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,26/0,27	>50/>50	0,06/0,09	<10,00/<10,00	0,90/1,04
3	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,26/0,26	>50/>50	0,11/0,2	<10,00/<10,00	1,09/1,06
4	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,21/0,22	>50/>50	0,07/0,18	<10,00/<10,00	0,58/0,81
5	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,31/0,25	>50/>50	0,14/0,27	14,08/11,95	1,17/1,33
6	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,24/0,28	>50/>50	0,16/0,13	<10,00/<10,00	1,31/1,43
7	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,22/0,23	>50/>50	0,18/0,18	13,27/<10,00	0,87/0,96
8	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,24/0,25	>50/>50	0,27/0,11	<10,00/<10,00	1,11/1,18
9	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,22/0,22	>50/>50	0,26/0,24	<10,00/<10,00	1,26/0,86
10	<2,00/<2,00	<0,05/<0,05	0,21/0,22	>50/>50	0,23/0,27	<10,00/<10,00	1,13/1,11
11 (фон)	3,95/2,35	<0,05/<0,05	0,25/0,24	>50/>50	0,51/0,48	15,02/10,43	1,92/1,66
Гигиенический норматив по ГН 2.1.7.2041-06, ПДК	23 (подвижная форма)	1	3,0 (подвижная форма)	1	5,0 (подвижная форма)	300 (подвижная форма)	6,0 (подвижная форма)

Превышение предельно допустимых концентраций пестицидов (0,1 мг/кг по ГН 1.2.3539-18 [14]) – гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ), в образцах пробы почв на всех исследуемых участках, в том числе и на фоновом, по глубине 0–5 и 5–20 см почвы не выявлено. Их содержание составило менее 0,004 мг на 1 кг почвы во всех образцах почв.

В соответствии с ГОСТ 17.5.1.03-86 для гумусированных горизонтов почв содержание гумуса должно составлять более 1 %, этому требованию не соответствуют образцы почв участков № 3 (глубина 5–20 см), 4 и 7. В почве исследуемых участков, в результате полученных данных по содержанию органического вещества в комплексе с другими основными агрохимическими показателями, следует рассмотреть возможность повышения содержания гумуса почвы в границах пробной площадки участка № 3, а в почвах участков № 4, 7 и 9 – восстановления плодородного слоя.

Заключение

По результатам количественного химического анализа выявлено следующее:

– во всех образцах почвы, включая почву с фонового участка, не обнаружены тяжелые металлы, остаточные количества пестицидов, радиоактивные элементы в

концентрациях, превышающих предельно допустимые уровни;

– нарушение плодородного слоя почвы на глубине 0–20 см обнаружено на участках № 4 и 7 (с учетом содержания гумуса менее 1 %), на № 9 выявлены самые низкие концентрации агрохимических показателей. Для скорейшего восстановления плодородия почвы на данных участках необходимо проведение культивационных работ. Рекультивационные работы рекомендуется выполнять в соответствии с ГОСТ 17.5.3.05-84 «Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию».

Методы проведенной экспертизы почвенного покрова удовлетворили судебную коллегию, и она с учетом комплексной оценки смогла принять правильное решение. Метод проведения данной экспертизы можно использовать при оценке иных нарушений плодородного почвенного слоя.

Данная работа может представлять интерес для специалистов-экологов при оценке нарушения или уничтожения почвенного покрова.

Список литературы

1. Даббаг А. Изучение свойств растений песчаных карьеров Московской области для восстановления растительности песчаных карьеров // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 3. С. 299–308. DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-3-299-308.
2. Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Эффективность рекультивации выработанного

песчаного карьера посевом сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 7–10.

3. Esyakova O.A., Soboleva S.V., Voronin V.M. The possibility of using drilling wastewater in the remediation of disturbed land // Journal of Agriculture and Environment. 2021. № 1 (17). С. 1–6. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.10.

4. Морозов А.Е., Холкин С.В., Строганов Е.А. Эффективность лесной рекультивации земель, нарушенных при добыче торфа (на примере Басьяновского месторождения) // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 1 (76). С. 12–22. DOI: 10.51318/fret.2021.31.56.002.

5. Павленко Д.И., Малая М.С., Башегуров К.А., Осипенко Р.А., Белов Л.А. Эффективность лесохозяйственного направления рекультивации песчаных карьеров // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 19–26. DOI: 10.51318/FRET.2022.44.46.003.

6. Денисов А.А., Тихановский А.Н. Агромелиоративные приемы биологической рекультивации песчаных карьеров в условиях Крайнего Севера // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 5. С. 36–39.

7. Чудецкий А.И., Шутов В.В., Рыжова Н.В. Опыт лесной рекультивации выработанного песчаного карьера // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. Т. 18, № 4. С. 112–115.

8. Постановление Правительства Тюменской области от 11 сентября 2006 года № 206-п. О создании государственного комплексного природного заказника регионального значения «Абалакский природно-исторический комплекс» в Тобольском муниципальном районе. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/802072869> (дата обращения: 27.11.2024).

9. Постановление Правительства Тюменской области от 18.03.2022 № 132-П «О внесении изменений в некоторые нормативные правовые акты» [Электронный ресурс] <http://publication.pravo.gov.ru/document/7200202203230034> (дата обращения: 27.11.2024).

10. Решение Калининского районного суда г. Тюмени Тюменской области от 25 декабря 2020 г. по делу № 2–7781/2020 [Электронный ресурс]. URL: <http://arbitr.garant.ru/#/document/317979816> (дата обращения: 29.11.2024).

11. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий / Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ. М.: ЦНТИПР, 1994. Дата принятия: 10 июня 1993 [Электронный ресурс]. URL: https://e-ecolog.ru/docs/9ZzRTvPdHcNk8-KE-ZA-h?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 05.11.2024).

12. Мамонтов В.Г., Панов Н.П., Кауричев И.С., Игнатьев Н.Н. Общее почвоведение. М.: КолосС, 2006. 456 с.

13. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», введен в действие с 01.09.2009 г. Зарегистрировано в Минюсте РФ 14 августа 2009 г. № 14534 [Электронный ресурс]. URL: <https://roszimdor.ru/upload/medialibrary/975/9757bb3f083ef574943fb504dcfddfc8.pdf> (дата обращения: 27.11.2024).

14. Методы полевых экологических исследований: учеб. пособие / авт. коллектив: О.Н. Артаев, Д.И. Башмаков, О.В. Безина [и др.]; редкол.: А.Б. Ручин (отв. ред.) [и др.]. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. 412 с. [Электронный ресурс]. URL: https://zapoved-mordovia.ru/uploads/images/izdania-zapovednika/Методы%20полевых2014_.pdf (дата обращения: 25.11.2024).

УДК 624.139.6

DOI 10.17513/use.38353

МЕТОДИКА АНАЛИЗА КРИВЫХ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕРЗЛЫХ И ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Царапов М.Н.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Москва, e-mail: 2265128@mail.ru*

Работа посвящена разработке комплексной методики анализа кривых ползучести мерзлых и оттаивающих грунтов. Полученная методика позволяет моделировать и прогнозировать характер деформирования грунтов при изменении природных и техногенных условий. Мерзлые и оттаивающие грунты постоянно находятся в динамичном неравновесном состоянии. Установление закономерностей механического поведения таких грунтов осложнено многообразием сочетания влияющих факторов и процессов. При исследовании процессов деформирования грунтов применяют соотношения между напряжениями и деформациями с разделением системы на упругие, вязкие и пластические элементы. Для расширения возможностей применения моделей увеличивают число элементов. Принимается, что на каждой ступени нагружения процесс деформирования протекает независимо от предыдущего этапа. Процесс деформирования многостадийный, и математическое уравнение выражается через сумму результатов всех этапов нагружения, каждое слагаемое характеризуется определенной моделью и свойствами. Чем больше количество определяющих факторов, тем больше параметров в исходном уравнении состояния. В целом уравнение состояния представляет связь между деформациями, напряжениями и временем. В статье приведено математическое описание деформирования мерзлого грунта с экспериментальным лабораторным подтверждением. Мерзлые грунты исследовались в испытаниях на одноосное сжатие при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 15 ч, при значениях напряжений от 1 до 5 МПа. В статье приведена новая методика анализа кривых ползучести при лабораторных испытаниях мерзлых и оттаивающих грунтов методами одноосного и компрессионного сжатия на основе кусочно-линейной аппроксимации. Разработанная методика позволяет корректировать прогноз изменения напряженно-деформируемого состояния грунтов в основании инженерных сооружений при их строительстве и эксплуатации с учетом изменяющихся внешних условий.

Ключевые слова: механика грунтов, мерзлые грунты, оттаивающие грунты, кривые ползучести, одноосное сжатие, компрессионное сжатие

METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF CREEP CURVES OF FROZEN AND THAWING SOILS BASED ON THE PIECEWISE LINEAR APPROXIMATION METHOD

Tsarapov M.N.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: 2265128@mail.ru

The article shows a comprehensive methodology for analyzing creep curves of frozen and thawing soils. The method makes it possible to model and predict the nature of soil deformation in unstable natural and anthropogenic conditions. Frozen and thawing soils are constantly in a dynamic non-equilibrium state. The mechanical behavior of such soils complicated by a variety of combinations influencing factors and processes. In the study of soil deformation processes, strain and deformation relations are separated into elastic, viscous and plastic elements. Number of elements is increased to expand the possibilities of soil models. It is accepted that the deformation process at one deformation stage is independent of the previous deformation stages. In addition to the deformation process is multistage, and its mathematical equation is expressed in terms of the sum the results of all loading stages. Every equation term characterizes by the specific model and properties. The greater the number of determining factors, the more parameters there are in the initial state equation. In general, the equation replays relationship between deformations, strains and time. The article provides a mathematical description of the deformation of frozen soil with experimental laboratory confirmation. Frozen soils were studied in uniaxial compression tests at temperatures of minus 10 degrees, for 15 hours durations, at strains from 1 to 5 MPa. The article presents a new technique for analyzing creep curves in laboratory tests of frozen soils using uniaxial and compression methods based on piecewise linear approximation. The developed technique makes it possible to adjust the forecast of changes in the stress-strain state of soils at the base of engineering structures during their construction and operation, taking into account changing external conditions.

Keywords: freezing and thawing soil mechanics, frozen soils, thawing soils, creep curves, uniaxial compression test, compression test

Введение

Мерзлые грунты представляют собой высокодинамичные системы, которые постоянно находятся в неравновесном состоянии, и любое, даже незначительное внешнее воздействие – температурное или механи-

ческое – способно вывести систему из равновесия. Установление закономерностей механического поведения таких грунтов осложнено многообразием сочетания влияющих факторов, определяющих процессы деформирования в грунтах. В дополнение

к этому постоянно происходит изменение параметров системы в связи с протеканием различных внутренних процессов. В связи с этим для описания поведения грунтов под нагрузками в современной механике грунтов развиваются теории линейной и нелинейной вязкоупругости и вязкопластичности. Таким образом, механика мерзлых, талых и оттаивающих грунтов является важным и актуальным направлением исследований и областью прикладного применения в разделе механики деформируемого твердого тела [1, 2]. А на процессы ползучести и релаксации в инженерно-геологических исследованиях уже давно обращается внимание [3, 4].

Изучение процессов деформирования мерзлых и оттаивающих грунтов представляет собой достаточно трудную задачу. В определенной степени эти трудности объясняются наличием зависимости их механических свойств как от времени, так и от параметров процесса деформирования. Помимо того, в грунтах возникают необратимые остаточные деформации, что свидетельствует о необходимости применения методов теории вязкопластичности при исследовании процессов деформирования мерзлых и оттаивающих грунтов [3, 5].

Основная **цель исследования** состоит в разработке комплексной методики анализа кривых ползучести мерзлых и оттаивающих грунтов, используемой для обработки экспериментальных лабораторных исследований, что позволит моделировать и прогнозировать характер деформирования грунтов при изменении природных и техногенных условий.

Материалы и методы исследования

Поведение грунтов отличается тем, что в них одновременно присутствуют упругие, пластические и вязкие свойства. Для описания процесса деформирования грунтов используются механические модели, по которым составляются математические уравнения состояния [6, 7]. Принято, что деформация грунта является результатом наложения деформаций элементарных механических моделей идеализированных единиц. Для описания механического поведения реального грунта используются комбинации сочетаний простейших моделей, каждая из которых описывается одним физико-механическим свойством [6, 8].

На практике в инженерной геокриологии при исследовании процессов вязкопластического деформирования мерзлых и оттаивающих грунтов применяют, как

правило, соотношения связи между напряжениями и деформациями, построенные путем структурного подхода с использованием упругих, вязких элементов и элементов сухого трения Сен-Венана. Таким способом созданы модели Бингама, Шведова, Ишлинского и некоторые другие модели вязкопластического тела [4, 9]. Стремление преодолеть некоторую ограниченность таких моделей обуславливает увеличение числа элементов в них, что, в свою очередь, существенно усложняет проблему определения характеристик используемых в моделях элементов, определяющих механические свойства деформируемых мерзлых и оттаивающих грунтов.

С целью решения этой проблемы при разработке моделей вязкопластического тела в работе введен обобщенный линейный элемент, поведение которого описывается интегральным соотношением Больцмана – Вольтерра:

$$\varepsilon = \int_0^t K(t, \tau) \sigma(\tau) d\tau \quad (1)$$

где ε – деформация, σ – напряжение, $K(t, \tau)$ – ядро интегрального оператора, характеризующее скорость деформации, t – время.

Основная идея теории ползучести состоит в том, что при каждой ступени нагрузки процесс протекает независимо от того, какая нагрузка была до, но принимается, что процесс деформирования не завершился. Таким образом, процесс деформирования многостадийный, и математическое уравнение выражено через сумму (интеграл) результатов всех этапов нагружения.

Данная теория позволяет учитывать ряд факторов – наследование предшествующего нагружения, переменность нагрузок/разгрузок. Чем больше количество факторов, чем больше параметров в исходном уравнении. В целом уравнение состояния представляет связь между деформациями, напряжениями и временем [10, 11].

Простейшая модель вязкопластического тела на основе обобщенного линейного элемента составляется из последовательно соединенных звеньев (2), первое из которых представляет обобщенный элемент и элемент Сен-Венана. Элемент Сен-Венана представляет собой модель абсолютно жесткого тела до тех пор, пока действующее напряжение не достигнет определенной величины, после чего это тело теряет всякую способность сопротивляться действующим силам.

$$\varepsilon = \int_0^t K(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau + \int_{t_1}^t K_1(t-\tau)[\sigma(t) - \sigma_s]d\tau, \quad (2)$$

где $K(t-\tau)$, $K_1(t-\tau)$ – ядра операторов для обобщенных линейных элементов первого и второго звеньев соответственно.

Механическое поведение рассматриваемой модели является вязкоупругим при значениях напряжений, не превышающих значения напряжения σ_s , определяемого элементом Сен-Венана. При напряжениях $\sigma \geq \sigma_s$ общая деформация определяется суммированием деформаций обеих частей структурной модели.

Определяющее соотношение для стабильного вязкопластического материала, характеризуемого такой моделью, в простейшем случае имеет вид (2). Понятие стабильного деформируемого материала означает в данном случае независимость его механических свойств от начала отсчета времени.

Применение структурной модели (2) деформируемого тела определяется правилом: если величина действующего в деформируемом теле $\sigma(t) < \sigma_s$, то используется только первое слагаемое соотношения (2), в противном случае – оба слагаемых.

Из структуры рассматриваемой модели видно, что напряжение, приложенное к первому обобщенному линейному элементу, равно сумме напряжений в параллельно соединенных втором обобщенном линейном элементе и элементе Сен-Венана. Поскольку общая деформация равна сумме деформаций последовательно соединенных

частей модели, то есть $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, то имеем, используя обозначения Π^* , Π_1^* для операторов ползучести, R^* , R_1^* – для соответствующих операторов релаксации и I – для единичного оператора:

$$\sigma - \sigma_s = R_1^* \varepsilon_2 = R_1^* (\varepsilon - \varepsilon_1), \quad (3)$$

откуда получаем $\sigma = R_1^* (\varepsilon - \varepsilon_1) + \sigma_s$.

При учете равенства $\varepsilon_1 = \Pi^* \sigma$ имеем

$$\sigma = R_1^* (\varepsilon - \Pi^* \sigma) + \sigma_s = R_1^* \varepsilon - R_1^* \Pi^* \sigma + \sigma_s.$$

Отсюда следует

$$\sigma = \frac{R_1^* \varepsilon + \sigma_s}{I + R_1^* \Pi^*} \quad (4)$$

Совершенно аналогичным способом можно получить и альтернативное представление:

$$\sigma = \frac{R^* \varepsilon + R^* \Pi_1^* \sigma_s}{I + R^* \Pi_1^*}. \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что эквивалентность соотношений (4) и (5) легко устанавливается при учете соотношений $\Pi^* R^* = R^* \Pi^* = I$ и $\Pi_1^* R_1^* = R_1^* \Pi_1^* = I$, умножая, к примеру, числитель и знаменатель правой части соотношения (3) на $R^* \Pi_1^*$.

Естественное обобщение одномерной структурой модели деформируемого тела состоит в увеличении числа последовательно соединяемых звеньев:

$$\varepsilon = \int_0^t \Pi(t-\tau)d\sigma(\tau) + \int_{t_1}^t \Pi_1(t-\tau)d[\sigma(\tau) - \sigma_s^{(1)}] + \int_{t_2}^t \Pi_2(t-\tau)d[\sigma(\tau) - \sigma_s^{(2)}]. \quad (6)$$

В этом варианте модели вводятся уже три функции ползучести, два предельных параметра по величине напряжения и два временных параметра, определяющих моменты включения соответствующего звена в число действующих.

Таким образом, при монотонном увеличении напряжения, начиная от нуля, на первой стадии учитывается только первое слагаемое в правой части соотношения (6). Может оказаться так, что при нагружении уровень напряжения, равный $\sigma_s^{(1)}$, достигнут не будет; в этом случае соотношение (6) будет описывать процесс линейного деформирования вязкоупругого материала при помощи наиболее общей линейной формы.

Допустим теперь, что при монотонном нагружении значение напряжения в некоторый момент времени t_1 достигает значения $\sigma_s^{(1)}$ и превысит его, после чего второе звено структурной модели включается в число активных, что и отражается в значении нижнего предела интегрирования во втором интеграле правой части соотношения (6); обозначим этот период как вторую стадию процесса деформирования. Верхние пределы первого и второго интегралов в (6) есть текущее время процесса. Это означает, что общее значение деформации на второй стадии определяется как сумма первых двух слагаемых в (6).

Точно так же после достижения в момент времени t_2 действующим напряжени-

ем значения $\sigma_s^{(2)}$ общая деформация определяется как сумма всех трех слагаемых в (6). На третьей стадии процесса деформирования, таким образом, в расчет принимаются вклады от всех трех слагаемых правой части соотношения (6).

Дальнейшие обобщения в этом направлении проводятся по такому же алгоритму и затруднений не вызывают. Следует, однако, иметь в виду то, что суммировать указанным образом, строго говоря, можно только бесконечно малые деформации, поскольку конечные и большие деформации не являются адаптивными [12].

Если имеется набор из k диаграмм ползучести $\varepsilon_k(t)$, удовлетворяющих условиям однородности и аддитивности, полученных в соответствии с законом изменения напряжений для заданных значений σ_{ok} , функции линейной ползучести $\Pi(t)$ определяются при помощи соотношений

$$\Pi(t) = \varepsilon_k(t) / \sigma_{ok}, k = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где σ_{ok} – постоянное напряжение.

В общем случае минимально возможное число реализаций при проверке условий однородности и аддитивности не может быть меньше трех.

В этих соотношениях используется точное значение параметра $\sigma_s^{(1)}$, которое также подлежит определению на этом этапе. С этой целью возьмем две реализации диаграмм ползучести, полученные при различных значениях действующего постоянного

напряжения. Исходя из соотношений (6), имеем систему двух уравнений

$$\Pi_1(t)(\sigma_{11} - \sigma_s^{(1)}) = \varepsilon_{11}(t) - \Pi(t)\sigma_{11}; \quad (8)$$

$$\Pi_1(t)(\sigma_{12} - \sigma_s^{(1)}) = \varepsilon_{12}(t) - \Pi(t)\sigma_{12}. \quad (9)$$

В качестве примера применения кусочно-линейных форм определяющих соотношений приведен анализ кривых ползучести мерзлого грунта – супеси, исследуемых в лаборатории механики мерзлых грунтов МГУ при испытаниях на одноосное сжатие при температуре $T = -10$ °С.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью стандартных приемов обработки экспериментальной информации были определены абсолютные значения деформаций, применяемые с целью избежать использования знака минус в полученных данных, поскольку эксперименты проводились в условиях сжатия.

Кривые ползучести были получены при различных постоянных значениях напряжений в течение определенного периода времени, вплоть до 15 ч. Экспериментальные значения деформации приведены в табл. 1 для постоянных значений напряжений $\sigma_0 = 1; 2; 2.5; 3; 3.5; 4; 4.5; 5$ (в МПа). Время приводится в минутах. Выбор моментов времени замеров показаний деформаций отражен в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения деформаций при различных постоянных значениях напряжений

t, мин	$\sigma_0 = 1$ МПа	$\sigma_0 = 2$ МПа	$\sigma_0 = 2,5$ МПа	$\sigma_0 = 3$ МПа	$\sigma_0 = 3,5$ МПа	$\sigma_0 = 4$ МПа	$\sigma_0 = 4,5$ МПа	$\sigma_0 = 5$ МПа
0	0,002	0,0058	0,0149	0,027	0,041	0,047	0,060	0,075
25	0,0028	0,0071	0,0172	0,0355	0,052	0,068	0,073	0,145
50	0,0032	0,0078	0,0186	0,0405	0,059	0,084	0,120	0,240
75	0,0036	0,0086	0,020	0,0455	0,065	0,099	0,155	
100	0,004	0,0093	0,0212	0,049	0,069	0,112	0,185	
150	0,0044	0,0108	0,0232	0,054	0,076	0,133		
200	0,0048	0,0119	0,025	0,058	0,081	0,151		
250	0,0051	0,0129	0,0265	0,060	0,085	0,169		
300	0,0055	0,0135	0,028	0,063	0,070	0,20		
400	0,0062	0,0145	0,030	0,067	0,095			
500	0,007	0,016	0,032	0,070	0,110			
600	0,0075	0,0175	0,034	0,073	0,123			
700	0,008	0,0185	0,0355	0,076	0,140			
800	0,0085	0,0195	0,037	0,079	0,169			

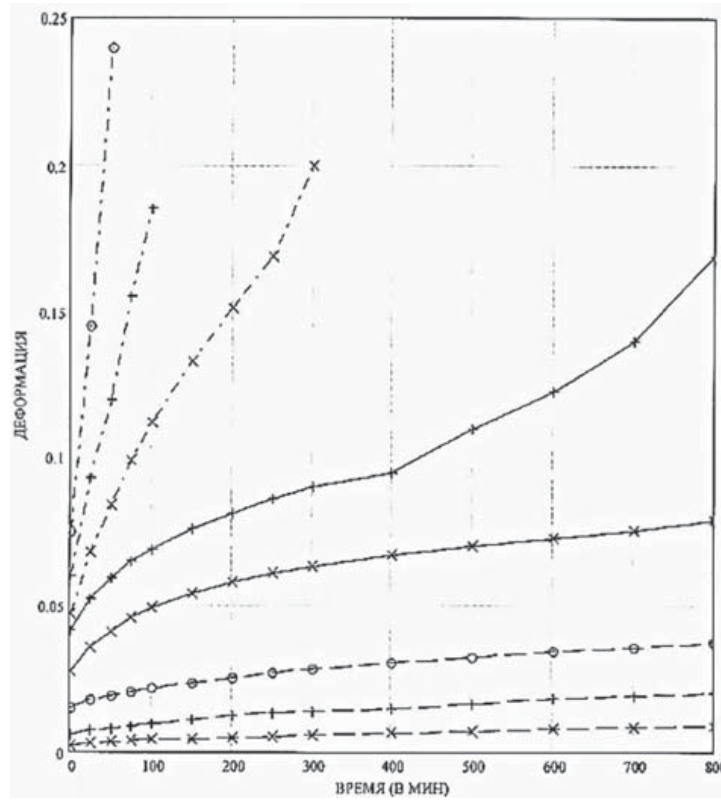


Рис. 1. Кривые ползучести при заданных значениях постоянного напряжения
Условные обозначения: (---x) – 1 МПа; (---+) – 2 МПа; (---o) – 2,5 МПа;
(___x) – 3 МПа; (___+) – 3,5 МПа; (-.-.-x) – 4 МПа; (-.-.-+) – 4,5 МПа; (-.-.-o) – 5 МПа

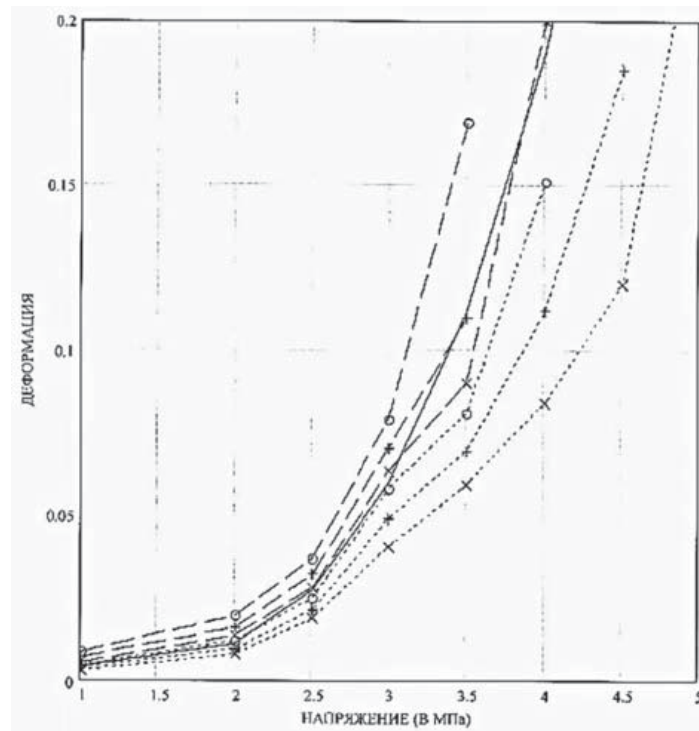


Рис. 2. Изохронные кривые ползучести
Условные обозначения: (...x) – 50 мин; (...+) – 100 мин; (...o) – 200 мин; (---x) – 300 мин;
(---+) – 500 мин; (---o) – 800 мин; (___) – $\varepsilon = 0.0041 + 0.0069 * (\sigma - 1)^3$, σ в МПа

Приведенные в табл. 1 экспериментальные значения представлены тоже в виде графиков на рис. 1. Кривые ползучести располагаются здесь в порядке возрастания перечисленных выше значений постоянного напряжения снизу вверх: первые три столбца со значениями деформаций из табл. 1 приведены в виде штриховых линий, вторые два – сплошными линиями и последние три – штрихпунктирными линиями.

Определенный интерес при анализе экспериментальных кривых ползучести представляет построение изохронных кривых, то есть зависимостей значений деформаций от напряжений при некотором фиксированном значении времени. Такие кривые приведены на рис. 2. Здесь по оси абсцисс заданы напряжения, а по оси ординат – деформации. В качестве базовых выбраны следующие значения времени: 50, 100, 200, 300, 500, 800 мин.

Видно, что в основной части изменения параметров такие кривые удовлетворительно аппроксимируются функцией вида $0.0041 + 0.0069(s - 1)^3$. Она приведена в виде сплошной кривой на рис. 2. Обратим внимание на то, что при значении напряжения $\sigma_0 = 3.5$ МПа изохронные кривые располагаются значительно ниже приведенной здесь кубической параболы.

Наблюдаемое противоречие состоит в том, что приращение деформаций при переходе от $\sigma_0 = 3$ МПа к $\sigma_0 = 3.5$ МПа меньше, чем при переходе от $\sigma_0 = 2.5$ МПа к $\sigma_0 = 3$ МПа. Нетрудно убедиться, на при-

мере перехода от $\sigma_0 = 3.5$ МПа к $\sigma_0 = 4$ МПа, в справедливости такого заключения.

Непосредственно из второго и третьего столбцов табл. 1 видно, что при увеличении напряжения вдвое деформации возрастают в большей степени. Это означает нарушение принципа однородности, в силу чего граница, разделяющая линейную и нелинейную области поведения материала, располагается ниже значения $\sigma_0 = 2$ МПа. Вместе с тем наблюдаемое отклонение незначительно, что позволяет предположить, что при $\sigma_0 = 1$ МПа поведение грунта линейное.

Воспользовавшись таким предположением, находим функцию линейной ползучести $I(t)$, значения которой в заданные моменты времени приведены в третьем столбце табл. 2. График функций линейной ползучести приведен также на рис. 3 в виде сплошной линии с нанесенными на ней кружками, положение которых определяется значениями третьего столбца табл. 2. Пунктирной линией, практически совпадающей с указанной кривой, дается график приближенной аналитической зависимости для функции линейной ползучести

$$\tilde{I}(t) = 0.002 + 0.00023\sqrt{t}. \quad (10)$$

Реализуя далее вычислительную процедуру в соответствии с соотношениями (3)–(5), находим параметр $\sigma_s^{(1)}$ и функцию ползучести $\Pi_1(t)$ для фиксированных моментов времени, указанных во втором столбце табл. 2.

Таблица 2

Параметры функции линейной ползучести

NN п/п	t , мин	$I(t)$, 1/МПа	$\sigma_s^{(1)}$, МПа	$\Pi_1(t)$, 1/МПа	$\sigma_s^{(2)}$, МПа	$\Pi_2(t)$, 1/МПа
1	0	0,002	1,89	0,016	2,65	0,013
2	25	0,0028	1,91	0,017	2,65	0,023
3	50	0,0032	1,92	0,018	2,65	0,029
4	75	0,0036	1,93	0,019	2,65	0,033
5	100	0,004	1,93	0,020	2,65	0,037
6	150	0,0044	1,90	0,021	2,65	0,043
7	200	0,0048	1,89	0,022	2,65	0,048
8	250	0,0051	1,88	0,023	2,65	0,0515
9	300	0,055	1,89	0,024	2,65	0,0545
10	400	0,062	1,92	0,025	2,65	0,060
11	500	0,07	1,92	0,026	2,65	0,0645
12	600	0,0075	1,88	0,0265	2,65	0,069
13	700	0,008	1,90	0,027	2,65	0,073
14	800	0,0085	1,91	0,0275	2,65	0,077

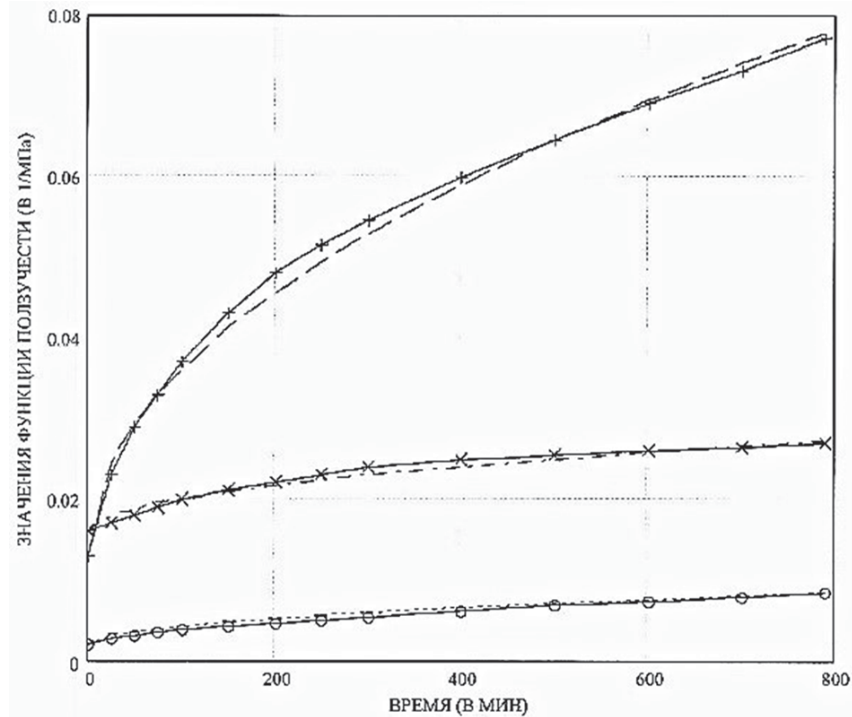


Рис. 3. Функции ползучести. Условные обозначения: (— 0) – функция линейной ползучести $\Pi(t)$; (.....) – ее аппроксимация $\tilde{\Pi}(t) = 0.002 + 0.00023\sqrt{t}$; (— x) – первая линейная функция ползучести $\Pi_1(t)$; (-.-.-) – ее аппроксимация $\tilde{\Pi}_1(t) = 0.016 + 0.0004\sqrt{t}$; (— +) – вторая линейная функция ползучести $\Pi_2(t)$; (---) – ее аппроксимация $\tilde{\Pi}_2(t) = 0.013 + 0.0023\sqrt{t}$

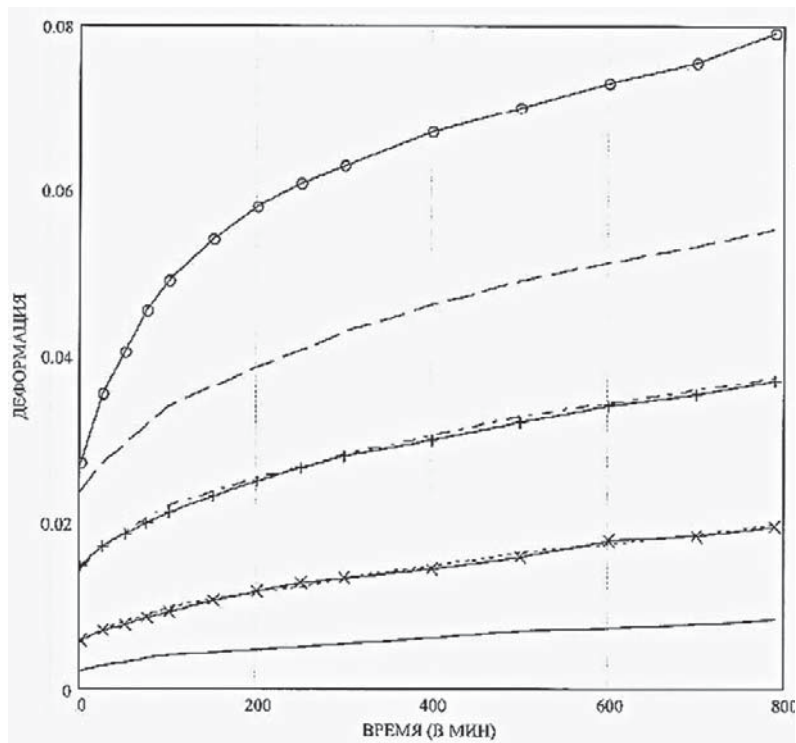


Рис. 4. Экспериментальные и расчетные кривые ползучести при заданных значениях постоянного напряжения. Условные обозначения: (— o) – эксперимент, 1 МПа; (— x) – эксперимент, 2 МПа; (.....) – расчет, 2 МПа; (— +) – эксперимент, 2,5 МПа; (-.-.-) – расчет, 2,5 МПа; (— o) – эксперимент, 3 МПа; (---) – расчет, 3 МПа

Здесь же в четвертой и пятой колонках приведены расчетные значения этих величин. Исходя из расчетных значений принимаем $\sigma_s^{(1)} = 1.9$ МПа. График первой линейной функции ползучести $\Pi_1(t)$ приведен на рис. 3 в виде сплошной линии с нанесенными в соответствии с данными табл. 2 крестиками. Здесь же штрихпунктирной линией представлен график аппроксимирующей ее функции:

$$\tilde{\Pi}_1(t) = 0.016 + 0.0004\sqrt{t}. \quad (11)$$

$$\varepsilon = \int_0^t \Pi(t-\tau) d\sigma(\tau) + \int_{t_1}^t \Pi_1(t-\tau) d[\sigma(\tau) - \sigma_s^{(1)}]. \quad (12)$$

Возможность применения полученных выше параметров иллюстрируется данными на рис. 4. Здесь сплошными линиями с нанесенными крестиками, плюсиками и кружками приведены исходные кривые ползучести, полученные при $\sigma_0 = 2; 2.5; 3$ МПа соответственно. Пунктирная, штрихпунктирная и штриховая линии получены расчетным путем с использованием полученных выше характеристик, при помощи соотношения

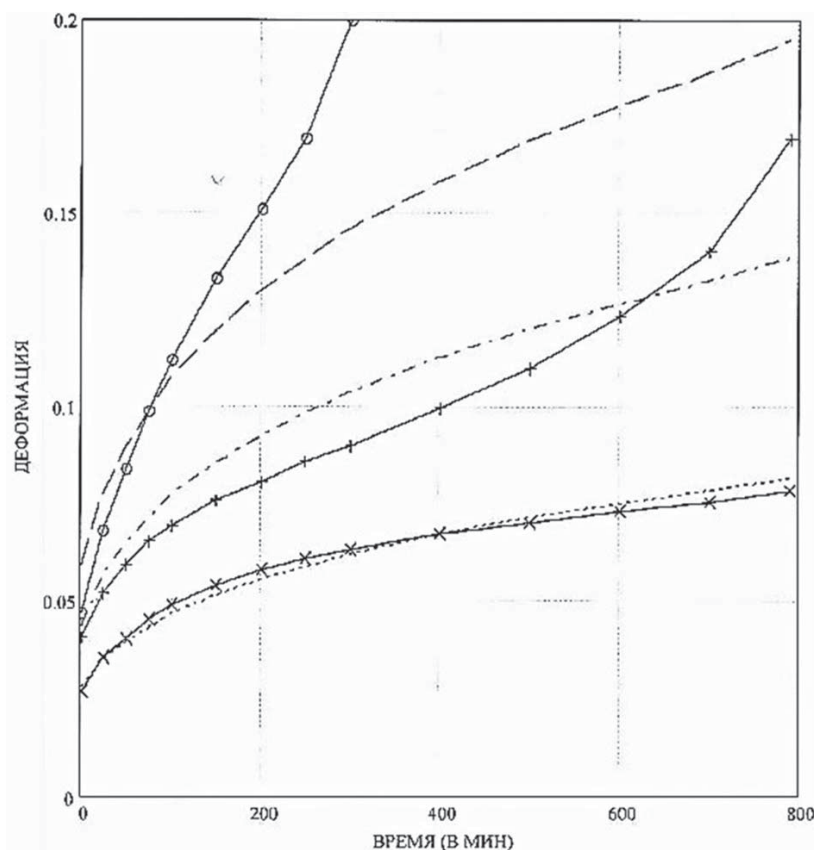


Рис. 5. Экспериментальные и расчетные кривые ползучести при заданных значениях постоянного напряжения. Условные обозначения: (— x) – эксперимент, 3 МПа; (.....) – расчет, 3 МПа; (— +) – эксперимент, 3,5 МПа; (-.-.-) – расчет, 3,5 МПа; (— o) – эксперимент, 4 МПа; (---) – расчет, 4 МПа

На рис. 4 для сравнения в виде сплошной линии приведена кривая ползучести, полученная при $\sigma_0 = 1$ МПа.

Видно, что расчетные кривые ползучести удовлетворительно совпадают с соответствующими кривыми ползучести при

$\sigma_0 = 2$ МПа и $\sigma_0 = 2.5$ МПа и в то же время непригодны для описания поведения деформируемого материала при $\sigma_0 = 3$ МПа.

Очевидно, эта проблема легко решается введением в структурную модель деформируемого грунта дополнительного звена

в соответствии с рассмотренным подходом. К сожалению, решение этой проблемы усложнилось в нашем случае в силу отмеченного выше «нелогичного» поведения кривой ползучести, полученной при $\sigma_0 = 3.5$ МПа, приводящего к существенному разбросу расчетного значения параметра $\sigma_s^{(2)}$. Тем не менее методом подбора удалось найти среднее значение параметра $\sigma_s^{(2)} = 2.65$ МПа и вычислить вторую линейную функции ползучести $\tilde{I}_2(t)$. Эти характеристики для указанных фиксированных моментов времени приведены в шестом и седьмом столбцах табл. 2. График $\tilde{I}_2(t)$ приведен в виде сплошной кривой с нанесенными на нее знаками «плюс». Точно так же, как и выше, приведем аналитическое выражение аппроксимирующей ее функции:

$$\tilde{I}_2(t) = 0.013 + 0.0023\sqrt{t}. \quad (13)$$

Ее график представлен штриховой линией на рис. 3.

Результаты расчетов кривых ползучести при помощи трехчленной структурной формы определяющего соотношения приведены на рис. 5. Здесь сплошные линии, отмеченные крестиками, плюсиками и кружками, представляют собой экспериментально определенные кривые ползучести, полученные при $\sigma_0 = 3; 3.5; 4$ МПа соответственно. Кривые ползучести, определяемые расчетным путем, приведены в виде пунктирных, штрихпунктирных и штриховых линий соответственно.

Выводы

1. Предложена методика анализа кривых ползучести при испытаниях мерзлых и оттаивающих грунтов методами сжатия на основе кусочно-линейной аппроксимации.

2. Полученные при анализе кривых ползучести закономерности согласуются с классическими и современными представлениями о реологическом поведении мерзлого и оттаивающего грунтов под нагрузками.

3. Обработка данных экспериментальных исследований поведения кривых ползучести по данной методике позволяет прогнозировать деформирование мерзлого и оттаивающего грунтов на срок службы инженерного сооружения при изменении природных и техногенных условий.

Список литературы

1. Котов П.И., Роман Л.Т., Царапов М.Н. Влияние условий оттаивания и уплотнения на деформационные характеристики оттаивающих грунтов // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2017. № 1. С. 58–63. DOI: 10.33623/0579-9406-2017-1-58-63.
2. Алямкин А.В., Дорофеев А.А., Шевцов Н.И., Зубарев Я.И., Голояд М.В. Программная реализация и исследование способа обеспечения целостности многомерных массивов данных // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 5. С. 81–88. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-5-81-88.
3. Осипов В.И., Карпенко Ф.С., Кальбергенов Р.Г., Кутергин В.Н. Реологические свойства глинистых грунтов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 6. С. 41–51.
4. Маций С.И., Лейер Д.В., Конева А.О., Рябухин А.К., Каленик В.В., Федотов А.В. Исследование изменения интенсивности оползневого давления, действующего на сооружение при влиянии различных нагрузок // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 133. С. 320–336. DOI: 10.21515/1990-4665-133-027.
5. Роман Л.Т., Котов П.И. Вязкость мерзлых и оттаивающих грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 1. С. 16–20.
6. Рахимбаев Ш.М., Логвиненко А.А. Реологические свойства материалов для строительства объектов транспортной инфраструктуры // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 5. С. 26–33.
7. Шуваев А.Н. Информационная технология инженерного обеспечения надежности дорожных конструкций в условиях Севера // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Т. 3, № 3. С. 110–124. DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-110-124.
8. Буслов А.С., Бахолдин Б.В., Ставницер Л.П. Уравнения ползучести грунта на основе вероятностной реологической модели // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 1. С. 2–8.
9. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Ермошина Л.Ю. Осадка и длительная несущая способность свай с учетом реологических свойств грунтов // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 1. С. 5–15. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.1.01.
10. Агеенко В.А., Тавостин М.Н. Испытание мерзлых грунтов в условиях трехосного сжатия для определения реологических характеристик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 5. С. 122–128. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-122-128.
11. Сливцев К.В., Колмогорова С.С., Коваленко И.А. Параметры мерзлых грунтов при численном моделировании теплофизических задач // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19, № 2. С. 359–366. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-19-2-359-366.
12. Кузнецова В.Н., Кузнецов И.С., Дубков В.В. Исследование сжимаемости мерзлых грунтов с различными параметрами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 3. С. 71–74. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-71-72.
13. Роман Л.Т., Котов П.И., Царапов М.Н. Модуль деформации мерзлых грунтов при компрессионных испытаниях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 5. С. 35–40.

СТАТЬИ

УДК 502.51:504.61
DOI 10.17513/use.38354

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГИЛЁВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО СОДЕРЖАНИЮ
РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

¹Коровина О.Ю., ¹Сомин В.А., ²Айдарханова А.К.

¹ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова,
Барнаул, e-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru;

²Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» Национального ядерного центра
Республики Казахстан, Курчатов, e-mail: almira@nnc.kz

Целью работы является проведение оценки экологического состояния воды и донных отложений крупнейшего искусственного водоема Алтайского края – Гилёвского водохранилища на содержание искусственных и естественных радионуклидов и тяжелых металлов. Определены концентрации ионов меди, свинца, цинка, никеля, кадмия в пробах донных отложений и воде водохранилища атомно-абсорбционным методом, радиоактивность ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs, а также содержание естественных и искусственных радионуклидов. В результате установлено, что мощность дозы гамма-излучения донных отложений Гилёвского водохранилища не превышает нормативных значений и составляет 0,10–0,18 мкЗв/ч. Содержание в донных отложениях естественных радионуклидов (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) соответствует природному уровню, при этом искусственные радионуклиды ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в верхнем бьефе не обнаружены, в то время как в нижней они зафиксированы, что может являться результатом накопления радиоактивности в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением. Содержание цинка, свинца, кадмия, никеля и железа не превышает значений, нормируемых для водоемов рыбохозяйственного назначения, в отличие от меди, содержание которой в 3,7 раза превышает этот уровень. Нормативы для питьевой воды не превышены ни по одному из анализируемых показателей.

Ключевые слова: тяжелые металлы, радионуклиды, поверхностные воды, донные отложения

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE
OF THE GILYOVSKY RESERVOIR BY THE CONTENT
OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS**

¹Korovina O.Yu., ¹Somin V.A., ²Aydarkhanova A.K.

¹Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul,
e-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru;

²Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, e-mail: almira@nnc.kz

The aim of the work is to assess the ecological state of water and bottom sediments of the largest artificial reservoir of the Altai Territory – Gilevskoye Reservoir for the content of artificial and natural radionuclides and heavy metals. Concentrations of copper, lead, zinc, nickel, and cadmium ions in sediment samples and reservoir water by atomic absorption method, radioactivity ²⁴¹Am and ¹³⁷Cs, as well as the content of natural and artificial radionuclides were determined. As a result, it was found that the dose rate of gamma radiation from bottom sediments of the Gilevsky reservoir does not exceed the standard values and is 0.10-0.18 mSv/h. The content of natural radionuclides in bottom sediments (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) corresponds to the natural level, while artificial radionuclides ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu were not detected in the upper stream, while they were recorded in the lower one, which may be the result of accumulation of radioactivity in the narrowest place of the reservoir during the movement of bottom sediments by the current. The content: zinc, lead, cadmium, nickel and iron does not exceed the values standardized for water bodies for fishery purposes, unlike copper, which is 3.7 times higher than this level. Standards for drinking water are not exceeded for any of the analyzed indicators.

Keywords: heavy metals, radio nuclides, surface waters, bottom sediments

Введение

Актуальность исследований обусловлена характером техногенного загрязнения территории, сложившегося в ходе исторического освоения земель, а также надземных ядерных испытаний, которые проводились на территории Семипалатинского испытательного полигона с 1949 по 1962 г. В этой связи научный и практический интерес представляют процессы перемещения

загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов, в водных объектах, которые обусловлены в основном оседанием попавших в воду частиц и их концентрировании в донных отложениях [1].

После проведения испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне для многих водных объектов Алтайского края были получены сведения о характере распространения радионуклидов в них. Однако к настоя-

пему времени они утратили актуальность, в связи с чем важно получить современную оценку состояния водоемов, попавших под след радиоактивных выбросов от испытаний на Семипалатинском полигоне. Изучение донных отложений в настоящее время с ретроспективной оценкой первоначальных данных, полученных в 1990-е гг., позволит оценить степень их современной радиоактивной и химической опасности.

Кроме радионуклидов, опасность для окружающей среды представляют тяжелые металлы, которые могут поступать в водоемы от различных предприятий, в том числе сельскохозяйственных. В этой связи донные отложения являются наиболее информативным источником данных о загрязнении водного объекта [2; 3].

Гилёвское водохранилище образовано насыпной грунтовой плотиной в верховьях р. Алей с целью регулирования сезонного стока вод р. Алей и обеспечения устойчивого источника водоснабжения Рубцовского промузла и тяготеющих к нему населенных пунктов. По материалам литературных источников [4, с. 220; 5] водохранилище не попало под следы радиоактивных выпадений, однако сведения об отсутствии радионуклидов в донных отложениях водоема в научной литературе не найдены. Основным источником возможного загрязнения водохранилища тяжелыми металлами может являться горнодобывающее предприятие, расположенное выше по течению (Корбалихинский рудник), а также сельскохозяйственные объекты.

Целью исследования является оценка экологического состояния воды и донных отложений крупнейшего искусственного водоема Алтайского края – Гилёвского водохранилища на содержание искусственных и естественных радионуклидов и тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

В работе применялись современные аналитические методы, позволяющие получить достоверные данные по содержанию в водных объектах естественных и искусственных радионуклидов и тяжелых металлов. Подготовка образцов и анализ на содержание в воде и донных отложениях тяжелых металлов выполнены в лаборатории Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (г. Барнаул, Россия). Аналитические исследования проб донных отложений на содержание радионуклидов проведены в лаборатории

филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» Национального ядерного центра Республики Казахстан (г. Курчатов, Казахстан). Образцы воды и донных отложений отобраны и проанализированы в 2023 и 2024 гг. Измерения плотности потока альфа- и бета-частиц от поверхности донных отложений проведены в полевых условиях с использованием дозиметра-радиометра МКС-03СА.

Отбор образцов донных отложений выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. Глубина отбора образцов выбрана с учетом данных, полученных Н.Н. Михайловым [6], который в 1993 г. проанализировал результаты исследований НПО «Тайфун» на содержание радионуклидов в донных отложениях некоторых озер Алтайского края и определил, что основное количество ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ на момент исследований содержалось в слое 4–6 см (соответствовало выпадениям 1962 г.) и в слое 12–16 см (идентифицировано как выпадения от испытаний на Семипалатинском полигоне 1949 г.). По сведениям того же автора [6], седиментация частиц, определенная для равнинных водоемов Алтайского края, равна 0,2–0,4 см/год. Таким образом, в настоящее время в водоемах глубина залегания радионуклидов, источником происхождения которых являются взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне, преимущественно должна составлять от 16 до 30 см. С учетом данного факта для исследований выбран слой донных отложений на глубине от 16 до 30 см. Отбор образцов осуществлялся с плавсредств в местах отсутствия антропогенного воздействия на донные отложения. Пробы воды отбирались в той же точке из поверхностного слоя в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 59024-2020.

Определение содержания тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах донных отложений и воды выполнено атомно-абсорбционным методом на спектрометре «МГА-1000». Подготовка пробы воды к анализу выполнялась в соответствии с требованиями ПНД Ф 14.1:2.253-09, при этом проводили кислотную обработку пробы с использованием микроволнового разложения. Пробы донных отложений подвергались кислотному выщелачиванию и микроволновому разложению, при этом определялось валовое содержание в пробах тяжелых металлов. Для контроля качества выполняемых исследований с каждой партией проб запускали одну «холостую» пробу.

Подготовка проб донных отложений к гамма-спектрометрическому анализу проводилась путем высушивания образца, его измельчения и гомогенизации. Оценка активности в пробах донных отложений ^{241}Am и ^{137}Cs выполнена с помощью гамма-спектрометра ORTEC GEM25P4-70. Подготовка проб донных отложений к альфа- и бета-спектрометрическому анализу выполнялась путем кислотного выщелачивания радионуклидов при полном разложении исследуемого образца и извлечении определяемого компонента для оценки его валового содержания (удельной активности). Содержание в пробе ^{90}Sr определено по дочернему ^{90}Y после радиохимического выделения с помощью бета-спектрометра TRI-CARB 3110TR PerkinElmer. Изотопы $^{239+240}\text{Pu}$ измерены с помощью альфа-спектрометра Alpha Analyst A1200-32AM CANBERRA после приготовления счетного образца методом экстракционно-хроматографического выделения и электролитического осаждения [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты полевых исследований проб донных отложений Гилёвского водохранилища на мощность гамма-излучения представлены в табл. 1.

Точка 1 отбора проб находится в верхнем бьефе водохранилища, точка 2 – в нижнем.

Допустимые значения указаны согласно Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности от 26 апреля 2010 г. [8] и Методике измерений параметров радиоактивного загрязнения производственных помещений, элементов производственного оборудования, средств индивидуальной защиты и кожных покровов работника для целей специальной оценки условий труда, утвержденной 06.12.2018 г. [9], Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009, утвержденным 07.07.2009 г. [10].

По данным полевых исследований, мощность дозы гамма-излучения донных отложений Гилёвского водохранилища составила 0,10–0,18 мкЗв/ч. После высушивания образцов донных отложений была проведена оценка плотности потока бета-частиц от поверхности донных отложений, которая составила от 0,5 до 0,7 бета-частиц/см²мин.

В результате экспрессных исследований донных отложений превышения радиоактивных показателей (мощности дозы и потока бета-частиц) зафиксировано не было.

Для получения количественных и качественных данных о радионуклидном составе донных отложений изучаемого водного объекта был проведен лабораторный спектрометрический анализ подготовленных образцов, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты полевых исследований донных отложений

Точка отбора проб	Мощность дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	Поток, бета-частиц/см ² мин
1	0,10–0,17	0,5
2	0,12–0,18	0,7
Предельно допустимый уровень [5]	0,30	0,4 Бк/см ² (~10 бета-частиц/см ² мин)
Фоновое значение для почвенного покрова Алтайского края	0,09–0,12	менее 0,5

Таблица 2

Содержание радионуклидов в пробах донных отложений

Точка отбора пробы	Глубина отбора образца, м	Содержание радионуклидов, Бк/кг						
		искусственные				естественные		
		^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
1	0,3	<	<	<	<	580	26	53
2	0,3	<	19	6,2	3,8	615	28	50
Среднее содержание в почвах Алтайского края		–	2–4	6–51	0,36–3,5	372–485	22–53	21–33
Фон глобальных выпадений		–	4–29	1–19	2–4	–	–	–

В результате анализа проб было определено, что содержание в донных отложениях естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) соответствует природному уровню, нормируемый показатель радиоактивности по естественным радионуклидам (удельная эффективная активность для исследуемых образцов) составил 144–145 Бк/кг, что не превышает нормативного уровня в 370 Бк/кг [10]. Полученные величины хорошо согласуются с литературными данными по содержанию естественных радионуклидов в донных отложениях Западной Сибири [11].

Измерение активности ^{137}Cs показало значительно меньшее значение относительно определенных авторами [12], которые в 1993–1995 гг. фиксировали в донных отложениях озер Алтайского края на уровне 200–250 Бк/кг.

В донных отложениях в верхнем бьефе Гилёвского водохранилища искусственные радионуклиды ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ не обнаружены, в отличие от нижней части, что может являться результатом накопления радиоактивности в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением.

Накопление ^{137}Cs в донных отложениях водоемов предгорной части Алтайского края также отмечали авторы [13]. В частности, для Колыванского озера, попавшего

под след взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне, было зафиксировано превышение уровня глобального фона в три раза. Наличие искусственных радионуклидов в донных отложениях Гилёвского водохранилища может свидетельствовать об их переносе с водой и донными наносами с участков, попавших под след радиоактивных выпадений. Также источником искусственных радионуклидов в донных отложениях водохранилища могут являться глобальные выпадения с атмосферы, что отмечали авторы [14–16] по результатам исследования озер Крымского полуострова.

Результаты исследований донных отложений и воды Гилёвского водохранилища на содержание тяжелых металлов приведены в табл. 3 и 4.

Результаты лабораторных исследований показали, что в настоящее время содержание в воде Гилёвского водохранилища кадмия, цинка, свинца и никеля не превышает нормативного уровня, в то время как медь присутствует в количествах больше нормативного значения, установленного для объектов рыбохозяйственного значения. Однако, учитывая результаты ранее проведенных исследований [6], определено, что содержание меди в воде на период измерений (июнь 2024 г.) в 7,3 раза меньше, чем в 1993 г., что свидетельствует об улучшении экологического состояния водного объекта.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в пробах воды

Точка отбора	Содержание тяжелых металлов, мг/л					
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe
1	$3,7 \cdot 10^{-3}$	<	<	<	<	$9,9 \cdot 10^{-4}$
2	$3,7 \cdot 10^{-3}$	<	<	<	<	$2,9 \cdot 10^{-3}$
ПДК [17]	1,0	5,0	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,02	0,3
ПДК [18]	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,1
Результаты исследований 1993 г. [19]	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,96 \cdot 10^{-3}$	–

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в пробах донных отложений

Точка отбора	Характеристика образца	Содержание тяжелых металлов, мг/кг				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
1	Суглинок светло-коричневый	0,36	<	0,007	<	<
2	Суглинок темно-серый	0,94	0,073	0,18	<	0,039
ПДК [20]	Для песчаных почв	33	55	32	0,5	20
	Для суглинистых почв	132	220	130	2	80

Генезис тяжелых металлов в воде и донных отложениях, вероятно, связан с геохимическими аномалиями, присущими данному региону. Кроме того, по результатам исследований донных отложений определено, что содержание тяжелых металлов, так же как и радионуклидов, в нижней части водохранилища выше, чем в верхнем бьефе, что подтверждает сделанное выше предположение о накоплении загрязняющих веществ в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением.

Заключение

Содержание искусственных и естественных радионуклидов в донных отложениях Гилёвского водохранилища не превышает нормативного уровня. Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях в пределах нормы, за исключением меди, по которой ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения превышено в 3,7 раза.

Основываясь на результатах проведенных исследований, выполнена оценка риска для населения при использовании водных объектов в хозяйственных целях. Вода и донные отложения водных объектов юго-западной части Алтайского края не представляют радиационной и химической опасности при их использовании в хозяйственных и рекреационных целях. Однако риск представляют гидробионты, способные накапливать вредные химические и радиоактивные вещества, которые по пищевой цепочке могут попасть к человеку. По результатам исследований донных отложений Гилёвского водохранилища определено, что существует вероятность накопления гидробионтами радионуклидов и тяжелых металлов.

Следует учитывать, что в случае нарушения равновесия в системе вода – донные отложения риск загрязнения водохранилища и его обитателей тяжелыми металлами и радионуклидами может быть высоким и воздействие на человека будет иметь негативные последствия.

Для более точных сведений о содержании тяжелых металлов и радионуклидов в гидробионтах изучаемого водоема требуются дополнительные исследования с привлечением гидробиологов. В рамках настоящей работы такая задача не ставилась, и полученные данные достаточны для оценки уровня риска для населения при пользовании водным объектом.

Авторы выражают благодарность директору Института радиационной

безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан А.О. Айдарханову, заместителю директора Е.В. Мустафиной и сотрудникам Л.В. Тимоновой, Г.А. Коваленко, Г.Б. Досмамбетовой за сотрудничество и профессионализм при выполнении аналитических исследований.

Список литературы

1. Коровина О.Ю., Сомин В.А., Коровин В.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами поверхностных водных объектов юго-западной части Алтайского края // Сб. трудов X межд. конф. «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала». Курчатова, 2023. С. 85.
2. Zakrutkin V.E., Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S. Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia) // Water and ecology. 2020. № 3. P. 32–40. URL: <http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/32-40.pdf> (дата обращения: 15.10.2024). DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40.
3. Корженевский Б.И., Толкачев Г.Ю., Коломийцев Н.В. Основные критерии оценок содержания тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 4. С. 34–40.
4. Батырбеков Э.Г., Айдарханов А.О., Витюк В.А., Ларионова Н.В., Умаров М.А. Комплексное радиоэкологическое обследование Семипалатинского испытательного полигона. Монография. Курчатова: Институт радиационной безопасности и экологии РГП НИЦ РК. 2021. 340 с.
5. Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Мамырбаева А.С., Светачева Ю.В., Кумисханова С.Б. Современные уровни радионуклидного загрязнения природных озер территории Семипалатинского испытательного полигона // Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии: сборник докладов Международной молодежной конференции (Обнинск, 3–4 октября 2019 г.). Обнинск: Изд-во ВНИИРАЭ. 2019. С. 114–117. URL: https://conf.rirae.ru/images/Documents/4_10_sekciya_radioecologiya_7_Aydarhanova_Vodnie_ob_4_10.pdf (дата обращения: 15.10.2024).
6. Михайлов Н.Н. Загрязнение донных осадков некоторых озер Алтайского края // Ядерные испытания. Окружающая среда и здоровье населения Алтайского края: материалы научных исследований. Том II. Книга 2. Барнаул, 1993. С. 28–44.
7. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Зуев Д.М., Иванова Т.М., Трухина Т.П. Методы определения изотопов плутония в радиоэкологии // АНРИ. 2003. № 2 (33). С. 2–8.
8. Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)»: постановление главного государственного санитарного врача РФ № 40 от 26.04.2010 [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12177986/53f89421b1bdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 15.10.2024).
9. Методика измерений параметров радиоактивного загрязнения производственных помещений, элементов производственного оборудования, средств индивидуальной защиты и кожных покровов работника для целей специальной оценки условий труда. М., 2018. Утв. 06.12.2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/129T7.html> (дата обращения: 15.10.2024).
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утв. 07.07.2009 [Электронный ресурс]. URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/4188851/paragraph/12/doclist/1571/1/0/0/Нормы%20радиационной%20безопасности%20НРБ-99%7C2009:%20санитарные%20правила%20и%20нормативы%20СанПиН%202.6.1.2523-09.%20Утв.%2007.07.2009:1> (дата обращения: 15.10.2024).

11. Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Овдина Е.А., Денисенко А.А. Распределение естественных радионуклидов в донных отложениях озер различных ландшафтных зон Западной Сибири // *Материалы V Международной конференции. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека*. Томск: ООО «СТТ», 2016. С. 614–619.
12. Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Осипова Л.П., Сухоруков Ф.В., Степин А.С. Сравнительная характеристика современного радиоактивного загрязнения территории Западной Сибири, прилегающих к Семипалатинскому и Новоземельскому полигонам (на примере Алтая и Пур-Тазовского междуречья) // *Сибирский экологический журнал*. 2000. № 1. С. 51–60. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/ffa/ffa4df352b4052cb3d01265162824ebd.PDF> (дата обращения: 15.10.2024).
13. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восьель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер Сибири // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51, № 11. С. 1501–1514. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/36a/36ac3db233fa9be162b39b1a1fc4cb90.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).
14. Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П., Чужикова-Проскурнина О.Д. Распределение радионуклидов плутония в донных отложениях соленых озер Крыма в 2016–2018 гг. // *Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы II Международной конференции*. Казань: Изд-во АН РТ, 2019. Ч. 2. С. 151–156.
15. Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П., Чужикова-Проскурнина О.Д. Современное состояние распределения техногенных радионуклидов плутония 238 , 239 , ^{240}Pu в соленых озерах Крыма // *Радиохемозология: успехи и перспективы: материалы чтений памяти акад. Г.Г. Поликарпова*. Севастополь: Изд-во ФИЦ ИнБЮМ, 2019. С. 44.
16. Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П. Современные уровни долгоживущих радионуклидов плутония в донных отложениях соленых озер Крыма // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020. Т. 60, № 2. С. 211–221. DOI: 10.31857/S0869803120020113.
17. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания СанПиН 1.2.3685-21. Утв. 28.01.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/400274954/paragraph/134/doclist/1577/1/0/0/СанПиН%201.2.3685-21:3> (дата обращения: 15.10.2024).
18. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 «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: 15.10.2024).
19. Винокуров Ю.И., Миронов В.Л., Оскорбин Н.М. Анализ экологической обстановки на территории Алтайского края, подвергшейся воздействию ядерных испытаний. Т. II. Книга 1. Приоритетные токсиканты в компонентах природной среды. Барнаул: Алтайский государственный университет, 1993. 201 с.
20. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания СанПиН 1.2.3685-21. Утв. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 15.10.2024).

УДК 622.7
DOI 10.17513/use.38355

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАВИТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ КРУТОНАКЛОННОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Матвеев А.И., Яковлев Б.В., Еремеева Н.Г., Нечаев П.Б.

*ФГБУН ФИЦ «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*

Целью исследования является моделирование процессов разделения минеральных смесей на осадительной поверхности крутонаклонного концентратора для оценки влияния режимных параметров и особенностей конструкции. Моделирование процесса разделения частиц как мультифакторного процесса и приводится в виде решения системы уравнений. Показана сложность процессов, протекающих в рабочей зоне крутонаклонно установленных пакетов пластин с нисходящими под определенным углом рифлями, где в результате возникающего гидродинамического режима происходит гравитационная дифференциация и веерообразное движение частиц по поверхности рифельных пластин, где легкие частицы увлекаются потоками воды, а тяжелые под действием гравитации спускаются вниз между рифлями в межрифельном пространстве. В работе авторами приведен алгоритм расчета с использованием подпрограммы rkfixed, которая решает систему дифференциальных уравнений методом Рунге – Кутты для многих частиц. Приводятся сравнительные результаты экспериментальных исследований для частиц магнетита с разной крупностью с теоретическими результатами физико-математического моделирования процесса разделения с учетом первоначального распределения частиц по разделительной поверхности и влияния образующихся вихревых движений частиц в межрифельном пространстве. Моделирование показывает приемлемые результаты и подтверждается экспериментальными данными, полученными при исследовании по разделению частиц разной крупности.

Ключевые слова: крутонаклонный концентратор, обогащение, моделирование, частица, песок, магнетит

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).

MODELING OF THE PROCESS OF GRAVITATIONAL SEPARATION OF MINERAL PARTICLES IN THE WORKING AREA OF A STEEPLY INCLINED CONCENTRATOR

Matveev A.I., Yakovlev B.V., Eremeeva N.G., Nechaev P.B.

*Mining Institute of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: danng1@mail.ru*

The aim of the research is to simulate the processes of separation of mineral mixtures on the sedimentary surface of a steeply inclined concentrator to assess the influence of operating parameters and design features. Modeling of the particle separation process as a multifactorial process is presented as a solution of a system of equations. The complexity of the processes occurring in the working area of steeply installed packages of plates with riffles descending at a certain angle is shown, where, as a result of the resulting hydrodynamic regime, gravitational differentiation and fan-shaped movement of particles occur on the surface of the riffle plates, where light particles are carried away by water flows, and heavy particles descend between the riffles under the influence of gravity. In the paper, the authors present a calculation algorithm using the rkfixed subroutine, which solves a system of differential equations by the Runge-Kutta method for many particles. Comparative results of experimental studies for magnetite particles of different sizes are presented with theoretical results of physical and mathematical modeling of the separation process, taking into account the initial distribution of particles over the separation surface and the influence of the resulting vortex motions of particles in the inter-riffle space. Modeling shows acceptable results and is confirmed by experimental data obtained during the study on the separation of particles of different sizes.

Keywords: steeply inclined concentrator, mineral processing, modeling, particles, sand, magnetite

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, Unified state information system for recording scientific research, experimental design and technological work for civil purposes No. 122011800089-2) using the equipment of the Collective Use Center of the FRC Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (grant No. 13.CKP.21.0016).

Введение

Сегодня все больше внимания уделяется разработке новых эффективных технологий обогащения трудноизвлекаемых полезных

ископаемых. Для объектов добычи золота характерно вовлечение в отработку месторождения с более низким содержанием золота и трудноизвлекаемым фракциями,

как мелко и тонкого золота, что диктует необходимость усовершенствования существующих методов и способов обогащения. Наиболее это характерно для широко используемых гравитационных методов обогащения [1–3], которые, как известно, являются менее затратными из всех существующих и экологически безопасными.

При обогащении россыпей, содержащих мелкие, тонкие классы золота, такая проблема, как извлечение полезного компонента, решается путем использования новых разработок отечественного и зарубежного производства в различных конструкциях и типах обогатительного оборудования [4–6].

Одним из них, в части реализации инновационных предложений, является крутонаклонный концентратор конструкции ИГДС СО РАН, разрабатываемый в лаборатории обогащения полезных ископаемых. Конструкция концентратора постоянно совершенствуется, но главным является принцип его работы, который выражается в комплексном использовании разделительных процессов минеральных частиц по плотности и по крупности в объеме восходящего потока воды на тонком приповерхностном ее слое (на осадительной поверхности концентратора) [7].

В ходе разработки концентратора были спроектированы и изготовлены разные лабораторные образцы концентратора, написаны методики проведения исследований и проведены экспериментальные работы.

Основной процесс классификации происходит в рабочей зоне по принципу равнопадаемости или гидравлической классификации, а на осадительной поверхности пластин, учитывая метод поведения частиц

на наклонной плоскости, под действием силы гравитации. В результате использования двух видов разделения в аппарате, одновременно происходит классификация минерального сырья по гидравлической равнопадаемости и разделение по гидравлической крупности или плотности.

Цель исследования – моделирование процессов разделения минеральных смесей на осадительной поверхности концентратора для оценки влияния режимных (формирование технологических потоков) и конструктивных параметров.

Материалы и методы исследования

Сложность процесса разделения минеральных зерен в рабочей зоне как многофакторного процесса требует применения современных методов, в том числе физико-математической модели процесса разделения минеральных смесей на осадительной поверхности концентратора. Научная новизна работы заключается в разработке физико-математической модели движения частиц в рабочей камере разработанного крутонаклонного концентратора и алгоритма определения вероятности извлечения тяжелых частиц в концентратор с использованием статистического метода.

Объектом моделирования является крутонаклонный концентратор, принципиальная схематическая конструкция которого представлена на рис. 1, состоящий из корпуса (1), загрузочного узла (2), отверстия для ввода транспортной воды (3), патрубка подачи воды для создания среды разделения (4), наклонной нарифленной поверхности (5), камеры для сбора концентрата (6), канала для удаления хвостов (7).

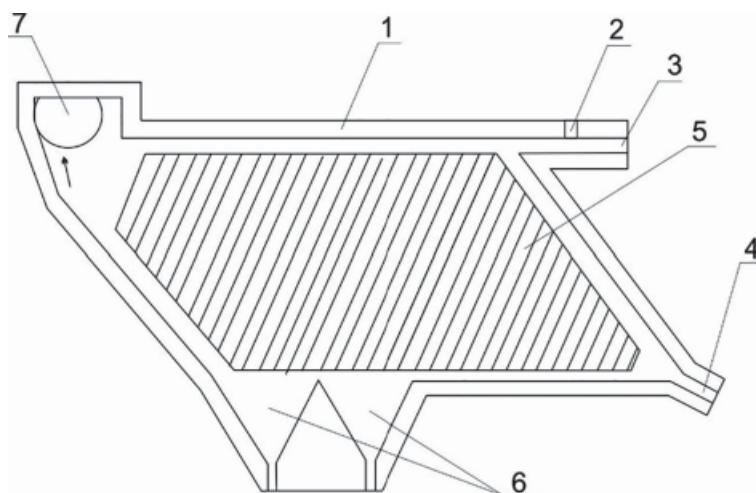


Рис. 1. Схема концентратора

Минеральное сырье подается через загрузочное отверстие в виде пульпы в концентратор. В верхней части рабочей камеры частицы распределяются по рифлям, где происходит гравитационная дифференциация в веерообразном движении частиц в зависимости от угла наклона концентратора. В зоне разделения легкие частицы увлекаются потоками воды и выводятся из рабочей камеры разгрузочным каналом, а тяжелые под действием гравитации спускаются вниз между рифлями и разгружаются в камеру сбора концентрата.

В основу физической модели заложен процесс разделения минералов, начиная с начальной стадии ввода минеральных зерен с дифференциацией их распределения по верхней части концентратора (надрифленной части концентратора) в зависимости от крупности и плотности частиц (рис. 1). Через патрубок для подачи исходного материала 6 загружается однородный поток зерен с различной плотностью. Зерна движутся под действием силы потока воды, поступающей в концентратор через патрубок 7, и силы тяжести (рис. 2). Также на них действуют силы реакции рабочей поверхности концентратора и трения.

Зерна тяжелой фракции, попадая в межрифленное пространство, не могут покинуть его вследствие действия поперечно направленного потока воды и перемещаться по наклонной плоскости, в отличие от частиц менее плотных, которые по мере нисходящего движения по наклонной плоскости будут увлекаться потоком, то есть происходит последовательная переценка тяжелой фракции.

Согласно физико-математической модели движения частицы в концентраторе, зная физические свойства частицы (массу, форму, размер), параметры устройства (угол наклона рабочей поверхности, скорость потока воды) и параметры движения (начальные положения частицы, коэффициент силы трения), можно определить закономерности движения зерен. Это позволяет рассчитывать возможные положения частицы в устройстве и разработать алгоритм определения распределения вероятности по рифлям, что дает возможность рассчитать показатели разделения минеральных частиц в концентраторе.

Диапазон угла наклона нарифленной поверхности находится в пределах 60–80° от горизонта.

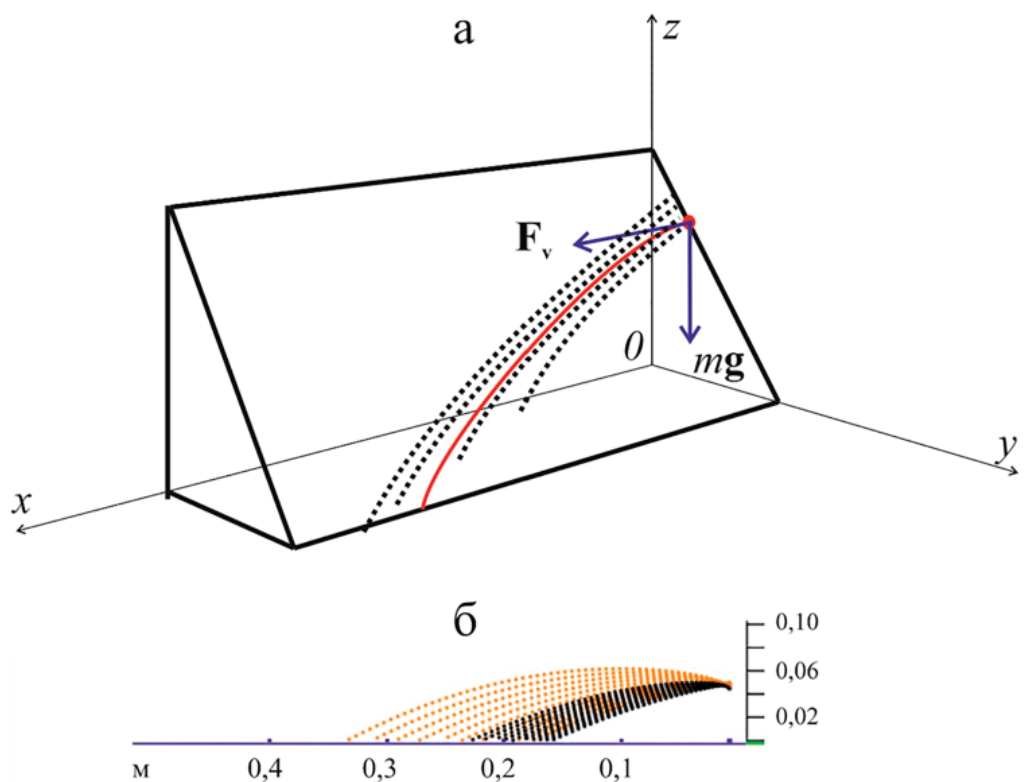


Рис. 2. Траектории движения частиц в верхней (загрузочной) части концентратора (а) и результат моделирования (б) по пескам (светлые точки) и по магнетиту (темные точки)

Уравнение движения для одной частицы с учетом силы реакции поверхности под действием однородного потока воды с определенной скоростью v_v , направленного горизонтально, имеет вид

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = m\mathbf{g} + a(\mathbf{v}_v - v_x \mathbf{e}_x) + mg \cos \alpha \cdot \sin \alpha \mathbf{e}_y + mg \cos^2 \alpha \mathbf{e}_z + fN \frac{\mathbf{v}}{v},$$

где m – масса частицы, a – коэффициент силы потока воды, зависит от формы и массы частицы, v_v – скорость потока воды, f – коэффициент трения о поверхность.

Разлагая по компонентам, получаем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \\ \frac{dz}{dt} = v_z \\ \frac{dv_x}{dt} = \frac{a}{m}(v_v - v_x) + \frac{fg \cos \alpha v_x}{v} \\ \frac{dv_y}{dt} = g \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \frac{fg \cos \alpha v_y}{v} \\ \frac{dv_z}{dt} = -g + g \cos^2 \alpha + \frac{fg \cos \alpha v_z}{v} \end{array} \right.$$

Система решается методом Рунге-Кутты.

Решение этой системы для частиц песка и магнетита (масса частицы песка равна 1 мг, частицы магнетита – 1,6 мг), которые далее будут участвовать в экспериментальной части работы, приводит к траектории (рис. 2, б) движения частиц песка и магнетита при скорости воды 2 м/с, рассчитанных по этому методу. Согласно методу, предложенному в работах [8, 9], вероятность положения частицы вдоль горизонтальной оси на уровне 0 прямо пропорциональна количеству частиц, проходящих через этот уровень за единицу времени. С этого уровня определяется количество частиц (в процентах), которые окажутся в определенных ячейках (межрифленное пространство), данного размера. При этом принято, что начальное произвольное направление скорости частиц соответствует изотропному распределению направлений начальных скоростей возможных частиц.

Частицы, попадая в верхнюю часть межрифленного пространства, движутся под действием силы тяжести и потока воды. Из-за геометрии устройства в нем частица

пытается занять место в углу между рифлями и плоскостью. В этой области согласно модели происходит вихревое движение жидкости (рис. 3). Поэтому для расчета распределения частиц по массам внутри этой области, необходимо определение скорости частицы в момент входа частицы в область вихревого движения жидкости.

При ламинарном течении жидкости над рифлями в области между рифлями образуется вихревое движение жидкости (рис. 3). Образование вихревого движения можно объяснить следующим образом: на границе ламинарного и вихревого движения жидкость рассматривается как вязкая, и крайняя часть вихревого движения жидкости увлекается ламинарным течением.

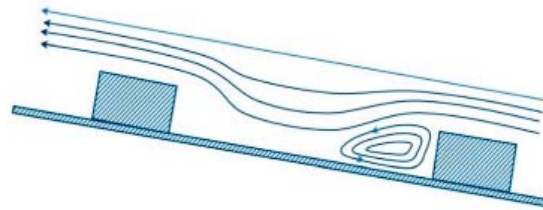


Рис. 3. Вихревое движение жидкости в области между двумя рифлями

В работе [10, с. 195] рассматривается вихревое движение жидкости в траншее, наверху которой имеется ламинарное течение жидкости. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что в этом случае соответствует вихревое движение жидкости с постоянной завихренностью. В рассматриваемой задаче завихренность постоянная ω и направлена перпендикулярно к плоскости (рис. 3), она связана со скоростью жидкости v соотношением: $\nabla \times \mathbf{v} = \omega$. В первом приближении при моделировании вихревого движения частицы принимается, что жидкость в этой области устройства вращается по круговой траектории. В этом случае система имеет аксиальную и цилиндрическую симметрию, то есть задача является плоской. Несложные вычисления показывают, что при данных условиях, интегрирование уравнения $rot(\mathbf{v}) = \omega$ дает линейное распределение

скорости вдоль радиуса цилиндра. На периферии жидкость вращается со скоростью прилегающей к ней ламинарного течения, в центре этой области скорость жидкости равна нулю. Из-за геометрии устройства тяжелые зерна породы в желобе попадают в зону вихревого движения жидкости. Более тяжелые частицы занимают место около оси вращательного движения жидкости. Совершая вращательные движения под действием потока воды, зерна под действием силы тяжести (так как рабочая поверхность наклонена под углом 70°) сползают вниз. Траектория частиц имеет форму спирали. Периферийная часть области вихревого движения уносится потоком воды, подающейся через патрубков (3) из нижней части концентратора (рис. 1).

На рис. 4 приведен алгоритм расчета, где подпрограмма rkfixed решает систему дифференциальных уравнений методом Рунге – Кутты для многих частиц. При расчетах учитывалось то, что в уравнениях ко-

эффициент силы потока воды и масса частицы входят как множитель a / m к скорости воды. Коэффициент a , согласно формуле Стокса, зависит от размера частицы линейно $\sim r$, а масса пропорциональна объему частицы $\sim r^3$. Поэтому этот множитель пропорционален $\sim r^{-2}$. Расчеты проведены для частиц с размерами 3,5; 2,5; 1,5 мм.

По разработанному алгоритму вычисляется конечная вероятность нахождения частицы в определенной области рабочей поверхности устройства. Зная эту вероятность, можно определить количество частиц, пересекающих за некоторый промежуток времени горизонтальный уровень, граничащий с верхним краем рифлей. Таким образом, определяется распределение частиц на рифленной части, а далее попадание их в камеры (2 камеры) накопителя тяжелых минералов в нижней части концентратора, что является равносильным показателю извлечения тяжелых минералов в моделируемом объекте.

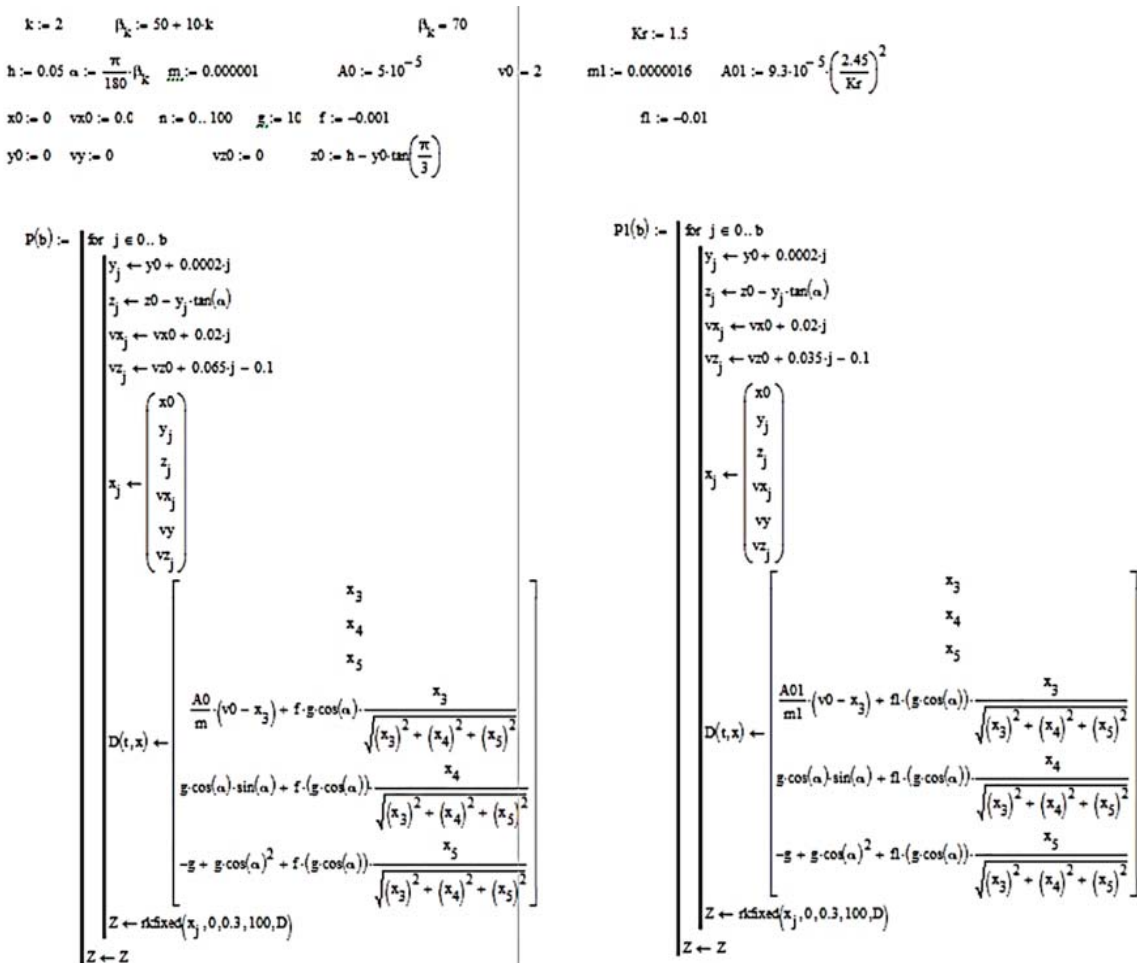


Рис. 4. Алгоритм расчета для частиц магнетита с различной крупностью

**Усредненные результаты экспериментальных исследований
при различных крупностях частиц магнетита**

№	Продукт	Общий вес, г	Песок, г	Выход γ , %	Магнетит, г	Извлечение, %
Наклон концентратора 60° поток 0,35 л/с, песок 200 г; магнетит класс +0,315 мм 10 г						
1	Камера 1	15,98	9,68	7,64	6,3	63,00
	Камера 2	46	42,33	21,99	3,67	36,70
	Хвосты	147,23	147,2	70,37	0,03	0,30
	Всего	209,21	199,21	100,00	10	100,00
Наклон концентратора 60° поток 0,35 л/с, песок 200 г; магнетит класс -0,315+0,2 мм 10 г						
2	Камера 1	13,39	10,74	6,42	2,65	26,24
	Камера 2	46,13	40,3	22,11	5,83	57,72
	Хвосты	149,11	147,49	71,47	1,62	16,04
	Всего	208,63	198,53	100,00	10,1	100,00
Наклон концентратора 60° поток 0,35 л/с, песок 200 г; магнетит класс -0,2 мм 10 г						
3	Камера 1	6,76	6,04	3,25	0,72	7,19
	Камера 2	49,25	44,75	23,68	4,5	44,91
	Хвосты	151,94	147,14	73,07	4,8	47,90
	Всего	207,95	197,93	100,00	10,02	100,00

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Для сравнения полученных результатов с практикой разделения были проведены экспериментальные исследования извлечения тяжелых минералов. В таблице приводятся усредненные результаты экспериментальных исследований для частиц магнетита с различными крупностями.

При проведении экспериментов использовалась искусственная смесь, состоящая из 200 г речного песка и 10 г магнетита. Магнетит в качестве имитатора тяжелых минералов был выбран для удобства обработки полученных продуктов с помощью магнитной сепарации. Эксперименты проводились для частиц магнетита с различной крупностью: +0,315 мм, -0,315+0,2 мм, -0,2 мм; скорость подачи воды определялась расходомером и составляла от 0,35 до 0,42 л/с.

На рис. 5 приведены сравнения, полученные в ходе эксперимента данных с результатами теоретического расчета (по модели). По горизонтальной оси x точками 1, 2, 3 отмечены соответственно в 1 камере, во 2 камере и в хвостах, на вертикальной

оси даны количества частиц песка (слева), магнетита (справа) в процентах (синий треугольник – экспериментальные данные, красный кружочек – теоретические).

Как видно из рис. 5, формы кривых (красные и синие линии) с некоторой небольшой погрешностью совпадают. График слева показывает выход песка. Как и ожидалось, в первой камере (точка 1 на горизонтальной оси) остается меньше песка, чуть больше во второй камере (точка 2), и основная часть песка уходит в хвосты (точка 3). График справа показывает извлекаемость магнетита в зависимости от крупности: а) +0,315 мм (в расчетах 0,35 мм), б) -0,315+0,2 мм (в расчетах 0,25 мм), в) -0,2 мм (в расчетах 0,15 мм). Тяжелые фракции крупностью +0,315 мм в основном остаются в первой камере (рис. 5, а), небольшая часть попадает во вторую камеру. Средние фракции крупностью -0,315+0,2 мм в основном падают во вторую камеру (рис. 5, б). Мелкие фракции крупностью -0,2 мм в основном уходят в хвосты (рис. 5, в). Таким образом, теоретическая модель достаточно хорошо описывает результаты натурального эксперимента.

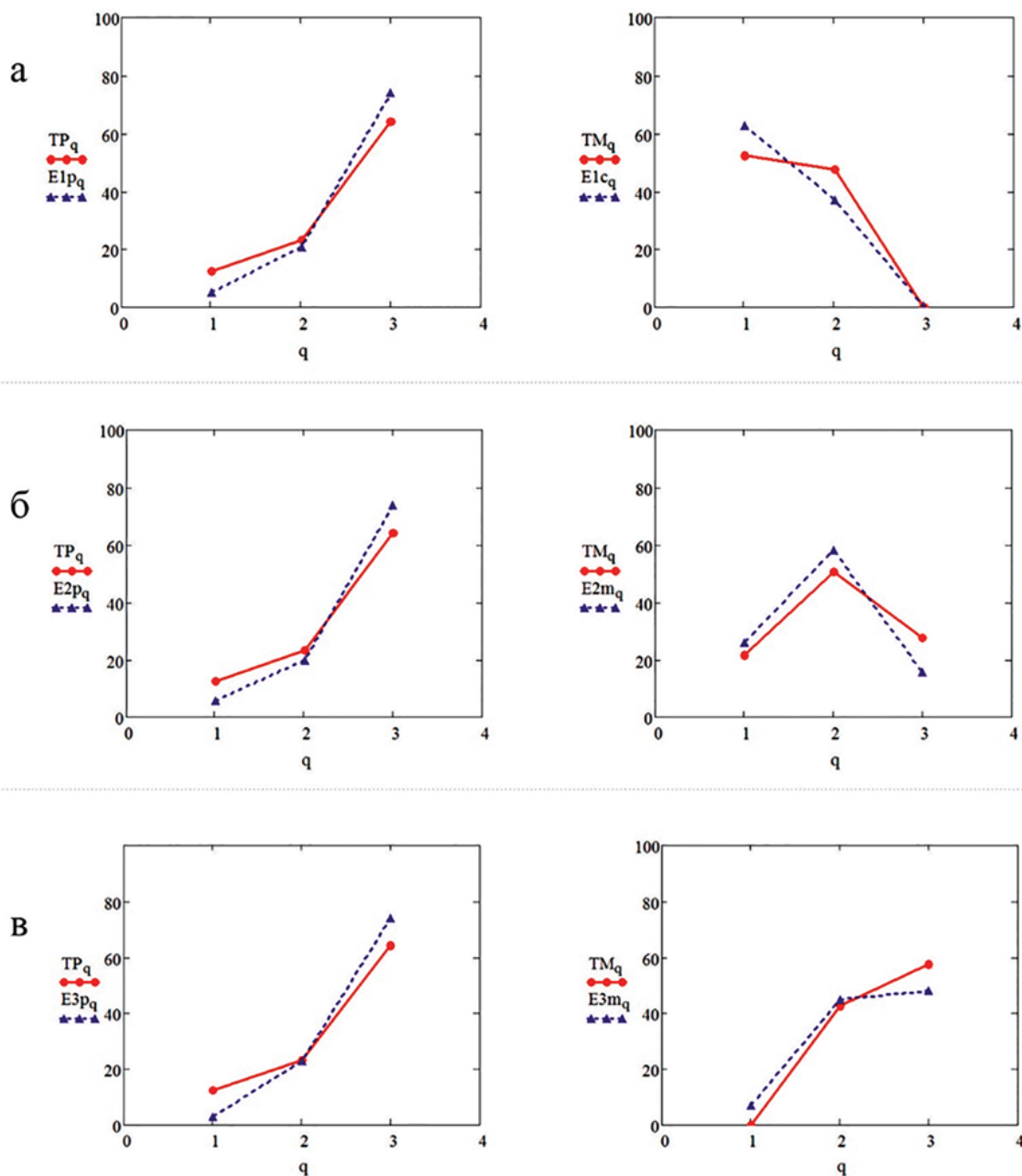


Рис. 5. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими результатами моделирования для частиц с различными крупностями:
 а) +0,315 мм, б) -0,315+0,2 мм, в) -0,2 мм

Заключение

Процесс разделения частиц на крутонаклонном концентраторе как мультифакторного процесса требует применения современных методов исследования.

Разработанная физико-математическая модель процесса разделения с учетом первоначального распределения частиц по разделительной поверхности и влияния образующихся вихревых движений частиц в меж-

рифельном пространстве на основе метода ансамблей Гиббса и принципа суперпозиции систем позволяет получить близкие к экспериментальным расчетные значения.

Решение вероятностной задачи распределения частиц на надрифленной части и попадание их в камеры накопителя тяжелых минералов в нижней части концентратора равносильно показателю извлечения тяжелых минералов и хорошо коррелиру-

ется с результатами экспериментальных исследований в лабораторной модели концентратора по разделению частиц магнетита с различной крупностью (+0,315 мм, -0,315+0,2 мм, -0,2 мм) от песка.

Разработанная физико-математическая модель и алгоритм движения частиц в рабочей зоне концентратора позволит рассчитать извлечение тяжелых минералов, в зависимости от их класса крупности, в новой конструкции крутонаклонного концентратора.

Список литературы

1. Кунгурова В.Е. Оценка эффективности технологий извлечения тонкого золота на примере титаномагнетитовых пляжевых россыпей западного побережья Камчатки // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 840–853. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.6.
2. 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.
3. Burt R. The role of gravity concentration in modern processing plants // Minerals Engineering. 1999. Vol. 12, Is. 11. P. 1291–1300.
4. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В., Бурдакова Е.А., Самородский П.Н., Маркова А.С. Разработка стадийной гравитационной схемы извлечения благородных металлов // Обогащение руд. 2015. № 2. С. 3–7. DOI: 10.17580/or.2015.02.01.
5. Oparin V.N., Smolyanitsky B.N., Sekisov A.G., Trubachev A.I., Salikhov V.S., Zykov N.V. Promising mining technologies for gold placers in Transbaikalia // Journal of Mining Science. 2017. Т. 53, № 3. P. 489–496. DOI: 10.1134/S1062739117032415.
6. 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.
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. 222–224.
8. Krylatova S.R., Yakovlev B.V., Matveev A.I., Lebedev I.F. Determination of probability of position of particle on working surface of spiral pneumoseparator by methods of mathematical modeling // AIP Conference Proceedings. Vol. 1907, Is. 1. 030032. 2017. DOI: 10.1063/1.5012654.
9. Лебедев И.Ф., Крылатова С.Р., Гаврильев Д.М., Яковлев Б.В. Статистический метод определения движения частицы в винтовом пневмосепараторе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 9. С. 165–171. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-165-171.
10. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973. 416 с.

УДК 622:621.926/.927
DOI 10.17513/use.38356

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНЫХ ДРОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВКИХ МАРКЕРОВ

Осипов Д.А., Лебедев И.Ф.

*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: Brelick@list.ru*

Цель исследования заключается в разработке методики определения рабочих параметров роторных дробильных установок на примере ДКД-300 с использованием ковких маркеров. В работе приводится методика исследования особенностей разрушения геоматериалов, где применен метод изучения поведения частиц в рабочей камере с применением ковких маркеров. В дробильную установку совместно с исходным материалом или в отдельности загружаются частицы свинца, обладающие свойством сохранения памяти в виде следов деформации. Авторами выбран кинематический способ определения скорости соударения маркеров с поверхностью рабочего органа, путем сопоставления экспериментальных результатов лабораторных стендов, где с помощью площади поверхности деформации сфероидного маркера определяется скорость столкновения с жесткой поверхностью. В результате экспериментальных исследований по изучению эффективности дробления рудного материала установлены максимальная скорость перемещения частиц в рабочей полости установки, оптимальная производительность, количество и характер динамических воздействий на геоматериал. В работе приводятся сопоставления результатов лабораторных стендов, которые показывают, что в дробильной установке ДКД-300 создаются условия для дезинтеграции особо крепких пород. При оптимальной производительности установки за счет интенсивных динамических воздействий и малых скоростей перемещения частиц, а также столкновений частиц друг с другом достигается режим селективного дробления. Путем регулирования подачи руды можно контролировать и задать определенное пространство для интенсивных перемещений частиц внутри рабочей полости. Предлагаемый метод с использованием частиц свинца в качестве маркеров в дробильных установках роторного типа дает возможность получить подробное описание происходящего процесса внутри рабочей полости дробильных аппаратов: виды деформации, интенсивность динамических нагрузок, скорости приложения ударной нагрузки в зависимости от производительности установки.

Ключевые слова: роторная дробилка, дезинтеграция, руда, твердость, дробление, горная порода, свинцовые маркеры, степень дробления, лабораторный стенд

POSSIBILITY OF DETERMINING THE OPERATING PARAMETERS OF ROTARY CRUSHING PLANTS USING FORGED MARKERS.

Osipov D.A., Lebedev I.F.

*Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center
“Yakutsk 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: Brelick@list.ru*

The purpose of the study is to develop a methodology for determining the operating parameters of rotary crushing plants using the example of DKD-300 using malleable markers. The paper presents a methodology for studying the features of destruction of geomaterials, where the method of studying the behavior of particles in the working chamber using malleable markers is applied. Lead particles with the property of preserving memory in the form of deformation traces are loaded into the crushing plant together with the source material or separately. The authors selected a kinematic method for determining the velocity of collision of markers with the surface of the working element, by comparing the experimental results of laboratory stands, where the velocity of collision with a hard surface is determined using the surface area of the deformation of the spheroid marker. As a result of experimental studies on the efficiency of crushing ore material, the maximum velocity of particle movement in the working cavity of the plant, optimal productivity, and the number and nature of dynamic effects on the geomaterial were established. The paper presents comparisons of the results of laboratory stands, which show that the DKD-300 crushing plant creates conditions for the disintegration of especially hard rocks. At optimum plant performance, due to intensive dynamic effects and low particle movement speeds, as well as particle collisions with each other, a selective crushing mode is achieved. By regulating the ore feed, it is possible to control and set a certain space for intensive particle movements inside the working cavity. The proposed method using lead particles as markers in rotary crushing plants makes it possible to obtain a detailed description of the process occurring inside the working cavity of crushing devices: types of deformation, intensity of dynamic loads, speeds of application of impact load depending on the plant performance.

Keywords: rotary crusher, disintegration, ore, hardness, crushing, rock, lead markers, crushing degree, laboratory stand

Введение

Использование в рудоподготовке дробильных установок с принципом работы многократного динамического воздействия на геоматериал начинает вызывать научный и промышленный интерес. Основное внимание исследователей в процессе дробления руд в последние десятилетия направлено на селективное разрушение минеральных фаз. Возникает новое требование к разрушительным процессам – сохранение целостности кристаллической структуры [1–3].

Одной из основных проблем исследований разрушения геоматериалов в дробильной установке является невозможность выявления основных рабочих показателей установки: скорость перемещения частиц в процессе дробления, виды деформаций, количество динамических контактов с рабочими органами, процент соударения друг с другом и т.д. Невозможность понять картину происходящего внутри дробильной установки не дает установить полный контроль над процессом дезинтеграции руд.

Цель исследования – показать возможность использования ковких маркеров для определения рабочих параметров роторных дробильных установок на примере ДКД-300.

Материалы и методы исследования

Предлагается метод изучения поведения частиц в рабочей камере с применением ковких маркеров [4].

Сущность идеи заключается в следующем. В дробильную установку совместно с исходным материалом или в отдельности

загружаются частицы, обладающие свойством сохранения памяти в виде следов деформации. Для изучения поведения в рабочей полости частиц различной плотности могут быть применены: свинец – 11,3 г/см³; олово – 7,3 г/см³; низкоуглеродистое отожженное железо – 7,8 г/см³; алюминий – 2,7 г/см³.

Выбор материала в качестве маркеров также предусматривает учет их физико-механических свойств: пределы параметров пластичности, форма и плотность частиц, информативность деформационных изменений поверхности маркеров с учетом возможных механических нагрузок в процессе дробления.

Соударение частиц с рабочим органом происходит с различной скоростью. Разработан кинематический способ определения скорости соударения маркеров с поверхностью рабочего органа путем сопоставления площади поверхности деформации сфероида маркера со скоростью его столкновения с ровной жесткой поверхностью.

Вполне очевидно – величина площади плоскости деформации маркера прямо коррелируется со скоростью его соударения с поверхностью рабочего органа [5]. Отсюда, если известна площадь плоскости деформации маркера, то можно определить, с какой скоростью произошло столкновение частицы с броней. С целью определения скорости соударения частиц с броней был изготовлен стенд (рис. 1).

Принцип работы стенда заключается в следующем. С помощью метателя 1 свинцовый маркер выстреливается в сторону неподвижно установленной плиты 2.

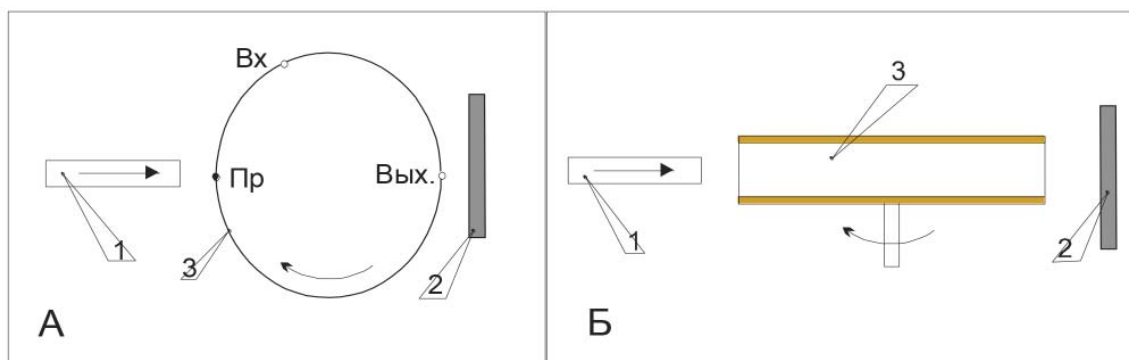


Рис. 1. Схема устройства стенда для сопоставления скорости соударения дробилок с броней и площади плоскости деформации: А – вид сверху; Б – разрез стенда по вертикали.

1 – метатель, 2 – стальная броня, 3 – полый цилиндр с бумажной стенкой.

Отверстия на стенке цилиндра: Вх – входящее, Вых – выходящее.

Пр – точка, диаметрально противоположная выходному отверстию

Испытуемый образец свинца проходит через тонкую бумагу вращающегося цилиндра 3 и оставляет на ней входное и выходное отверстия. Затем отверстия идентифицируются по направленности. Измеряется линейное расстояние, на которое провернулся цилиндр за время пролета маркера на расстояние равное его диаметру. Измеряется длина l от входного отверстия до точки, расположенной диаметрально против выходного отверстия. Линейная скорость стенки цилиндра, при его диаметре 22,8 см и частоте вращения 1500 об/мин, составляет 17,8 м/с.

Далее, на поверхности маркера под бинокулярной лупой с микролинейкой опре-

деляется площадь поверхности плоскости деформации. Таким образом, вычисляются основные необходимые данные для определения скорости соударения маркеров с рабочими элементами установки.

Вместе с тем выполненные сравнительные замеры величин деформации маркеров, установленных под различными углами, при соударении их с плитой (табл. 1) показали, что при изменении угла удара от 90° до 40° изменяется лишь конфигурация плоскостей деформации, а площади плоскостей их деформации оставались практически одинаковыми и соответствовали скоростям соударения.

Таблица 1

Площадь S (мм²) деформации частиц маркеров при различных скоростях V (м/с)

№	Угол атаки свинцового маркера					
	20°		40°		90°	
	V, м/с	S, мм ²	V, м/с	S, мм ²	V, м/с	S, мм ²
1	18,4	1,5	17,5	5,9	19,0	6,1
2	22,5	1,9	21,5	7,2	21,0	6,5
3	24,3	2,0	23,7	7,9	24,0	7,4
4	25,6	2,2	24,9	8,3	25,4	8,0
5	28,9	3,2	26,0	9,0	28,0	8,5
6	30,9	4,3	29,6	9,7	31,7	9,7
7	34,6	4,5	32,8	10,5	35,5	10,7
8	35,5	5,9	35,4	11,7	37,4	12,8
9	37,0	6,5	36,7	13,5	38,5	13,0
10	39,0	9,0	39,4	13,9	39,0	13,7
11	47,0	9,2	45,0	14,4	46,3	14,3
12	50,0	9,8	52,0	15,1	55,1	15,3

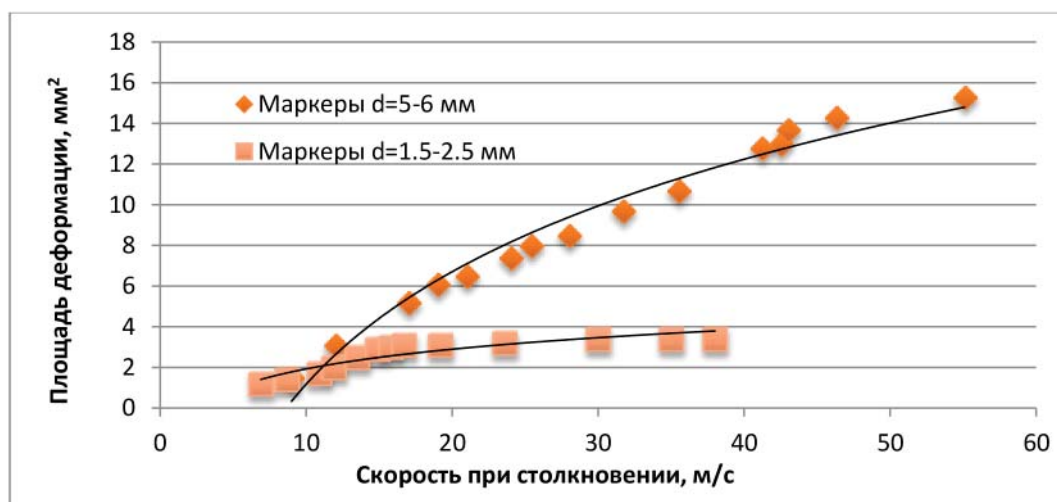


Рис. 2. Площадь деформации в зависимости от скорости столкновения под углом атаки 90°

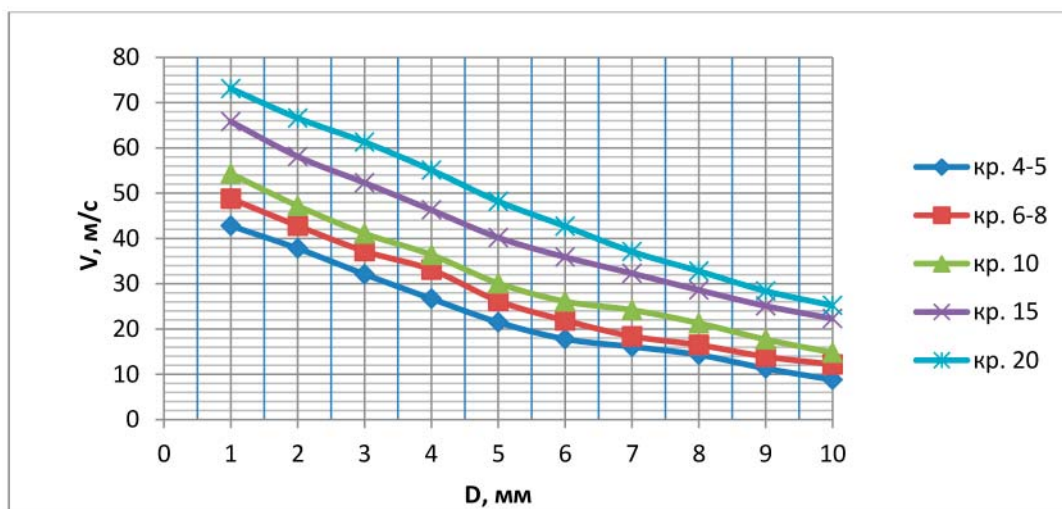


Рис. 3. Зависимость половинчатого разрушения частиц разной крепости от скорости столкновения

Далее, как это показано на рис. 2, величина площади деформации зависит не только от скорости и угла соприкосновения маркера с плитой, но и от диаметра дробины.

Отсюда становится вполне очевидным – определение скоростей соударения маркеров лучше всего производить с шариками свинца с наиболее большим диаметром.

Масса дробины равна 0,45 г. Скорость соударения находим по корреляционному графику, к примеру, отображенному на рис. 3. Промежуток времени контакта определяем следующим образом. Высоту смятия дробины от ее первоначальной сферической поверхности до плоскости деформации, равной h , принимаем за путь, пройденный маркером, от начала контакта маркера с биллом и до прекращения контакта. При расчете импульса силы удара через сопоставление плоскостей деформации соударением и статического давления установлено, что при скорости 35 м/с время контакта дробин с плоскостью рабочего органа составляет 0,01 с, а скорость деформации 0,02 м/с.

В институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН ранее была проведена работа по выявлению подбора оптимальной скорости столкновения материала с рабочим органом установки на специальном лабораторном стенде. Основным критерием является разрушение единичной рудной частицы более двух раз. В качестве испытуемых образцов были использованы частицы с крупностью от 1 до 10 мм, различной крепости по шкале Протодьяконова [6].

Возможность получения подробного описания происходящего внутри установки процесса дезинтеграции можно рассчитать из графиков (рис. 2 и 3), сопоставив результаты. Например, для разрушения частиц крепостью $f=6$ (крепкие руды) крупностью от 3 до 1 мм необходимо обеспечить скорости воздействия на частицу: 30, 40, 50 м/с.

Испытуемая дробильная установка комбинированного ударного действия ДКД-300 состоит из корпуса, бункера приема рудной массы, питающего патрубка в нижней части, пары роторов первичного, дополнительного (нижнего) и вторичного дробления, разгрузочного патрубка и представляет сложный аппарат с точки зрения возможных вариантов столкновения исходных кусков геоматериалов с рабочими органами, так и между собой. Следует отметить, что на данной установке ранее была достигнута высокая степень дробления кимберлитовых руд, изометризация форм частиц свободного золота, а также возможность производства изометризованных частиц щебня [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Кварцевая руда со свинцовыми маркерами подвергалась дезинтеграции в дробильной установке ДКД-300. Для оценки степени дробления полученные продукты разделены по классам крупности, гранулометрический состав наглядно представлен на рис. 4.

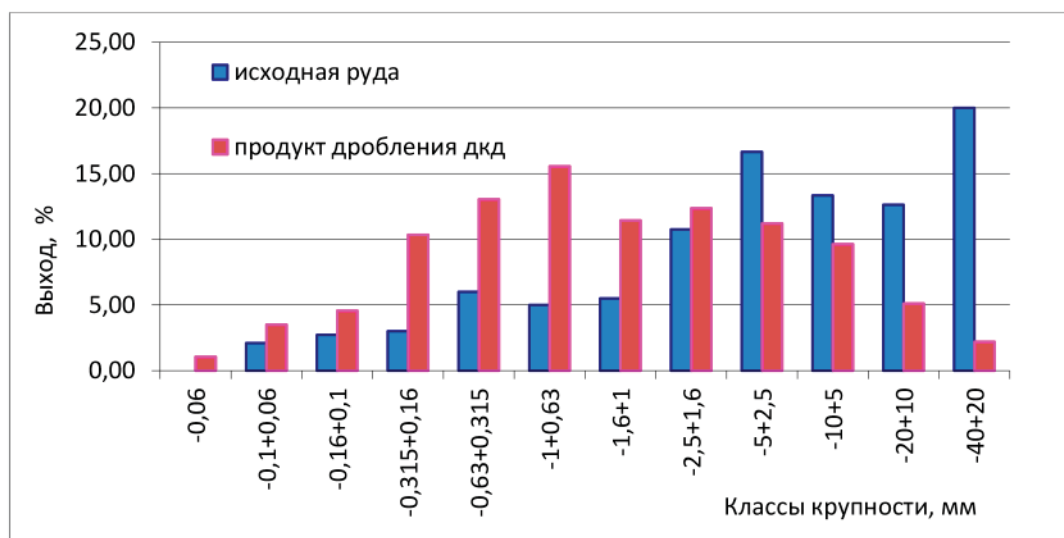


Рис. 4. Гранулометрический состав исходной руды и продуктов дробления

Таблица 2

Зависимость скорости от площади деформации частиц при совместной загрузке с горной породой

№	Площадь деформации, мм	Скорость, м/с	№	Площадь деформации, мм	Скорость, м/с
1	6	18,3	11	7,4	24
2	5,5	17,5	12	6,2	18,6
3	4,2	15,2	13	4,6	15,9
4	7,2	22,5	14	5,3	17,3
5	4,8	16	15	5,5	17,5
6	5,6	17,8	16	7,2	22,5
7	6,3	18,8	17	4,7	15,9
8	7,3	23,5	18	6	18,3
9	4,5	15,8	19	6,5	19,2
10	6,7	19,5	20	5,5	17,5

Исследования процессов дробления с использованием свинцовых дробин-маркеров размером 5–6 мм показали, что после одного цикла дробления в дробилке ДКД-300 маркеры в количестве 95 % сохранили свой первоначальный размер. Остальные дробины, 5 %, были сплюснены, это объясняется тем, что за время дробления частицы свинца попадали между роторами, толщина маркеров составляет 2–4 мм. За один цикл было загружено 100 шт. маркеров. На рис. 4 приведены частицы маркеров после разгрузки, где основная часть частиц несут следы кручения. Следует отметить, что в испытанных маркерах полностью отсутствуют разорванные частицы.

Расчет параметров деформаций маркеров на скорости перемещения частиц в моменты столкновения (табл. 2) показал, что максимальная скорость соударения частиц свинца в дробильной установке, при загрузке в режиме «без рудной массы», достигает 24–36 м/с. Средняя скорость перемещения частиц составляет 30,6 м/с. Количество вмятин на дробинах различно и составляет: 1–5 плоскостей – 10 %; 5–10 плоскостей 15 %; 10–15 плоскостей – 25 %; 15 и более плоскостей – 50 %.

В дальнейших экспериментах в ДКД-300 загружались свинцовые маркеры с диаметром 5–6 мм в количестве 100 шт. вместе с рудной массой. Дробление производи-

лось при максимальной производительности дробилки 15 т/ч. Исходная крупность руды менее 100 мм.

Как и предполагалось, основная часть свинцовых маркеров более 90 % сосредоточена в классах крупности продуктов дробления -5+2, следовательно, 10 % маркеров за счет истирания перешли в более мелкие классы.

После замеров плоскостей деформации была установлена средняя скорость перемещения частиц в процессе дробления пород – 20 м/с. В табл. 2 приведены данные 20 маркеров, где максимальная скорость достигает 24 м/с, а минимальная – 14 м/с. Максимальное количество вмятин всего 8. Следовательно, количество приложенных соударений с достаточно высокой энергией заметно уменьшилось по сравнению с вариантом «без загрузки горной породы». Поверхность у всех маркеров исцарапана обломками породы, что свидетельствует об интенсивном взаимодействии частиц между собой, элементы истирания.

Дробилка комбинированного ударного действия ДКД-300 по сравнению с другими роторными аппаратами имеет невысокую скорость соударения частиц в рабочей полости. Высокая эффективность дезинтеграции пород достигается за счет многократных динамических воздействий на материал, как с рабочей поверхностью роторов, так и кусков друг с другом. Кроме того, высокая степень дробления при меньшей производительности дробилки 7–8 т/ч (максимальная 12 т/ч) объясняется наличием высоких скоростей столкновения за счет более свободного движения частиц внутри рабочей камеры дробильной установки.

Заключение

Использование частиц свинца в качестве маркеров исследования в дробильных установках роторного типа дает возможность получить подробное описание происходящего внутри рабочей полости дробильных аппаратов роторного типа: виды

деформации, интенсивность динамических нагрузок, скорости приложения ударной нагрузки в зависимости от производительности установки. Сопоставление результатов лабораторных стендов показывает, что данная дробильная установка ДКД-300 может быть использована для особо крепких пород, так как скорость столкновения частиц с рабочими элементами дает возможность разрушить даже мелкие частицы. При оптимальной производительности установки, за счет интенсивных динамических воздействий и малых скоростей перемещения частиц, а также столкновений частиц друг с другом достигается режим селективного дробления. Путем регулирования подачи руды можно контролировать и задать определенное пространство для интенсивных перемещений частиц внутри рабочей полости.

Список литературы

1. Юсупов Т.С., Бакшеева И.И., Ростовцев В.И. Исследование влияния различных видов механических воздействий на селективность разрушения минеральных ассоциаций // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых 2015. № 6. С. 182–188.
2. Уракаев Ф.Х., Шумская Л.Г., Кириллова Е.А., Кондратьев С.А. Совершенствование технологии тонкого измельчения техногенного сырья на основе его дозированного стадийного разрушения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 5. С. 165–174. DOI: 10.15372/FTPRPI20200519.
3. Львов Е.С., Матвеев А.И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300 // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 10. С. 112–116.
4. Осипов Д.А. Изменение аэродинамических свойств частиц полезного компонента в двухступенчатой конусной мельнице // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 180–185. DOI: 10.17513/use.38161.
5. Зотиков А.С., Лашков В.А. Коэффициент восстановления скорости при ударе абсолютно упругой частицы в форме эллипсоида вращения // Вестник СПбГУ. 2014. Т. 1, № 2. С. 245–253.
6. Винокуров В.Р., Матвеев А.И. Разработка методики расчета рабочих параметров работы центробежных аппаратов измельчения многократного динамического воздействия // Наука и образование. 2012. № 1. С. 32–34.
7. 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.

УДК 622.413
DOI 10.17513/use.38357

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Попов В.И.

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: popov.gtf@mail.ru

Целью работы является создание расчетной модели, адекватно описывающей процесс влагообмена между вентилируемым воздухом и поверхностью выработки с использованием функций равновесного содержания влаги в воздухе и окружающих породах. В первом случае можно говорить о кривой точек росы, в случае породного массива – о кривой содержания незамерзшей воды при отрицательных температурах. Представлена математическая модель процессов тепломассообмена влажного вентиляционного воздуха с поверхностью горной выработки криолитозоны с учетом конденсации паров влаги. Результаты решения по представленной математической модели получены методом конечных разностей. Конденсирующаяся на холодных стенках выработки влага, первоначально находящаяся в воздушной струе, существенно влияет на тепловой режим протяженной выработки. По мере прогрева стенок выработки за счет конвективного теплообмена и теплоты фазового превращения интенсивность процесса конденсации снижается. Циклический процесс увлажнения – иссушения поверхности выработки вкупе с морозным воздействием на нее может приводить к деградации поверхностного слоя. Результаты расчетов по представленной модели, основанной на учете функций равновесного содержания влаги в рудничной атмосфере и породном массиве, позволяют строить адекватные картины распределения влагосодержания и температуры в рудничном пространстве и окружающих породах.

Ключевые слова: конвективный теплообмен, математическое моделирование, конденсационные процессы, горная выработка, криолитозона

HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES DURING THE MOVEMENT OF HUMID AIR IN MINING WORKINGS OF THE PERMAFROST ZONE

Popov V.I.

Yakut Scientific Center of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, N.V. Cherskiy Institute of Mining of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: popov.gtf@mail.ru

The aim of the work is to create a computational model that adequately describes the process of moisture exchange between the ventilated air and the surface of the mine using the functions of the equilibrium moisture content in the air and surrounding rocks. In the first case, we can talk about the curve of dew points, in the case of a rock mass, about the curve of the content of unfrozen water at subzero temperatures. A mathematical model of the processes of heat and mass transfer of moist ventilation air with the surface of the cryolithozone mining, taking into account the condensation of moisture vapors, is presented. The results of the solution according to the presented mathematical model are obtained by the finite difference method. The moisture condensing on the cold walls of the mine, initially located in the air stream, significantly affects the thermal regime of the extended mine. As the walls of the mine warm up due to convective heat transfer and the heat of phase transformation, the intensity of the condensation process decreases. The cyclic process of humidification – drying of the surface of the mine, coupled with the frosty effect on it, can lead to degradation of the surface layer. The results of calculations based on the presented model based on taking into account the functions of the equilibrium moisture content in the mine atmosphere and rock mass allow us to build adequate pictures of the distribution of moisture content and temperature in the mine space and surrounding rocks.

Keywords: convective heat transfer, mathematical modeling, condensation processes, mine workings, cryolithozone

Введение

Динамика параметров рудничной атмосферы и определяющие ее состав сопутствующие явления в значительной степени определяют оптимальный режим проветривания и сохранности горных выработок, соответствие рудничной атмосферы санитарным нормам, а также другие условия, обеспечивающие безопасность

эксплуатации и проведения горных работ [1, с. 35; 2]. В условиях криолитозоны учет влияния паров влаги в рудничном воздухе приводит к необходимости рассмотрения их фазовых превращений. Этот момент существенно усложняет задачу конвективного теплопереноса рудничного воздуха, увеличивая фазовый состав рассматриваемой термодинамической системы и при-

вода к росту межкомпонентных взаимодействий. К подобным случаям можно отнести известный факт [3] нарушения пропускной способности вентиляционных стволов на рудниках ОАО «Алроса» за счет сплошного обмерзания их поверхности конденсирующимися парами. Подобные явления успешно предотвращали, обеспечивая орошение стенок вентиляционных стволов концентрированными рассолами из карьерного пространства. Ранее исследователями установлено, что в условиях северных шахт и рудников процесс конденсации влаги в летний период эксплуатации проходит значительно интенсивнее, чем обратный ему процесс испарения в зимний период. Однако в условиях значительно более продолжительного зимнего периода велика вероятность иссушения поверхности горных выработок [4] и создания при этом условий для роста запыленности в выработке [5].

Целью работы является создание расчетной модели, адекватно описывающей процесс влагообмена между вентилируемым воздухом и поверхностью выработки с использованием функций равновесного содержания влаги в воздухе и окружающих породах.

Материалы и методы исследования

В данном контексте представлена математическая модель процесса конденсации влаги на стенках горной выработки, первоначально имеющей отрицательную температуру стенок. При этом, в отличие от ранних работ [5], используются функции равновесного содержания паров воды в рудничном воздухе и незамерзшей влаги в породном массиве, окружающем выработку, как известные из опыта и зависящие от температуры. Использование подобного базиса позволяет существенно повысить методическую точность и адекватность определения параметров состояния рудничной атмосферы выработок криолитозоны и породного массива.

Процесс понижения температуры потока влажного воздуха моделируется уравнением, учитывающим его теплообмен со стенками выработки.

$$\frac{\partial(Sc_2\rho_2T_2)}{\partial t} + \frac{\partial(V_2Sc_2\rho_2T_2)}{\partial z} = -\alpha_{12}P_{12}(T_2 - T_1) - L_f S \frac{\partial m}{\partial t}, \quad (1)$$

$$T_f = T_f(m).$$

Здесь первый член уравнения (1) представляет собой положительную динамику изменения температуры воздушного потока в выработке за счет конвективного переноса (второй член уравнения (1)); понижение температуры потока за счет теплообмена воздушного потока с поверхностью стенок выработки, имеющих отрицательную температуру, и третий член уравнения (1) определяет вклад теплоты фазовых переходов водяного пара в общий энергетический баланс.

Последнее уравнение в системе (1) представляет собой равновесное содержание влаги в рудничном воздухе для различных значений температуры.

Решение системы уравнений (1) строится по упрощенной вычислительной технологии расщепления по физическим процессам [6, с. 85], перечисленным абзацем выше:

а) движение потока воздуха

$$\frac{\partial(Sc_2\rho_2T_2)}{\partial t} + \frac{\partial(V_2Sc_2\rho_2T_2)}{\partial z} = 0;$$

б) конвективный теплообмен с поверхностью породного массива

$$\frac{\partial(Sc_2\rho_2T_2)}{\partial t} = -\alpha_{12}P_{12}(T_2 - T_1);$$

в) учет теплоты фазового перехода при конденсации пара

$$\frac{\partial(Sc_2\rho_2T_2)}{\partial t} = -L_f S \frac{\partial m}{\partial t},$$

$$T_f = T_f(m).$$

Для параметров уравнений (1 а, в) использованы следующие сокращения: T_1 – температура внутренней поверхности породного массива в выработке °С; S – величина поперечного сечения рудничной выработки в m^2 ; T_2 – температура входящего потока влажного воздуха °С; L_f – теплота фазового превращения при испарении поровой влаги или льда дж/кг; c_2 – теплоемкость рудничного воздуха с учетом содержащихся в нем компонентов дж/(кг.град); V_2 – средняя скорость воздушного потока рудничного воздуха м/с; m – весовое содержание влаги в воздухе kg/m^3 .

Геометрия расчетной области представляет собой внешний граничный контур с размерами 20 м на 20 м с размещенном в центре сечением квадратной выработки размерами с размерами 3 м на 3 м. Выработка и внешний контур размещены в плоскости (x, y) , движение воздушного потока

осуществляется вдоль оси z . Краевые условия по температуре имитируют тепловое взаимодействие поверхности выработки с потоком рудничного воздуха имеющей на входе в выработку при $z = 0$ температуру T_2 , меняющуюся по синусоидальному закону уравнения

$$T_2 = 2 + 14 \times \sin(2 \cdot \pi t / 8760 + \varphi). \quad (2)$$

Считаем, что распределения влаги и температуры в воздушном потоке являются однородными, не зависящими от координат (x, y) , следовательно, на границах отсутствует их диффузионный перенос и в балансовых уравнениях (1, а, в) активны лишь конденсационные процессы на поверхностях контакта компонентов вдоль оси z .

Обобщенная математическая модель баланса тепла и влаги в мерзлом породном массиве, представленная в работе [7], адаптирована для рассматриваемого случая породного массива, вмещающего горную выработку. Модель состоит из двух уравнений диффузионного типа с источниковыми членами, отражающими влияние процессов промерзания – оттаивания [7]:

▪ уравнение кондуктивного переноса тепла в породном массиве

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial t} = -\nabla(\lambda \nabla T) + L\rho I_f, \quad (3)$$

▪ уравнение диффузионного переноса влаги в породном массиве

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} = -\nabla(k \nabla w) - I_f. \quad (4)$$

Уравнение (5) служит дополнительным соотношением, описывающим фазовое состояние незамерзшей влаги в зависимости от параметров породного массива, его температуры и концентрации порошкового раствора.

$$T_{1f} = T_{1f}(w, C). \quad (5)$$

Решение системы уравнений (3)–(5) осуществляется согласно алгоритму, изложенному в работе [7].

Для решения системы уравнений (3)–(5), так же как и ранее, использована процедура расщепления по физическим процессам в соответствии с [6, с. 85]. В качестве этих процессов выбраны: а) диффузионное выравнивание полей температуры и влажности и б) фазовый переход в термодинамических изолированных подсистемах, составляющих исходную физическую систему. Поэтому решение исходной задачи

(3)–(5) представляется в виде последовательного решения подзадач;

а) диффузии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(c\rho_{ck}T)}{\partial t} &= -\nabla J_T, \\ \frac{\partial(w)}{\partial t} &= -\nabla J_w; \end{aligned} \quad (6)$$

б) фазового перехода:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(c\rho_{ck}T)}{\partial t} &= L\rho_{ck}I_f, \\ \frac{\partial(w)}{\partial t} &= -I_f. \end{aligned} \quad (7)$$

Система уравнений (7) дополняется уравнением фазового состояния

$$T_{1f} = T_{1f}(w, C).$$

Для решения системы (6) с заданными граничными и начальными условиями использован конечно-разностный метод [7] с расщеплением по физическим процессам.

Система (7) определяет действие фазовых превращений на локальные содержания тепла и влаги [7]. Она представляет собой взаимосвязанные уравнения баланса тепла и влагосодержания для термодинамических изолированных подсистем, расположенных в узлах элементарных ячеек сетки W_h . Так как $I_f = -\partial m / \partial t$ мощность стока влаги (при превращении вода – лед), то, подставляя его во второе уравнение системы (7), получим для влажности

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial m}{\partial t}. \quad (8)$$

Решая последнее на каждом шаге по времени, получим

$$w_1 = w_0 + \Delta m, \quad (9)$$

где 0 и 1 относятся к нижнему и верхнему временным уровням.

Для определения стока влаги Δm на каждом временном шаге используем уравнение теплового баланса (первое уравнение из системы (7)), а также условие, что температура в зоне фазового перехода определяется диаграммой состояния раствора:

$$\begin{aligned} c_1\rho_1T_f - c_2\rho_2T_2 &= L\rho\Delta m, \\ T_{1f} &= T_{1f}(w, C). \end{aligned} \quad (10)$$

При этом переход $T_1 \rightarrow T_2$ определяется решением разностных аналогов системы

(6), и температура T_2 , отражая энергетический баланс процесса, носит фиктивный характер (не учитывает фазовый переход). Переход $T_2 \rightarrow T_{1F}$ определяется решением системы (10). Рассматривая путь $T_1 \rightarrow T_F$ полагаем с точностью до бесконечно малых величин первого порядка:

$$T_{1F} = T_1 + \frac{\partial T_{1F}}{\partial w} \Delta m, \quad (11)$$

которое определяет изменение состояния (температуры) в замкнутой подсистеме.

После подстановки выражения (11) в уравнение (10), получим, ограничиваясь членами со степенями Δm не выше первой:

$$\Delta m = - \frac{(c_1 T_1 - c_2 T_2)}{\left(L + T_1 (c_w - c_{Lod}) + c \frac{\partial T_{1F}}{\partial w} \right)}, \quad (12)$$

определяя тем самым интенсивность стока влаги в узле при промерзании. Данная методика применима как к фазовым превращениям лед – вода в породном массиве так и к задачам конденсации – испарения.

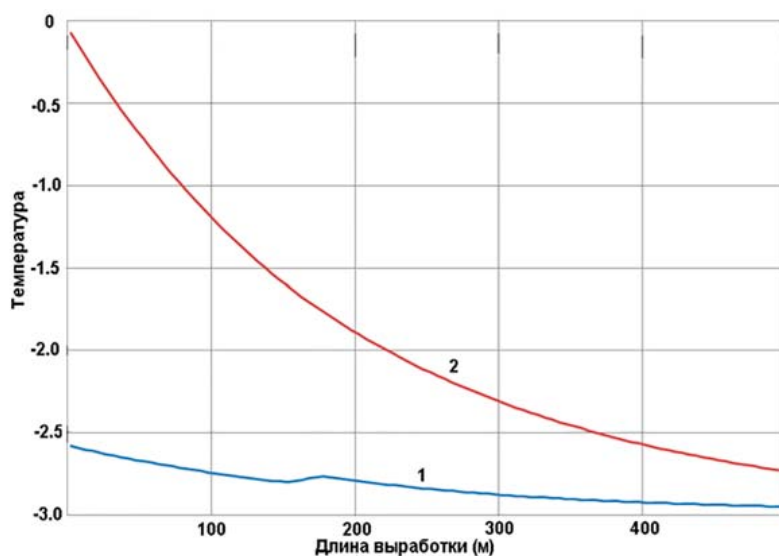


Рис. 1, а. Профиль значений температуры вдоль борта выработки (1) и температура потока воздуха на оси (z) (2)

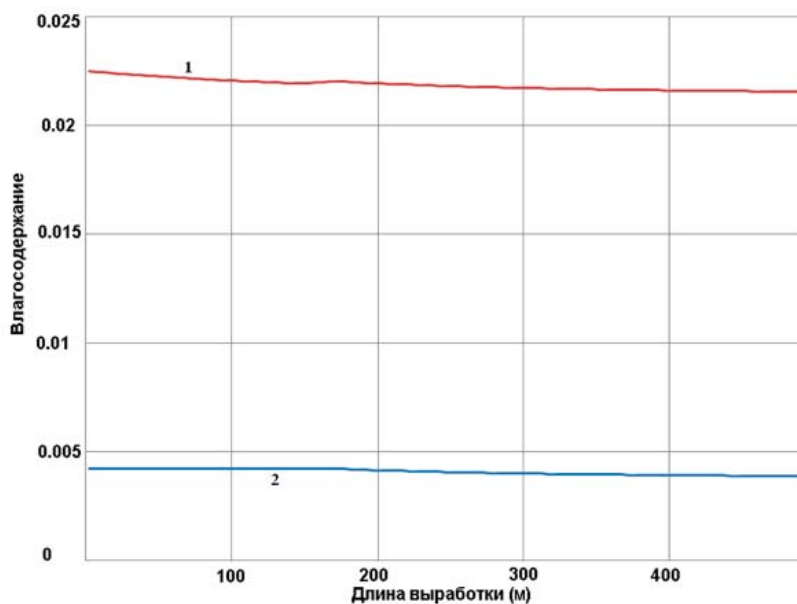


Рис. 1, б. Профиль значений влагосодержания вдоль борта выработки (1) и влагосодержание потока воздуха по оси (z) в (кг/м³) (2)

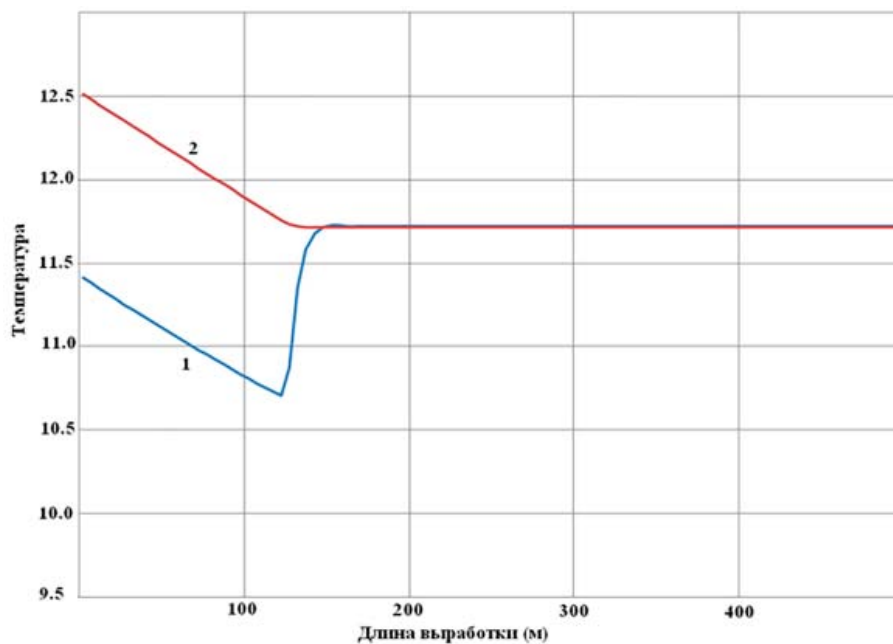


Рис. 2, а. Профиль значений температуры вдоль борта выработки (1) и температура потока воздуха на оси (z) (2)

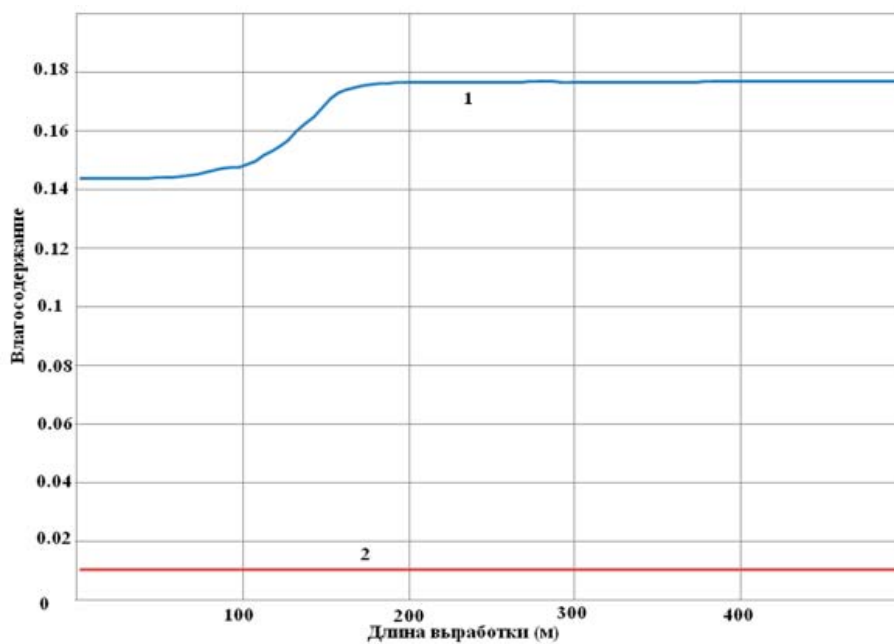


Рис. 2, б. Профиль значений влагосодержания вдоль борта выработки (1) и содержание влаги в потоке воздуха по оси (z) в (кг/м³) (2)

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1, а, показаны профили значений температуры рудничной атмосферы вдоль оси потока (z) и в борту выработки для начального периода времени ~ 1 ч. Аналогичные результаты для влагосодержания показаны на рис. 1, б. Расчеты показали

существенную зависимость интенсивности процесса от коэффициента теплоотдачи (скорости потока) и его входной температуры, то есть второй и третий члены уравнения (1), определяющие количество паровой влаги в единице объема поступающего в выработку воздуха в соответствии с уравнением состояния $T_f(m)$.

На графиках видно, что для начального периода времени характерно интенсивное охлаждение входящего воздушного потока, за счет конденсационных и теплообменных процессов на поверхности горной выработки. Конденсация влаги в рудничной атмосфере носит ограниченный характер и происходит в зоне 100–150 м от входа в выработку, сохраняя тенденцию к росту при наличии плюсового значения температуры воздушного потока на входе.

На рис. 2, а, показаны профили значений температуры рудничной атмосферы вдоль оси потока (z) и в борту выработки для периода времени ~ 1000 ч. Аналогичные результаты для влагосодержания показаны на рис. 2, б. Расчет процесса конденсации влаги из рудничного воздуха подтверждает локальный характер процесса, обусловленный формированием зон конденсации, где значения температуры потока, определяющие равновесное содержание влаги в рудничном воздухе и формирующиеся в условиях нестационарного теплообмена с поверхностью стенок выработки оказываются ниже их равновесных значений. Этот факт и вызывает выпадение влаги, формируя зоны конденсации влаги в выработках на входе в выработку, постепенно смещаясь по направлению движения рудничного воздуха. Длина участка конденсации способна к росту по мере увеличения температуры, влагосодержания и скорости воздушно-го потока.

В этом случае система близка к квазистационарному режиму теплообмена. Разница между температурой потока воздуха и температурой поверхности выработки составляет ~ 1 °С. Изменение температуры потока и стенки вдоль выработки носит линейный характер по ходу выработки. Из-за практически полного отсутствия конденсационных процессов влагосодержание в воздушном потоке меняется незначительно.

Заключение

Представлена математическая модель теплообменных процессов при движении влажного воздуха в горных выработках криолитозоны. Установлены законо-

мерности массообмена влаги, находящейся в рудничном воздухе и взаимодействующей с поверхностью породного массива при конденсационных процессах. Достоверность разработанной модели подтверждается использованием функций равновесного содержания паров воды в рудничном воздухе и незамерзшей влаги в породном массиве, окружающем выработку, как известных из опыта и зависящих от температуры, в соответствии с ранее изложенной методикой. Результатами моделирования процессов переноса в горной выработке установлена форма профилей температуры и содержания влаги в бортах горной выработки и на оси (z) в воздушном потоке. Установлены размеры областей выпадения конденсационной влаги и ее избыточного отложения. Результаты расчетов по представленной модели, основанной на учете функций равновесного содержания влаги в рудничной атмосфере и породном массиве, позволяют строить адекватные картины распределения влагосодержания и температуры в рудничном пространстве и окружающих породах.

Список литературы

1. Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е. Математическое моделирование тепловых процессов в горных выработках шахт и рудников Севера. Новосибирск: Гео, 2013. 185 с.
2. Галкин А.Ф. Повышение устойчивости горных выработок в криолитозоне // Записки Горного института: Санкт-Петербургский горный институт. 2014. Т. 207. С. 99–102.
3. Орлов А.О., Смирнов Ю.Г., Гусак С.А. Основные методические принципы обеспечения безопасности строительства подземных комплексов атомных станций малой мощности в условиях российской Арктики // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 5. С. 31–38.
4. Gambino G.F., Harrison J.P. Rock engineering design in frozen and thawing rock: Current approaches and future directions // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191. P. 656–665. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.229.
5. Хохолов Ю.А., Курилко А.С. Математическое моделирование процессов теплообмена вентиляционного воздуха с горными породами в протяженных выработках шахт и рудников криолитозоны // Наука и образование. 2015. № 3. С. 50–54.
6. Марчук Г.И. Методы расщепления. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 264 с.
7. Попов В.И., Курилко А.С. Приближенный метод решения задач теплообмена при замерзании влаги в горных породах криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12. С. 57–64.

УДК 550.8.04:551.343.72:550.837(571.56-191.2)
DOI 10.17513/use.38358

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ СТРОЕНИЯ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В ЧУРАПЧИНСКОМ РАЙОНЕ ЯКУТИИ

Саввинов И.И., Федорова Л.Л.

*ФГБОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: gmpirmpi@mail.ru*

Основной целью геофизических исследований, представленных в данной статье, является оценка эффективности комплексного применения методов электроразведки для изучения состояния и строения бугров пучения аласов Центральной Якутии в режиме мониторинга. Проведены разносезонные геофизические измерения методами электросопротивлений в варианте электротомографии и бесконтактных измерений электрического поля и георадиолокации. В летний период, по данным акваторных георадиолокационных зондирований, прослежен рельеф дна озера внутри впадины. Электротомография выполнена как наземными, так и погруженными установками в водной части профиля. В зимний период применена аппаратура бесконтактного измерения кажущегося сопротивления. По результатам выполненных работ построены геоэлектрические разрезы с учетом рельефа. Комплексный анализ и интерпретация данных геофизических исследований показали хорошую корреляцию результатов выполненных геофизических измерений. При сравнении геоэлектрических разрезов, полученных в разное время года, отмечено, что за летний период произошли значительные изменения в границе ледяного ядра бугров пучения. Мониторинговые измерения показали уменьшение подозерного талика в размере за летний период и динамику увеличения ледяных ядер бугров пучения осенью. Полученные результаты геофизических наблюдений методами электроразведки показали эффективность применения этих методов для выявления и картирования подповерхностных геокриологических объектов. Для объективной оценки динамики состояния и строения бугров пучения рекомендуется проводить геофизические измерения в разные сезоны года.

Ключевые слова: бугор пучения, ледяное ядро, криогенные процессы, электротомография, георадиолокация, бесконтактное измерение электрического поля, донная съемка

Исследования проведены в рамках Программы комплексных научных исследований в РС (Я), направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2021–2024 гг. (проект № 4, этап 2, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-Б-17-217060520052-0).

MONITORING OF CHANGES IN THE STRUCTURE OF PINGO BY ELECTRICAL EXPLORATION METHODS IN THE CHURAPCHINSKY DISTRICT YAKUTIA

Savvinov I.I., Fedorova L.L.

Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: gmpirmpi@mail.ru

The main purpose of the geophysical research presented in this article is to evaluate the effectiveness of the integrated application of electrical exploration methods to study the condition and structure of the pingo of the Alas of Central Yakutia in the monitoring mode. Seasonal geophysical measurements using electrical resistance methods in the form of electrotomography and non-contact measurements of the electric field, and Ground Penetrating Radar method were carried out. In the summer, according to the data of the aquatic GPR soundings, the relief of the lake bottom inside the depression was traced. The electrotomography was performed by both land-based and submerged installations in the water part of the profile. In winter, non-contact apparent resistance meter was used. Based on the results of the work performed, geoelectric sections were built taking into account the relief. A comprehensive analysis and interpretation of the geophysical research data shows a good correlation of the results of the performed geophysical measurements. When comparing geoelectric sections obtained at different times of the year, it was noted that during the summer period there were significant changes in the boundary of the ice core of the heave mounds. Monitoring measurements showed a decrease in the size of the atmospheric talik over the summer period and the dynamics of an increase in the ice cores of pingo in autumn. The obtained results of geophysical observations using electrical exploration methods have shown the effectiveness of using these methods to identify and map subsurface geocryological objects. For an objective assessment of the dynamics of the condition and structure of the pingo, it is recommended to carry out geophysical measurements in different seasons of the year.

Keywords: pingo, ice core, cryogenic processes, electrotomography, georadiolocation, non-contact measurements of the electric field, bottom survey

The research was conducted within the framework of the Program of comprehensive scientific research in the Republic of Sakha (Yakutia) aimed at developing productive forces and the social sphere for 2021–2024 (project No. 4, stage 2, No. АААА-Б-17-217060520052-0).

Введение

В настоящее время из-за потепления климата происходят изменения температурного состояния многолетнемерзлых пород. Этот процесс проявляется как уменьшение площади распространения многолетнемерзлых пород и сокращение мощности мерзлой толщи. В результате изменения мерзлотных условий, деградации многолетнемерзлых пород происходит активизация криогенных процессов, вытаивание подземного льда бугров пучения, увеличение площади таликов, изменение глубины сезонного протаивания [1].

Например, летом 2023 г. в Чакурском наслеге Чурапчинского улуса, вблизи с. Толон, из-за таяния ледяного ядра бугра пучения образовалась огромная впадина, вследствие чего произошло обнажение мощного слоя вечной мерзлоты. На территории Чакурского наслега существует несколько бугров пучения, объектом нашего исследования является самый крупный из них. В настоящее время для исследования состояния и строения геокриологических объектов активно используются геофизические методы, по данным которых доказано наличие сформировавшихся ледяных ядер внутри бугров пучения [2].

Проведение геофизических работ в Центральной Якутии с резко континентальным климатом имеет свои особенности. Продолжительная морозная зима (абсолютный минимум $-66\text{ }^{\circ}\text{C}$), с коротким жарким летом (абсолютный максимум $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$) и малым количеством атмосферных осадков влияют на динамику развития и состояния геокриологических объектов. Для получения достоверной информации об изменении состояния и строения бугра пучения в этом регионе необходимо проводить мониторинговые наблюдения в разные времена года, с использованием наиболее подходящих инструментов для проведения полевых геофизических работ.

Основной целью геофизических исследований, представленных в данной статье, является оценка эффективности комплексного применения методов электроразведки для изучения состояния и строения бугров пучения аласов Центральной Якутии в режиме мониторинга.

Характеристика объекта исследования

Бугры пучения (булгунняхы, пинго) – выпуклые формы мерзлотного релье-

фа, обычно конической формы, которые формируются в районах прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых пород [3, с. 350]. Все они в основании имеют более или менее крупное ледяное ядро. Изучаемый авторами объект состоит из комплекса двух бугров пучения (большого и малого) и имеет инъекционный тип образования, который сформировался в процессе промерзания влаги под действием гидростатического давления из замкнутых объемов межмерзлотных таликов при расширении мерзлых грунтов [4]. Максимальная высота бугра пучения, по данным исследований морфометрических характеристик, достигает 13 м. Верхняя часть бугра пучения сложена серовато-бурными супесями.

До формирования впадины на поверхности большого бугра было мелкое озеро, образовавшееся в результате скопления атмосферных осадков и грунтовых вод. Это озеро ускорило процессы разрушения бугра и обнажения многометрового слоя мерзлоты, которые привели к образованию впадины с более крупным озером, над ледяным ядром. При визуальной оценке малого бугра пучения можно отметить образование оврага на его поверхности, что с течением времени может привести к разрушению и обнажению его ледяного ядра.

Материалы и методы исследования

Методы сопротивлений являются ведущими методами электроразведки при проведении инженерно-геологических изысканий в криолитозоне. Это объясняется существенным различием электрических свойств мерзлых и талых горных пород [5]. Основным фактором при обосновании выбора рационального комплекса применяемых электроразведочных методов являлась возможность проведения измерений в разные времена года. Исходя из этого фактора авторами было предложено проводить измерения в летнее время методами сопротивлений в варианте электротомографии, а в зимнее время – бесконтактным измерением электрического поля. Полевые работы проведены в четыре этапа, каждый из которых имеет свою специфику проведения отдельных методов и методик (таблица).

Схема профилей отдельных методов представлена на рис. 1. Профили проходят по центру впадины внутри бугра пучения с юго-запада на северо-восток.

Этапы проведения мониторинговых геофизических измерений

№ этапа	Наименования методов работы	Аппаратура	Период работ
1	Бесконтактное измерение электрического поля (БИЭП)	БИКС	Март 2024
2	Электротомография (ЭТ)	Омега-48	Май 2024
3	Акваторная георадиолокация (ГРЛ)	Георадар ОКО-2 АБ-150МГц	Июнь 2024
4	Электротомография (ЭТ)	Омега-48	Сентябрь 2024

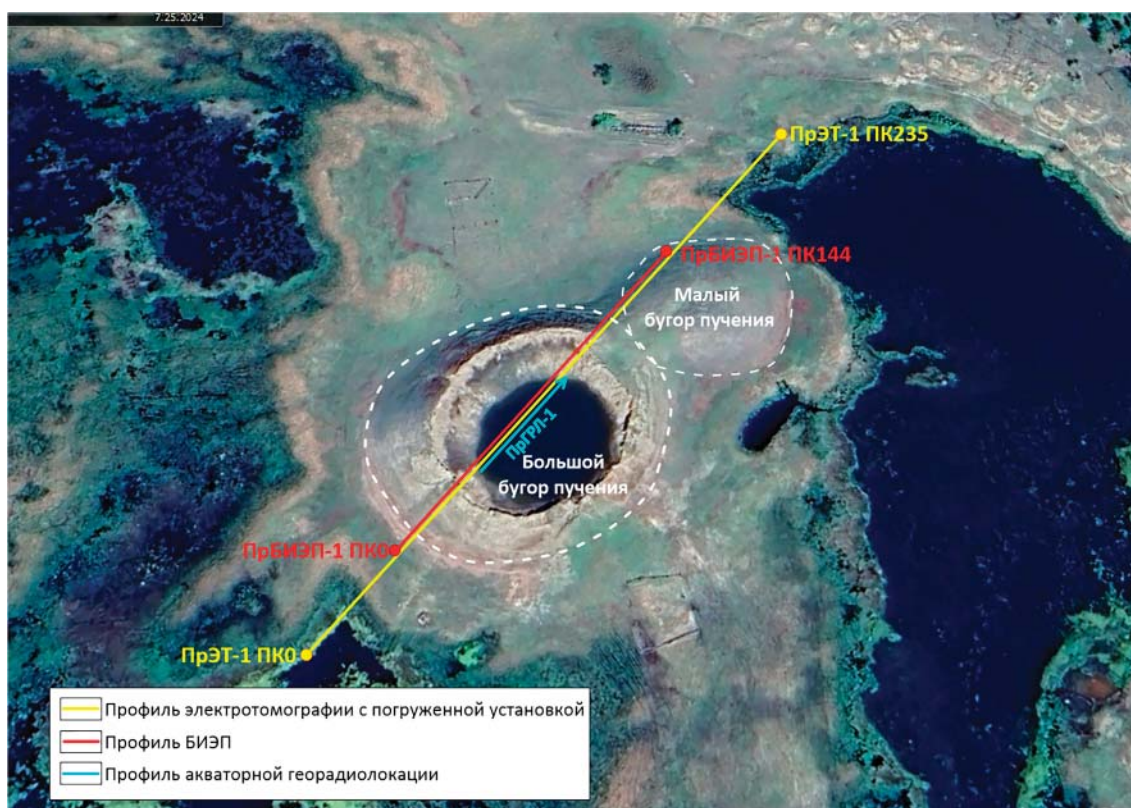


Рис. 1. Схема расположения профилей на объекте
 Длина профилей для отдельных методов составила:
 ГРЛ – 35 м, БИЭП – 144 м, ЭТ – 235 м

Электротомографические исследования выполнены с помощью многоэлектродных станций для получения двумерных или трехмерных геоэлектрических моделей. Использовалась 10-канальная 48-электродная станция Омега-48 (ООО «ЛОГИС»), с электроразведочными косами длиной 120 м и с шагом между электродами 5 м. Профиль съемки проходил через центр впадины с озером и охватывал северо-западную часть малого бугра пучения. Длина донной части профиля 35 м, а средняя глубина озера по профилю составила 2,8 м.

Для проведения измерений в летний период, когда озеро внутри впадины не имеет ледяного покрова, применялась методика

донной электротомографии [6] с герметичными электроразведочными косами, которые погружались на дно водоема с помощью якоря из стекла. Такие косы имеют способность работать в водной среде. Электроразведочная коса разматывалась к прибору, стоящему на прибрежной части озера внутри впадины (рис. 2).

Для определения электродов в качестве приемных и питающих применяются протоколы съемок. Электротомография с погруженной установкой выполнялась с установками Шлюмберже и дипольной осевой. Данное комбинирование установок считается оптимальным при исследованиях на акваториях [7].

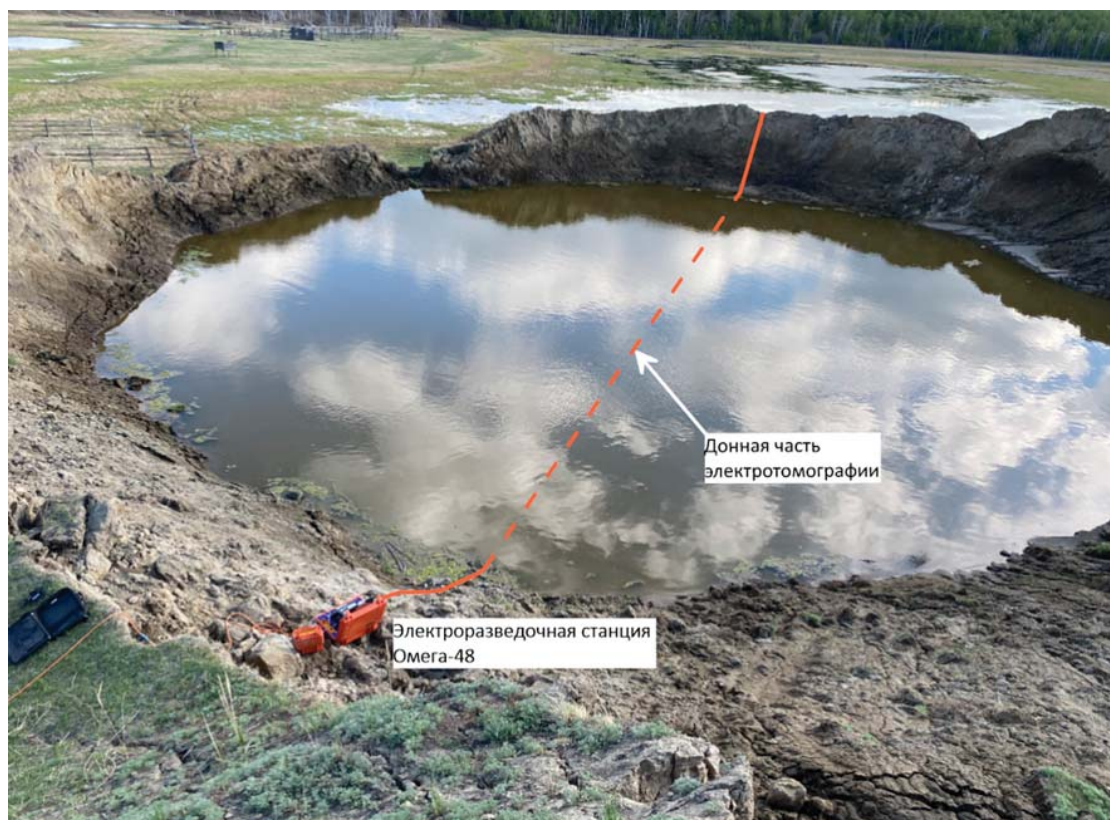


Рис. 2. Процесс измерений методом электротомографии

Метод бесконтактного измерения электрического поля (БИЭП), в отличие от метода электротомографии, возможно применять в зимний период, когда заземление электродов является невозможным [8]. Для проведения бесконтактных измерений применялась аппаратура БИКС с рабочей частотой 16,6 кГц (АО «Специальное конструкторское бюро сейсмического приборостроения»). Методика измерений представляет собой электропрофилирование восьми разными разносами. Работы методом бесконтактного измерения проводились в марте 2024 г. по одному профилю с шагом 3 м. Температура наружного воздуха составила днем -7°C , ночью -30°C .

Для проведения измерений методом БИЭП применялись емкостные электроды в виде антенн длиной 2,5; 5 и 10 м. Установка БИКС представляет собой дипольную осевую установку с питающим и измерительным диполями одинаковой длины.

Георадиолокационные исследования [9] проводились на водной части профилей для определения глубины озера, где георадар использовали в качестве эхолота, с целью построения геоэлектрических разрезов с учетом рельефа местности [10]. Для ре-

шения этой задачи использовался георадар ОКО-2 (Группа компаний «ЛОГИС-ГЕО-ТЕХ») с АБ-150МГц, установленный на надувной резиновой лодке.

Результаты исследования и их обсуждение

Полевые работы методом акваторной георадиолокации проведены в июне 2024 г. для изучения рельефа дна озера. Длина профиля составила 35 м, а максимальная глубина озера составила 3 м (рис. 3).

По результатам электроразведочных исследований были составлены геоэлектротомографические разрезы (ГЭТР) с учетом изменения рельефа местности (рис. 4). Максимальная глубина разреза достигнута в пределах 30–35 м. Известно, что области с относительно низкими значениями удельного электрического сопротивления в 10–300 соответствуют талым, а с высокими значениями, превышающими 1000 Ом·м, относятся к мерзлым породам, различной степени мерзлости и льдосодержания [4].

Геоэлектрический разрез, полученный в результате бесконтактных измерений электрического поля (рис. 4, а), имеет глубину 15 м.

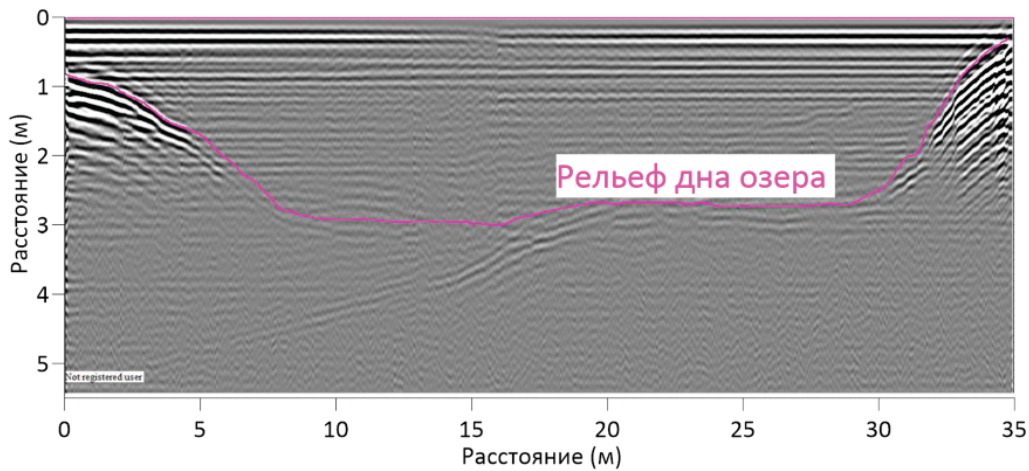


Рис. 3. Результаты акваторной георадиолокации

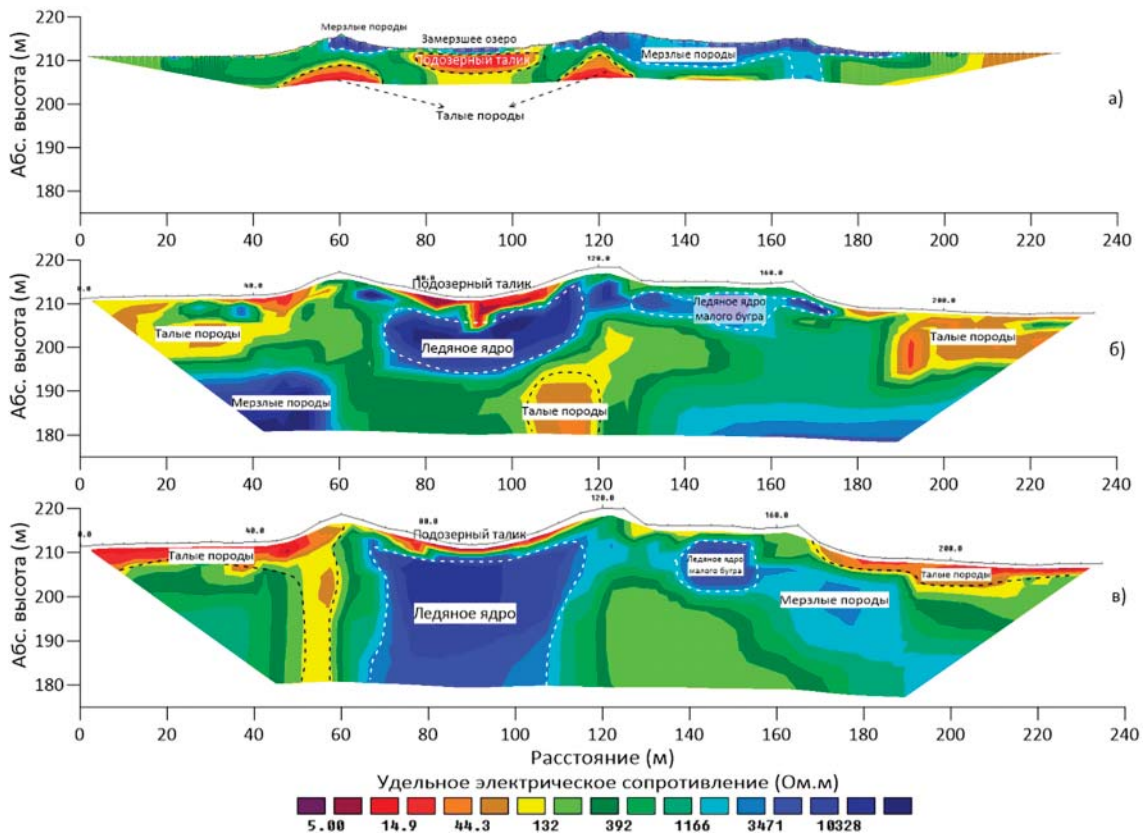


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы по результатам электроразведочных работ:
 а) результаты БИЭП (март 2024 г.); б) результаты ЭТ (май 2024 г.);
 в) результаты ЭТ (сентябрь 2024 г.)

Верхняя часть разреза с высокими значениями УЭС представляет мерзлые, льдистые породы мощностью до 5 м. В районе ПК80-100 верхняя часть представлена замерзшим озером мощностью 3 м, ниже которого прослеживается подозерный талик мощностью 5–7 м. Слева и справа подо-

зерного талика в районе пикетов ПК60 и ПК120 на глубине 5–7 м наблюдаются низкие значения УЭС (20–50 Ом·м), что связано с наличием талых пород.

Результаты работ методом электротомографии в виде геоэлектрических разрезов представлены совместной инверсией

данных установок Шлюмберже и дипольная осевая. Первый этап работ методом электротомографии проведен в мае 2024 г. (рис. 4, б). Температура наружного воздуха составила днем +22 °С, ночью +9 °С. В центральной части разреза в районе пикетов 75–105 выделяются крайне низкие значения УЭС (10–40 Ом·м) от талых донных отложений, представляющих подоцерный талик мощностью до 7 м. Ниже подоцерного талика наблюдается мощная высокоомная зона (до 10000 Ом·м), что предположительно вызвано влиянием ледяного ядра бугра пучения мощностью до 12 м. Ниже по разрезу на глубине 20 м удельное электрическое сопротивление пород уменьшается до 50 Ом·м, что связано с наличием талых пород. На правой стороне профиля (ПК145-160) наблюдается зона высоких сопротивлений. Эта зона подтверждает наличие ледяного ядра малого бугра пучения, которое достигает глубины 10 м от поверхности.

Второй этап работ методом электротомографии проведен в сентябре 2024 г.

(рис. 4, в). Температура наружного воздуха составила днем +7 °С, ночью +6 °С. Верхняя часть на правой и левой сторонах разреза представлена низкими значениями УЭС (20–50 Ом·м) от талого состояния пород до глубины 5 м (ПК0-56 и ПК171-235). В центральной части разреза в районе пикетов ПК75-105 выделяются крайне низкие значения УЭС (10–40 Ом·м) от талых донных отложений, представляющих подоцерный талик мощностью до 2,5 м. Ниже подоцерного талика наблюдается мощная высокоомная зона (до 10000 Ом·м), что предположительно вызвано влиянием ледяного ядра бугра пучения мощностью более 25 метров. На правой стороне профиля (ПК137-155) наблюдается зона высоких сопротивлений. Эта зона подтверждает наличие и расширение ледяного ядра малого бугра пучения, которое достигает глубины 12,5 м от поверхности малого бугра. На правой стороне от границы ледяного ядра малого бугра пучения сопровождается менее высокими удельными электрическими сопротивлениями до 2000 Ом·м.

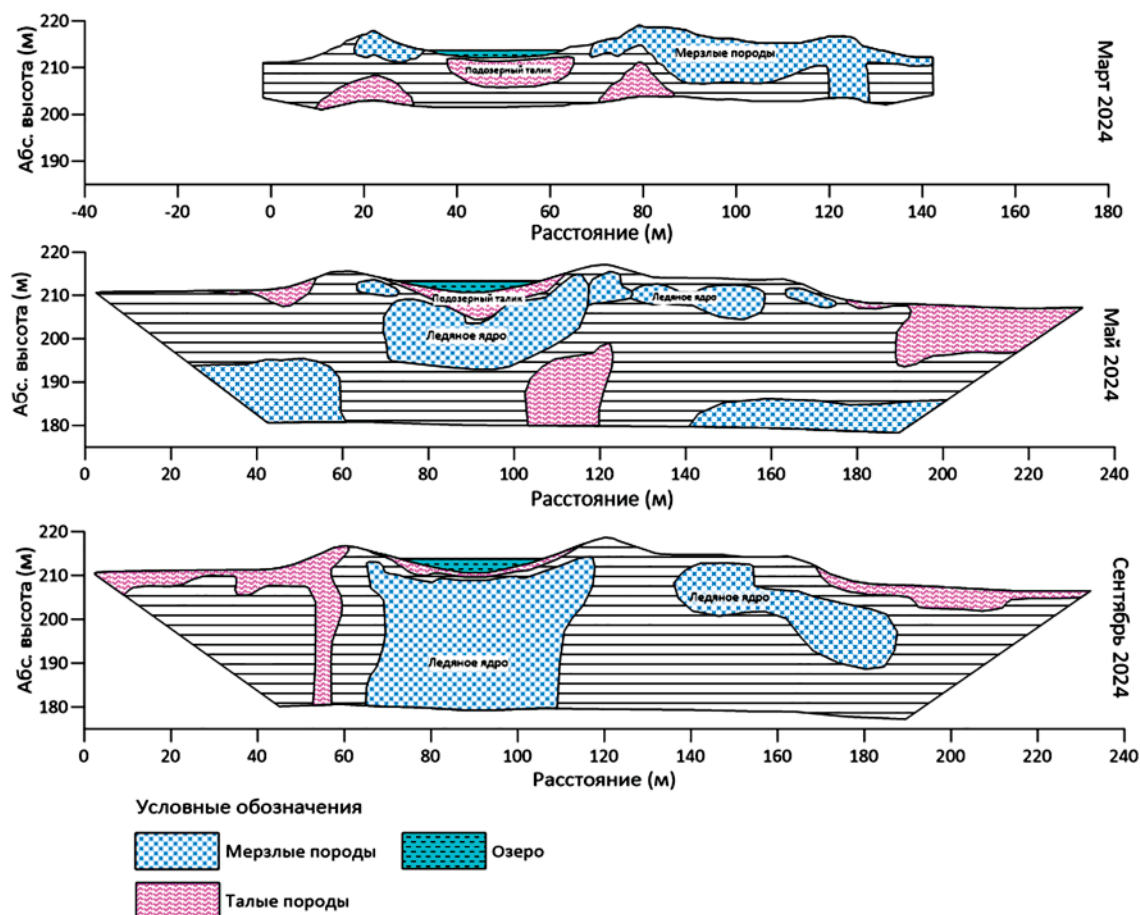


Рис. 5. Результаты интерпретации геофизического мониторинга состояния строения бугра пучения

При сравнении геоэлектрических разрезов, полученных в период мониторинга, можно отметить, что за летний период произошли значительные изменения строения большого бугра пучения (рис. 5).

Подозерный талик на ПК 75–105 по мощности уменьшился до 2,5 м. Граница ледяного ядра увеличилась в ширину до 54 м и в глубину до 30 м. Наблюдается незначительное увеличение в размере ледяного ядра малого бугра пучения, а также с проявлением справа от нее (ПК145–160) менее высоких значений УЭС. Эти изменения объясняются тем, что в период весеннего таяния снежного покрова в подземные грунты поступает большее количество грунтовых вод, образуя межмерзлотные талики. А осенью эти межмерзлотные талики, окруженные многолетнемерзлыми породами, начинают промерзать и расширяться, увеличивая размер ледяного ядра. Такой процесс, при котором промерзание происходит с расширением грунта в ширину и в глубину, называют «морозное расширение» грунта, характеризующее движение промерзающего грунта в нескольких направлениях [11]. Льды в правой и в левой стенках впадины, обнажившиеся в результате разрушения бугра пучения, из-за попадания прямых солнечных лучей за летний период полностью растаяли.

Заключение

Полученные результаты геофизических наблюдений показали эффективность комплексирования методов сопротивлений для выявления и картирования подповерхностных геокриологических объектов: ледяных ядер бугров пучения, удельное электрическое сопротивление которых находится в пределах от 3000 до 10000 Ом·м и более, а также подозерных таликов с УЭС 10–40 Ом·м.

Проведенные исследования показали, что для мониторинга криогенного состояния и строения бугра пучения оптимально проводить измерения в разные сезоны года: бесконтактные измерения – зимой; электротомографию – летом.

Комплексный анализ и интерпретация данных геофизических исследований показали хорошую корреляцию результатов бесконтактного измерения электрического поля и электротомографии. Мониторинговые измерения показали уменьшение подозерного талика в размере за летний период и динамику увеличения ледяных ядер бугров пучения осенью.

Увеличение размера ледяного ядра может способствовать морозному расширению

грунтов, изменяя строение бугра пучения. Для анализа происходящих в дальнейшем криогенных процессов в исследованных буграх пучения рекомендуется продолжить мониторинговые измерения с использованием методов электроразведки. С целью изучения изменения рельефа дна озера необходимо проведение повторных акваторных георадиолокационных измерений.

За поддержку и помощь в организации полевых работ авторы благодарны главе администрации МО «Чакурский наслег» Чурапчинского района РС (Я) Лебедеву К.И., жителям с. Толон Саввинову И.С., Еремееву С.Е., Сохсойоону Х.Ч., Кузьмину С.Р.

Список литературы

1. Ефремова Д.Н., Оленченко В.В., Горяевцева А.А. Двумерная геоэлектрическая модель широтной зональности многолетнемерзлых толщ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2018. Т. 3. С. 102–107. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-3-102-107.
2. Котелевец Д.В., Васильчук Д.Ю. Комплексное изучение ледоминальных бугров пучения геофизическими методами в долине реки Сенца, республика Бурятия // Арктика и Антарктика. 2018. № 1. С. 122–132.
3. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов: монография. М.: МГУ, 2008. 571 с.
4. Васильчук Ю.К., Гинзбург А.П., Токарев И.В., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Паламарчук В.А., Васильчук Д.Ю., Блудушкина Л.Б., Слышкина Е.С. Стабильные изотопы кислорода и водорода в сезонных буграх пучения в долине р. Чара, Забайкалье // Арктика и Антарктика. 2024. № 2. С. 90–129. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.2.70706.
5. Судакова М.С., Брушков А.В., Великин С.А., Владов М.Л., Зыков Ю.Д., Неклюдов В.В., Оленченко В.В., Пушкарев П.Ю., Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2022. № 6. С. 141–151.
6. Бобачев А.А. Электротомография с погруженными установками // VIII Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (ЭМЗ-2021): сборник трудов конференции (Москва, 04–07 октября 2021 г.). М: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 2023. С. 284–289.
7. Бобачев А.А., Сергеев К.С., Горин А.Д. Акваторные электроразведочные исследования с донными установками // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций (11–14 декабря 2018 г.). М: ООО «Геомаркетинг». 2018. С. 609–613.
8. Модин И.Н., Груздев А.И., Скобелев А.Д. Сравнение бесконтактных электроразведочных комплексов // Инженерные изыскания. 2016. № 2. С. 46–53.
9. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Прудецкий Н.Д. Определение участков талых пород в многолетнемерзлом массиве по данным георадиолокации // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 192–198. DOI: 10.17513/use.38163.
10. Бобров Н.Ю., Крылов С.С., Киселев Е.Ю., Пряхина Г.В., Федорова И.В. Применение георадиолокации в гидрологии // Записки горного института. 2009. Т. 183. С. 219–223.
11. Урбан А.А. Криогенный напор при формировании повторно-жильного льда и многолетних бугров пучения // Наука и образование. 2012. № 1. С. 45–49.

СТАТЬЯ

УДК 528.31

DOI 10.17513/use.38359

**ПРОЕКТ СГУЩЕНИЯ ПЛАНОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ
В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ
И АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ЕЕ ТОЧНОСТИ****Половнев О.В., Гафаар А.***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»,
Москва, e-mail: polovnev@miigaik.ru, gafaarabass@gmail.com*

Цель данного исследования – моделирование проекта по сгущению координатной основы на территории Сирийской Арабской Республики, алгоритм проведения априорной оценки точности плановой геодезической сети страны и анализ результатов моделирования. Для достижения цели исследования применены программы Leica_GEO_Office, Excel, MATHCAD, Civil 3D. Точность спроектированной модели геодезической сети была оценена с использованием метода наименьших квадратов. В результате теоретического и практического исследования была смоделирована геодезическая сеть, выполнена априорная оценка точности планируемой геодезической сети. Сеть предполагается создавать спутниковым методом. Основываясь на результатах предварительного анализа, различные варианты проектирования геодезической сети могут быть сформированы в процессе оптимизации с использованием моделирования, после чего выбирается вариант, который наилучшим образом соответствует требованиям. Для получения наилучших результатов по точности смоделированной сети, необходимо определить местоположение для каждого нового пункта и определить, как он влияет на точность сети. Существующая в Сирии геодезическая сеть не способна удовлетворить нужды национальной экономики и не соответствует современным стандартам по точности и плотности размещения точек. Это показывает важность данного исследования в будущем для восстановления страны после окончания войны.

Ключевые слова: стереографическая проекция, геодезическая система координат, метод наименьших квадратов, математическое моделирование, пункты геодезической сети

**THE PROJECT OF CONDENSATION OF THE PLANNED
GEODETIC NETWORK IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC
AND A PRIORI ASSESSMENT OF ITS ACCURACY****Polovnev O.V., Gafaar A.***Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow,
e-mail: polovnev@miigaik.ru, gafaarabass@gmail.com*

The purpose of this study is to model a project to thicken the coordinate base on the territory of the Syrian Arab Republic, an algorithm for conducting an a priori assessment of the accuracy of the planned geodetic network and an analysis of the simulation results. To achieve the research goal, the following programs were used: Leica_GEO_Office, Excel, MATHCAD, Civil 3D. The accuracy of the designed geodetic network model was estimated using the least squares method. As a result of theoretical and practical research, a geodetic network was modeled, and an a priori assessment of the accuracy of the planned geodetic network was performed. The network is supposed to be created using the satellite method. Based on the results of the preliminary analysis, various design options for the geodetic network can be formed during the optimization process using modeling, after which the option that best meets the requirements is selected. To get the best results on the accuracy of the simulated network, it is necessary to determine the location for each new point and determine how it affects the accuracy of the network. This shows the importance of this study in the future for the reconstruction of the country after the end of the war.

Keywords: stereographic projection, geographic coordinate system, the method of least squares, mathematical modeling, points of the geodetic network

Введение

В настоящее время на территории Сирийской Арабской Республики (САР) геодезическая сеть включает в себя несколько частей, созданных в разные периоды, и не соответствует современным стандартам, поскольку не обновлялась в последние годы с использованием современных технологий. В результате военных действий страна потеряла значительное количество геодезических пунктов, и сеть либо не развивалась вовсе, либо ее развитие происходило только на небольших участках территории.

Также в стране отсутствуют высокоточное нивелирование и гравиметрические сети. Поэтому возникает необходимость создать единую государственную геодезическую сеть по всей территории страны [1–3].

Проектирование и строительство сел, городов, железных и шоссейных дорог, объектов инфраструктуры нельзя выполнять без качественной геодезической основы. Чтобы исправить недостатки действующих геодезических сетей, усовершенствовать основу и внедрить единую координатную систему в стране, необходима как рестав-

рация уже имеющихся сетей, так и создание новых. Метод спутниковых технологий на данный момент является наиболее оптимальным вариантом для создания геодезических сетей [4].

Цель данного исследования – моделирование проекта по сгущению координатной основы на территории САР, алгоритм проведения априорной оценки точности плановой геодезической сети страны и анализ результатов моделирования.

Материалы и методы исследования

В данной работе использованы характеристики современных геодезических приборов (Leica GS14 3.75G, где точность измерения составляет 5 мм + 0,5 ppm), компьютерные технологии (Leica_GEO_Office, Excel, MATHCAD, Civil 3D), связанные с разработкой алгоритмов и моделированием, информация о картографических проекциях, применяемых на исследуемых территориях.

Применены методы и подходы, связанные с теорией математической обработки геодезических данных, включая метод наименьших квадратов, аспекты аналитической

геометрии, создание моделей геодезических сетей, как на плоскости, так и в трехмерном пространстве, а также методологии математической статистики.

Результаты исследования и их обсуждение

Для сгущения геодезической сети авторы собрали информацию о геодезических и местных координатах опорных геодезических пунктов, проанализировав картографическую основу САР с расположением всех основных дорог, озер, рек и т.д., и по результатам анализа были выбраны местоположения новых пунктов с учетом следующих критериев [4, 5]:

- расстояние между проектируемыми пунктами не должно было превышать 20 км;
- при моделировании учитывалось расположение труднодоступных мест, водохранилищ и дорог;
- проект осуществлялся в стереографической системе координат, которая считается наиболее эффективной в САР. В дальнейшем в этой системе будут осуществляться все топографические работы.

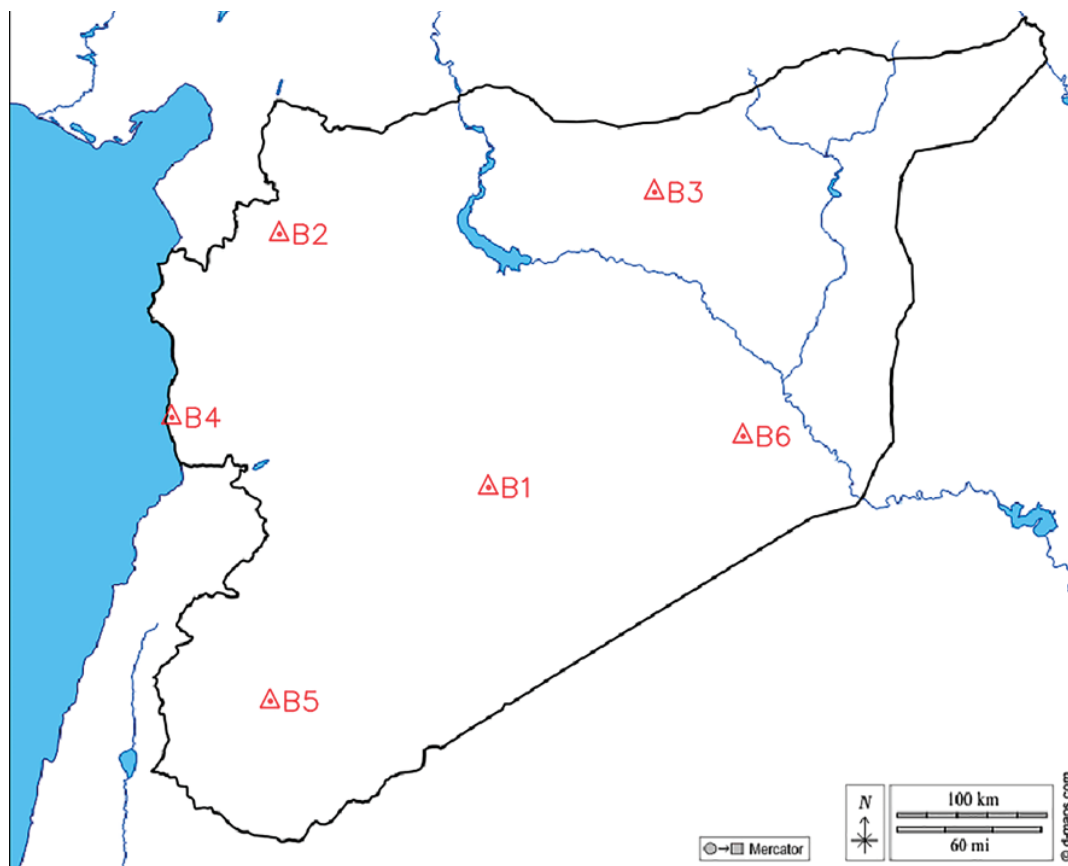


Рис. 1. Смоделированная геодезическая сеть высшего класса точности
 Источник: составлено авторами)

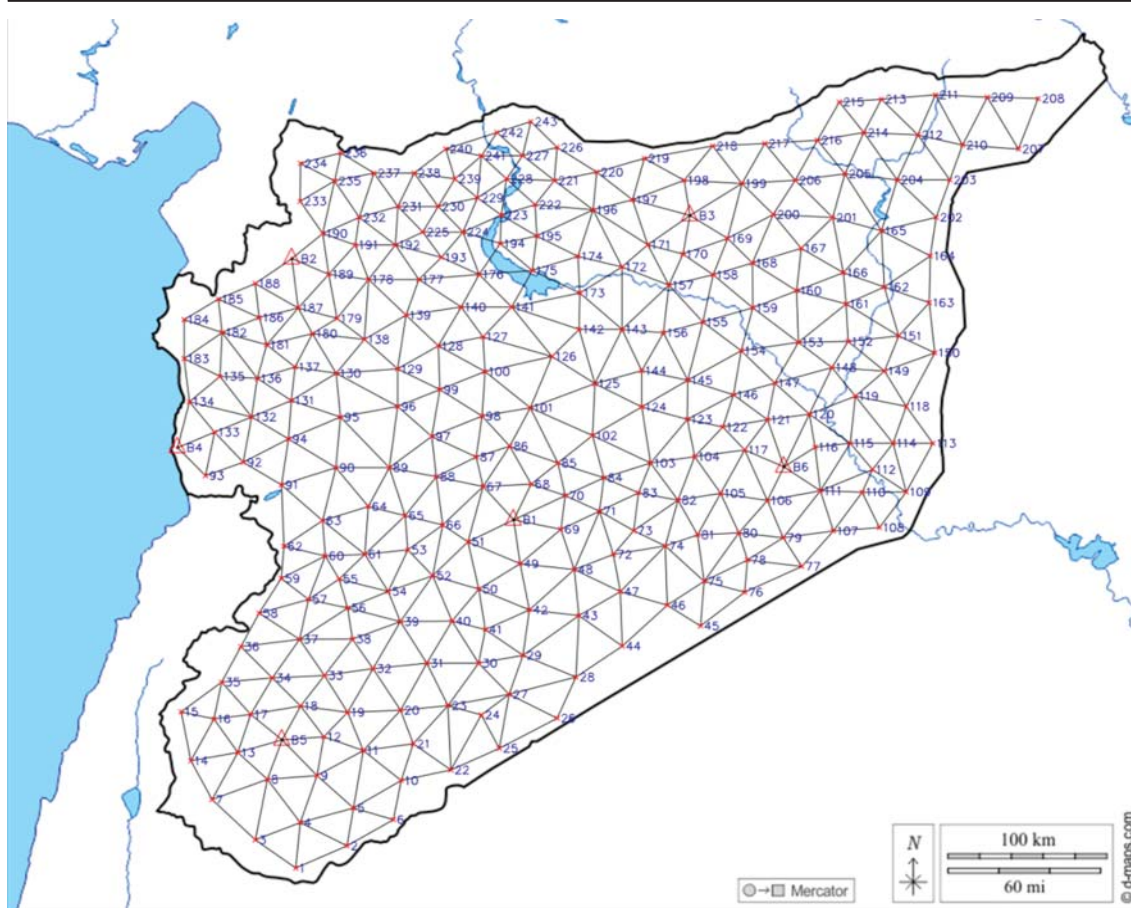


Рис. 2. Схема проектируемой сети на территории САР (составлено авторами)

С помощью программы Civil 3D был смоделирован проект высшего класса, представленный на рис. 1 и включающий в себя шесть опорных точек (В1–В6). Авторы зафиксировали координаты и смоделировали 243 геодезических пункта (1–243) в соответствии с заданными условиями. Схема сети показана на рис. 2.

Алгоритм выполнения априорной оценки точности плановой геодезической сети на территории САР

Для достижения оптимального результата в создании геодезических сетей важно провести оценку точности сети как в процессе проектирования, так и после ее построения. Предварительная оценка точности геодезической сети обеспечивает решение многих задач, например определение наилучшего варианта создания сети, экономию времени, усилий и денег, определение точности используемых приборов и методов измерений [5, 6].

В настоящее время, используя современные компьютеры и с помощью метода

наименьших квадратов, проводится оценка точности созданной сети, а также определяется наиболее подходящее размещение точек. Точность будет оцениваться согласно известной формуле

$$Q = (A^T P A)^{-1}, \quad (1)$$

где P – матрица весов измеренных величин; A – матрица частных производных уравнений поправок; Q – матрица весовых коэффициентов определяемых пунктов.

Средняя квадратическая погрешность положения каждого пункта в сети может быть определена по формуле

$$m_{xii} = \mu \sqrt{q_{xii}}, \quad m_{yii} = \mu \sqrt{q_{yii}}, \quad (2)$$

где μ – ошибка единицы веса; q_{xii} , q_{yii} – соответствующие диагональные элементы матрицы Q_x , Q_y .

Предварительный анализ точности установления предполагаемого расположения точек спутниковой сети в отношении исходных пунктов можно выполнить, строго применяя параметрический метод уравнивания.

Погрешности положения пунктов вычисляются следующими действиями с помощью программных комплексов Excel и MATHCAD [7, 8]:

– выполнить преобразование всех данных в сирийской стереографической проекции, применяя параметры преобразования [6, 7];

– вычислить «истинные» приращения координат

$$\Delta X_{ij}^{ИСТ} = X_j^{ИСТ} - X_i^{ИСТ}, \Delta Y_{ij}^{ИСТ} = Y_j^{ИСТ} - Y_i^{ИСТ}; \quad (3)$$

– вычислить «измеренные» приращения координат

$$\Delta X_{ij}^{ИЗМ} = \Delta X_{ij}^{ИСТ} \pm m_{\Delta x_{ij}}, \Delta Y_{ij}^{ИЗМ} = \Delta Y_{ij}^{ИСТ} \pm m_{\Delta y_{ij}}, \quad (4)$$

где $m_{\Delta x_{ij}} = m_{const} + k|\Delta X_{ij}^{ИСТ}|10^{-6}$, $m_{\Delta y_{ij}} = m_{const} + k|\Delta Y_{ij}^{ИСТ}|10^{-6}$; (5)

– вычислить «приближенные» координаты определяемых пунктов

$$X_i^{БЫЧ} = X_i^{ИСТ} + rndi \neq 1, Y_i^{БЫЧ} = Y_i^{ИСТ} + rndi \neq 1; \quad (6)$$

– сформировать «приближенные» приращения координат

$$\Delta X_{ij}^{БЫЧ} = X_j^{БЫЧ} - X_i^{БЫЧ}, \Delta Y_{ij}^{БЫЧ} = Y_j^{БЫЧ} - Y_i^{БЫЧ}; \quad (7)$$

– сформировать свободные члены (невязки)

$$L_{x_{ij}} = \Delta x_{ij}^{БЫЧ} - \Delta x_{ij}^{ИЗМ}, L_{y_{ij}} = \Delta y_{ij}^{БЫЧ} - \Delta y_{ij}^{ИЗМ}; \quad (8)$$

– сформировать вес измеренных величин

$$P_{ij} = \frac{c^2}{m_{ij}^2}, \quad (9)$$

где $c = 10$

– составить систему нормальных уравнений

$$A^T P A \ddot{x} + A^T P L = 0; \quad (10)$$

фрагмент матрицы А выглядит следующим образом:

$$A = \begin{array}{c|cccccccccc} & x_1 & y_1 & z_1 & x_2 & y_2 & z_2 & x_3 & y_3 & z_3 & x_4 \\ \hline \Delta x_{12} & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \Delta y_{12} & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \Delta z_{12} & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad (11)$$

Выполнить уравнивание геодезической сети

$$\delta X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L, X_i = X_i^{БЫЧ} + \delta X \quad (12)$$

и определить точность координат пунктов

$$Q = (A^T P A)^{-1}, V_X = A \delta X + L_X, \mu = \sqrt{\frac{V^T P V}{n-k}}, \quad (13)$$

$$m_{x_{ii}} = \mu \sqrt{q_{x_{ii}}}, m_{y_{ii}} = \mu \sqrt{q_{y_{ii}}},$$

$$m_{ii} = \sqrt{m_{x_{ii}}^2 + m_{y_{ii}}^2},$$

где μ – средняя квадратическая погрешность единицы веса; m_{ii} – средние квадратические погрешности определения пунктов спутниковой сети.

Создавая алгоритм выбора оптимального положения пунктов через уравнивание геодезической сети с частичным смещением пунктов (от нескольких сотен метров до единиц километров), определяли наилучшее по точности положение пункта с одновременной фиксацией обновленной конфигурации смоделированной геодезической сети.

Основываясь на результатах анализа, среднее значение ошибок составило 2,6 см, и в северо-восточной части страны оно достигает 6 см. На рис. 3 и 4 для наглядности демонстрируются средние квадратные ошибки расположения точек относительно координатных осей X и Y, а в табл. 1 и 2 даны пояснения и соотношения цветовых гамм в достижимой точности.

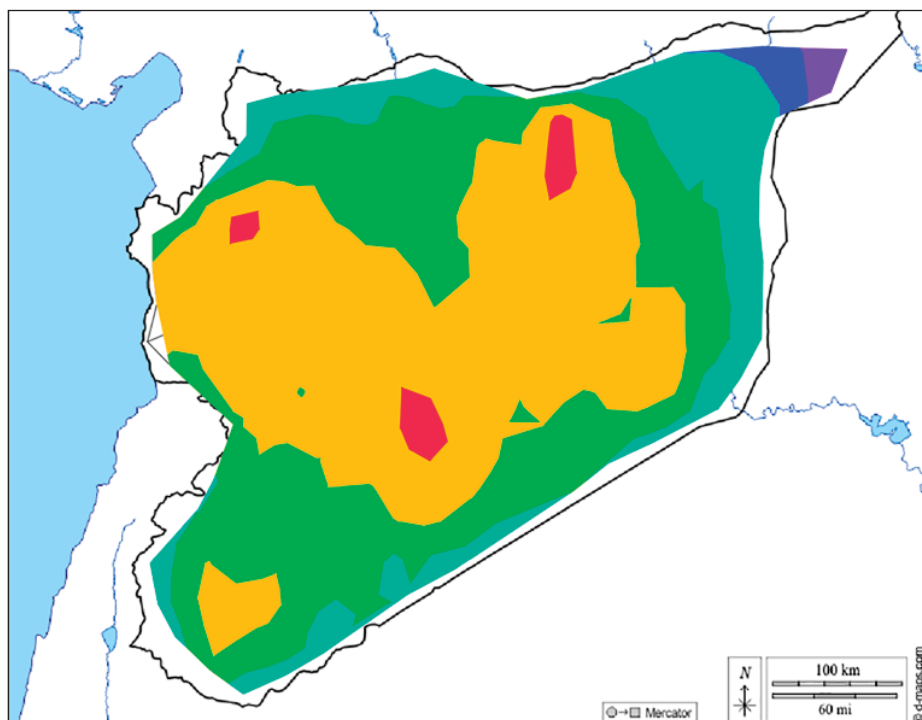


Рис. 3. Распределение средних квадратических погрешностей по оси X
Источник: составлено авторами

Таблица 1

Цветовая градация средних квадратических погрешностей по оси X

Номер	Интервал средних квадратических погрешностей		Цвет
	от	до	
1	0,015	0,020	Red
2	0,020	0,025	Yellow
3	0,025	0,030	Green
4	0,030	0,040	Light Blue
5	0,040	0,050	Dark Blue
6	0,050	0,065	Purple

Создавая алгоритм смещения пунктов (от нескольких сотен метров до единиц километров) и проводя уравнивание, авторы определили наилучшую по точности конфигурацию смоделированной геодезической сети.

В рассмотренном случае смещение производилось вручную сменой координат пунктов по заданной схеме, для автоматизации алгоритма целесообразно перейти от Excel и MATHCAD к программным комплексам, которые позволят это сделать автоматически.

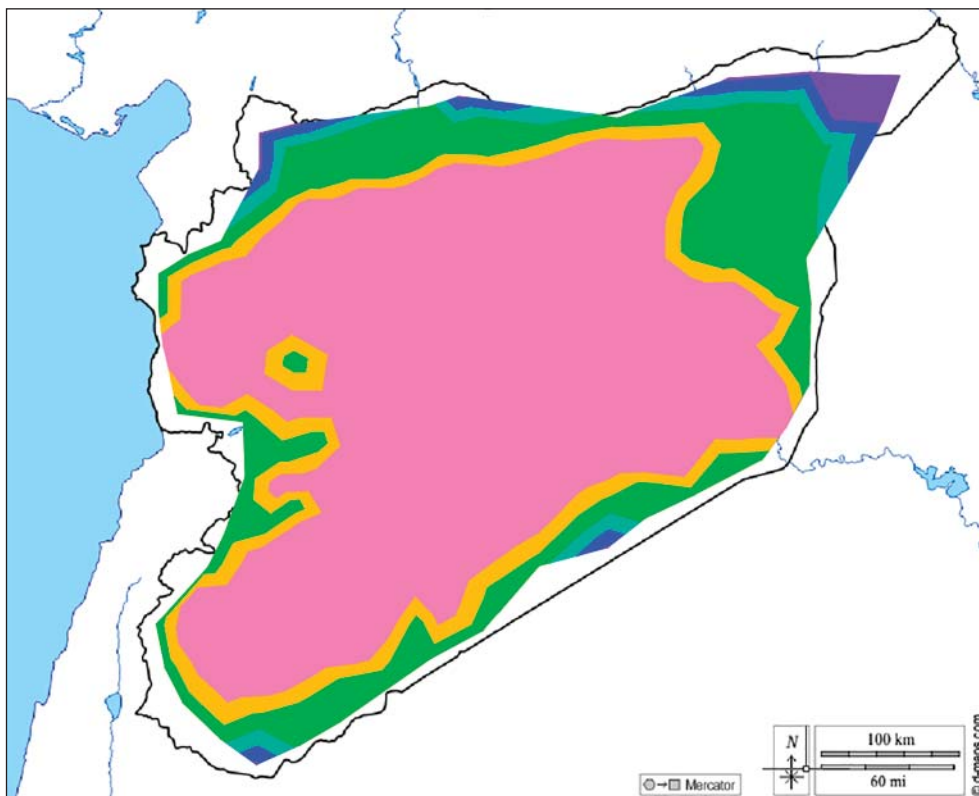


Рис. 4. Распределение средних квадратических погрешностей по оси Y
 Источник: составлено авторами

Таблица 2

Цветовая градация средних квадратических погрешностей по оси Y

Номер	Интервал средних квадратических погрешностей		Цвет
	от	до	
1	0,0195	0,0235	
2	0,0235	0,0275	
3	0,0275	0,0315	
4	0,0315	0,0355	
5	0,0355	0,0395	
6	0,0395	0,0435	

Заключение

На территории САР была смоделирована геодезическая сеть, которая покрывает равномерно всю территорию страны. Выполнена априорная оценка точности проектируемой геодезической сети. Достигнутые точности моделирования позволяют утверждать, что такие сети могут быть созданы с помощью оборудования Leica GS14 3.75G, где точность измерения составляет [5 мм + 0,5 ppm] при заранее определенных условиях. Применение ал-

горитмической схемы выбора оптимального положения пунктов позволяет выбрать наилучшую конфигурацию геодезической сети в зависимости от заданных параметров оптимизации. Для автоматизации описанного процесса рекомендуется использовать профессиональные программные комплексы.

Список литературы

1. Мусбах Асаад Али. Современное состояние геодезической сети на территории Сирийской Арабской Республики // Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 3. С. 13–15.]

2. Habib M. Fit-for-purpose conformal mapping for sustainable land administration in war-ravaged Syria // *Heliyon*. 2022. Vol. 8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09384.
3. Кутени Джад Аль Карим Хамад. Разработка методики геодезического обеспечения исследования деформации при нефтедобыче на территории Сирийской Арабской Республики: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2020. 24 с.
4. Коссугбето Бриак Кевин Патрик. Совершенствование координатной основы на территории республики Бенин: автореф. дис.... канд. техн. наук. Москва, 2015. 24 с.
5. Мустафин М.Г. Обоснование технологии создания спутниковой геодезической сети для условий низких широт: автореф. дис ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2018. 24 с.
6. Абаас Гафаар. Особенности вычисления параметров трансформирования из WGS84 в Кларк 1880 в горных и пустынных районах в сирийской стереографической проекции // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 8. С. 145–149. DOI: 10.17513/use.37881.
7. Абаас Гафаар. Особенности вычисления параметров трансформирования и уравнения регрессии из WGS84 в Кларк1880 в сирийской системе координат Ламберта // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 9. С. 92–98. DOI: 10.17513/use.37898.
8. Мустафин М.Г., Грищенко Е.Н., Юнес Ж.А., Худяков Г.И. Современное маркшейдерско-геодезическое обеспечение эксплуатации горных предприятий // *Известия Тульского государственного университета*. 2017. № 4. С. 190–203.

СТАТЬИ

УДК 550.812

DOI 10.17513/use.38360

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЮГРЫ**

**¹Кузьменков С.Г., ¹Нанишвили О.А., ²Новиков М.В.,
³Захарова Л.М., ³Захарова В.А.**

¹ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск,
e-mail: ksg.1948@yandex.ru, olgayugu@yandex.ru;

²Департамент недропользования и природных ресурсов
Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Ханты-Мансийск,
e-mail: NovikovMV@admhmao.ru;

³АУ «Научно-аналитический центр рационального недропользования
имени В.И. Шпильмана», Тюмень, *e-mail: zaharova@crru.ru, relka13@yandex.ru*

Целью настоящей работы является анализ ресурсной базы нефтедобычи Югры, перспективы ее наращивания за счет расширения географии поиска в пределах выявленных первоочередных поисковых зон. В ходе работы использовались методы ретроспективного анализа фондовых, тематических, аналитических и отчетных материалов Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Научно-аналитического центра рационального недропользования имени В.И. Шпильмана. В ходе исследований подробно рассмотрена динамика изменения начальных суммарных ресурсов, выявлены тенденции их изменения за счет отложений нефтегазоносных комплексов пород в нижней юре и доюрских образованиях. Результаты работ включают предложения по стабилизации добычи нефти на уровне 210–220 млн т до 2030 г. и на перспективу до 2050 г. за счет увеличения геологоразведочных работ. Определены основные направления укрепления ресурсной базы нефтедобычи на достигнутых уровнях как за счет подготовки «новой» нефти в нераспределенном фонде недр, так и в распределенном фонде недр, для которых в лицензионных соглашениях имеются ограничения недропользования по глубине. Существенное наращивание ресурсной базы за счет перевода прогнозных и перспективных ресурсов в запасы промышленных категорий на указанных территориях позволит не только обеспечить долгосрочную устойчивость экономического развития Югры, но и укрепить энергетическую безопасность Российской Федерации в целом.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, география поиска, ресурсная база, нераспределенный фонд недр, нефтегазоносные комплексы

**STATUS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT
OF YUGRA'S RESOURCE BASE**

**¹Kuzmenkov S.G., ¹Nanishvili O.A., ²Novikov M.V.,
³Zakharova L.M., ³Zakharova V.A.**

¹Yugra State University, Khanty-Mansiysk, *e-mail: ksg.1948@yandex.ru, olgayugu@yandex.ru;*

²Department of Subsurface Management & Natural Resources of Khanty-Mansi Autonomous
Okrug – Yugra, Khanty-Mansiysk, *e-mail: NovikovMV@admhmao.ru;*

³V.I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil, Tyumen,
e-mail: zaharova@crru.ru, relka13@yandex.ru

The purpose of this work is to analyze the resource base of oil production in Yugra and the prospects of its increase by expanding the geography of search within the identified priority search zones. In the course of the work we used methods of retrospective analysis of stock, thematic, analytical and reporting materials of the Department of Subsoil Use and Natural Resources of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra and the Scientific and Analytical Center for Rational Subsoil Use named after V.I. Shpilman. In the course of the research the dynamics of changes in the initial total resources was considered in detail, and the trends of their change due to the deposition of oil and gas bearing rock complexes in the Lower Jurassic and pre-Jurassic formations were revealed. The results of the work include proposals to stabilize oil production at the level of 210–220 million tons by 2030 and in the future up to 2050 by increasing exploration works. The main directions for strengthening the resource base of oil production at the achieved levels have been determined both through the preparation of “new” oil in the unallocated subsoil fund and in the allocated subsoil fund, for which the license agreements contain restrictions on subsoil use in terms of depth. Significant increase of the resource base by transferring the forecast and prospective resources into reserves of industrial categories will allow not only to ensure long-term sustainability of economic development of Ugra, but also to strengthen the energy security of the Russian Federation as a whole.

Keywords: geological exploration, geography of prospecting, resource base, unallocated subsoil fund, oil and gas bearing complexes

Введение

На протяжении длительного времени ситуация со снижением геологоразведочных работ (ГРР) на нефть и газ в целом по России находит подтверждение и в Югре, при этом в ресурсной базе нефтедобычи округа все больший вес приобретают трудноизвлекаемые запасы (ТрИЗ), добыча которых сопряжена с увеличивающимися материальными затратами. В нефтегазовом комплексе России сегодня сложилось устоявшееся мнение о том, что, если территория и нефтедобывающие компании, ведущие добычу нефти на ней, на длительный период обеспечены подготовленными к разработке запасами, объемы и виды ГРР следует сократить и/или переориентировать на более высокотехнологичные виды исследований в пределах своих лицензионных участков недр. Такая тенденция характерна и для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (далее – Югра). Об этом свидетельствует и низкая лицензионная активность компаний, обеспеченность которых ресурсной базой нефтедобычи (коэффициент обеспеченности) превышает 30 и более лет [1, 2].

Такие недропользователи, наряду с традиционной геологоразведкой, переходят на комплексный подход к использованию имеющихся в их распоряжении геолого-геофизических данных, ориентированный на уточнение геологического строения разрабатываемых месторождений и повышение коэффициента извлечения нефти вне зависимости от выработанности залежей нефти [1].

При дефиците подготовленных к эксплуатации запасов государству, заинтересованному в стабильном поступлении средств от реализации нефтедобывающими компаниями добытой нефти, необходимо предпринять необходимые меры по усилению ГРР в нефтедобывающем регионе. Современное состояние ресурсной базы Югры, по мнению авторов статьи, следует рассматривать именно с этой точки зрения.

Цель исследования – анализ состояния ресурсной базы нефтедобычи Югры и перспектив ее наращивания за счет усиления геологоразведочных работ с целью перевода прогнозных и перспективных ресурсов в запасы промышленных категорий в пределах распределенного (НРФН) и нераспределенного фондов недр (РФН).

Материалы и методы исследования

На протяжении многих лет отмечается снижение доли добычи нефти в Югре от общероссийской. С 47,6 % в 2014 г. добыча снизилась до 41 % в 2023 г., или на 44,3 млн т

в абсолютных единицах. Такая тенденция обусловлена многими факторами, среди которых можно выделить увеличение текущей выработанности (более 62 %) и обводненности (свыше 87 %) разрабатываемых залежей, а также увеличением до 70 % доли трудноизвлекаемых запасов (ТрИЗ) [3].

Анализ фондового материала позволил авторам установить, что 80 % общего количества залежей, открытых на территории Югры в 2016–2023 гг., находится в центральной части округа, а 60 % из них приходится преимущественно на Сургутский и Вартовский нефтегазоносные районы Среднеобской нефтегазоносной области, то есть на территории интенсивной нефтедобычи. Почти половина всех открытий связана с неокомским нефтегазоносным комплексом (НГК), по 20 % залежей открыто в отложениях юрского возраста – среднеюрском и васюганском комплексах. Большая часть залежей открыта эксплуатационными скважинами, причем значительное количество из них по результатам переинтерпретации данных ГИС, то есть компании ставят на баланс залежи по результатам переиспытания скважин старого фонда (пропущенные залежи), в которых ранее были получены непромышленные притоки нефти. Из этого следует, что компании приращивают свою ресурсную базу путем доразведки территории своих лицензионных участков (ЛУ), а не за счет новых, полученных в результате конкурсов и аукционов, участков недр. Представляется, что продолжение этой тенденции приведет к дефициту подготовленных к разработке новых месторождений.

По состоянию на 2024 г. из всего объема нефтегазоперспективных земель Югры (98 % от общей территории Югры) площадь распределенного фонда недр составляет 47 %, а нераспределенного фонда недр соответственно 53 %, причем последняя практически не изучена современными методами геологоразведки.

В рамках исследования авторами были проанализированы:

- состояние и распределение структуры начальных суммарных нефти и невыявленных ресурсов углеводородного сырья в динамике ресурсной базы нефтедобычи по основным нефтегазоносным комплексам пород;
- данные по добыче нефти в Югре в период с 1964 по 2023 г.;
- динамика геологоразведочных работ на нефть и газ в Югре;
- изученность нефтегазоперспективных земель территории ХМАО-Югры.

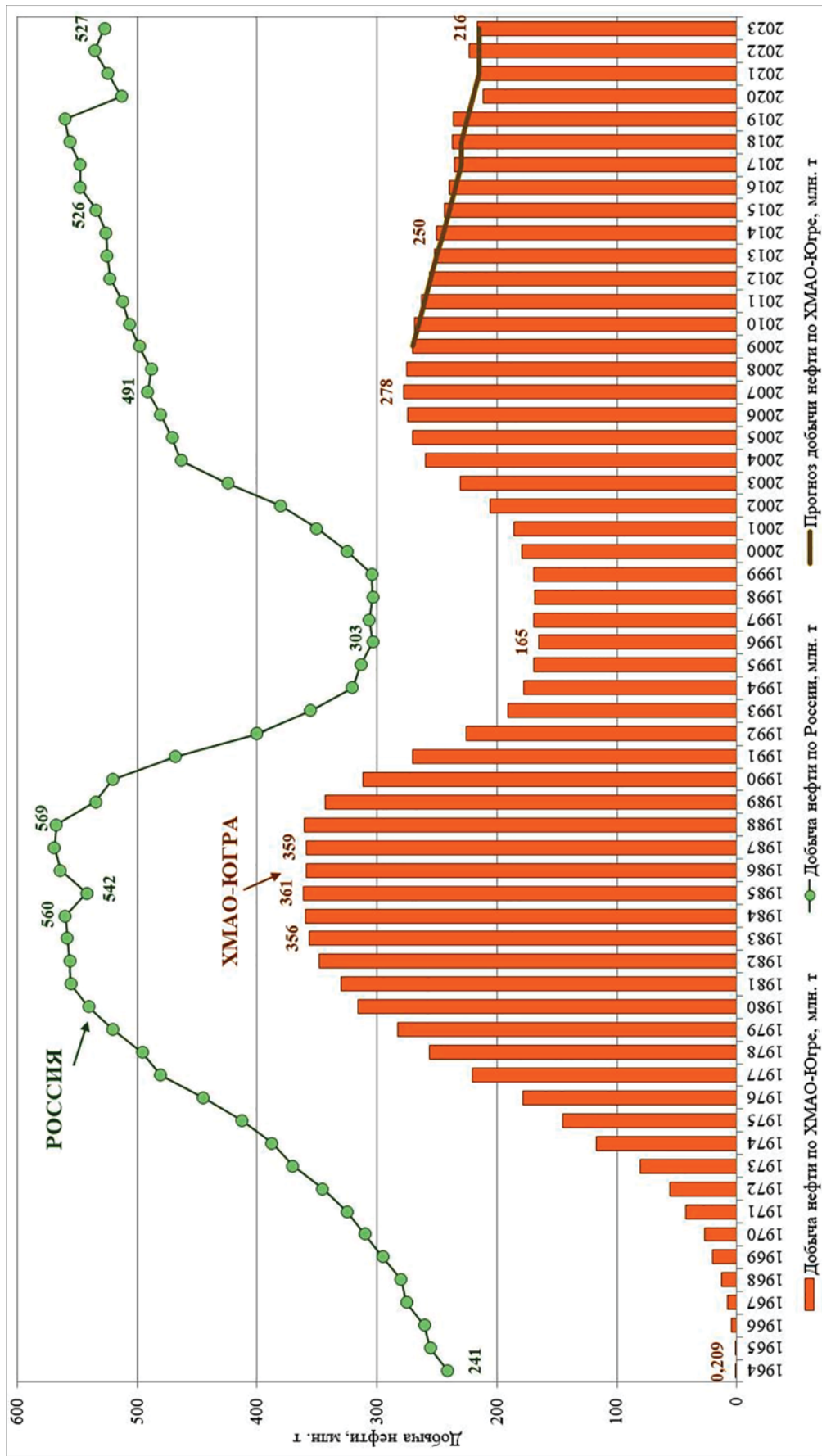


Рис. 1. Динамика добычи нефти в Югре и России в период с 1964 по 2023 г.

Результаты исследования и их обсуждение

По состоянию на 2024 г. на официальном балансе Всесоюзного геологического фонда в Югре числится 486 нефтегазоконденсатных месторождений, из которых 172 находятся на различных стадиях изученности, 287 в разработке, 127 расположены в пределах нераспределенного фонда недр (НРФН) [4].

С начала промышленного освоения нефтяных месторождений на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (1964 г.) накопленная добыча нефти составила на 1 января 2024 г. 12781,3 млн т (рис. 1).

Стабилизацию добычи нефти на уровне 220–216 млн т/год в последние 5 лет обеспечили значительные объемы (более 18 млн м/год) эксплуатационного бурения, ввод в эксплуатацию более 4 тыс. скважин ежегодно новых добывающих скважин и увеличение объема мероприятий по повышению нефтеотдачи пластов [3].

Говоря о добыче нефти в целом, отметим, что начиная с конца прошлого века и по настоящее время более половины добычи нефти (52 %) в Югре приходится на 16 месторождений из 287 находящихся в разработке. Вклад указанных на рис. 2 месторождений в общей добыче с начала промышленной разработки составил 46 %, или 5914 млн т.

Запасы не введенных в разработку месторождений, находящихся в НРФН, составляют более 1,0 млрд т [5]. Анализ причин невовлечения этого резерва месторождений в промышленное освоение показал [6], что большинство месторождений:

- находятся на значительном удалении от развитой производственной инфраструктуры промышленной нефтедобычи;

- открыты единичными скважинами в рамках реализации территориальной программы геологоразведочных работ за счет ставок на воспроизводство минерально-сырьевой базы (ВМСБ) и требуют значительных затрат на их доразведку;

- по величине запасов промышленных категорий начальных извлекаемых запасов большинство из них относятся к мелким и очень мелким, что объясняется, по мнению авторов, степенью их изученности бурением (залежи нефти открыты преимущественно единичными скважинами) [4].

Основным геологическим фактором, препятствующим освоению новых поисковых территорий, следует считать низкую плотность их изученности геологоразведочными работами, что обуславливает высокий риск неоткрытия на них месторождений. При этом ресурсная база ЛУ, при значительных инвестициях в поисково-разведочное бурение и являющаяся основанием для продолжения ГРП, также требует переоценки.

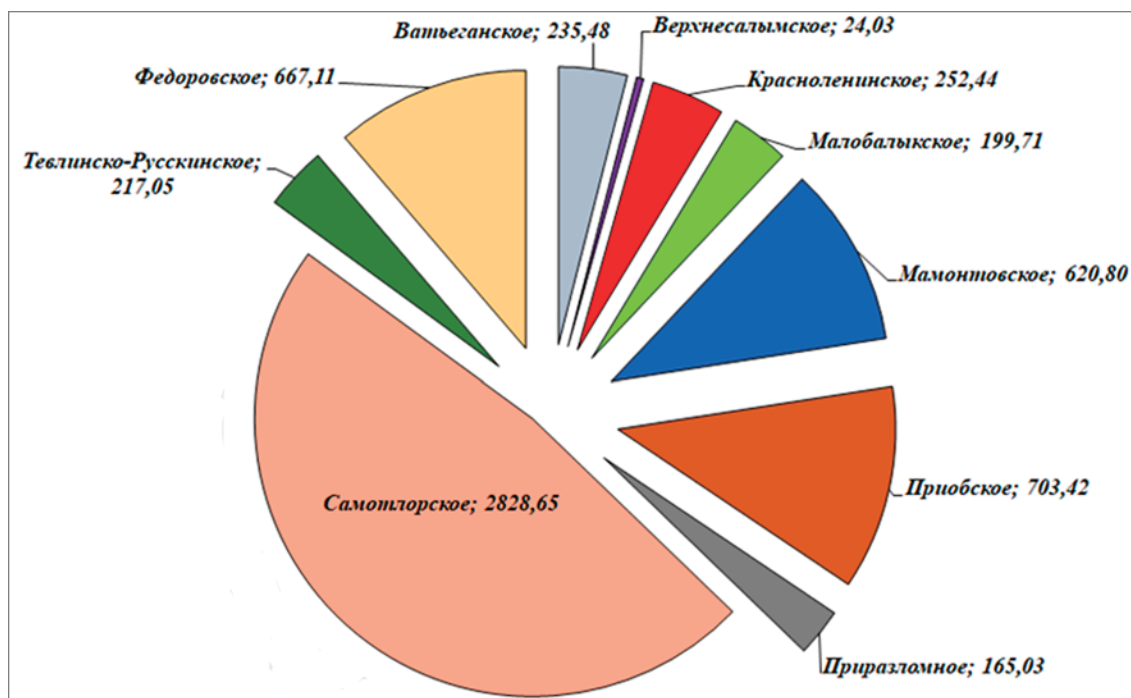


Рис. 2. Накопленная добыча нефти в Югре (млн т) по 10 месторождениям в 2023 г.

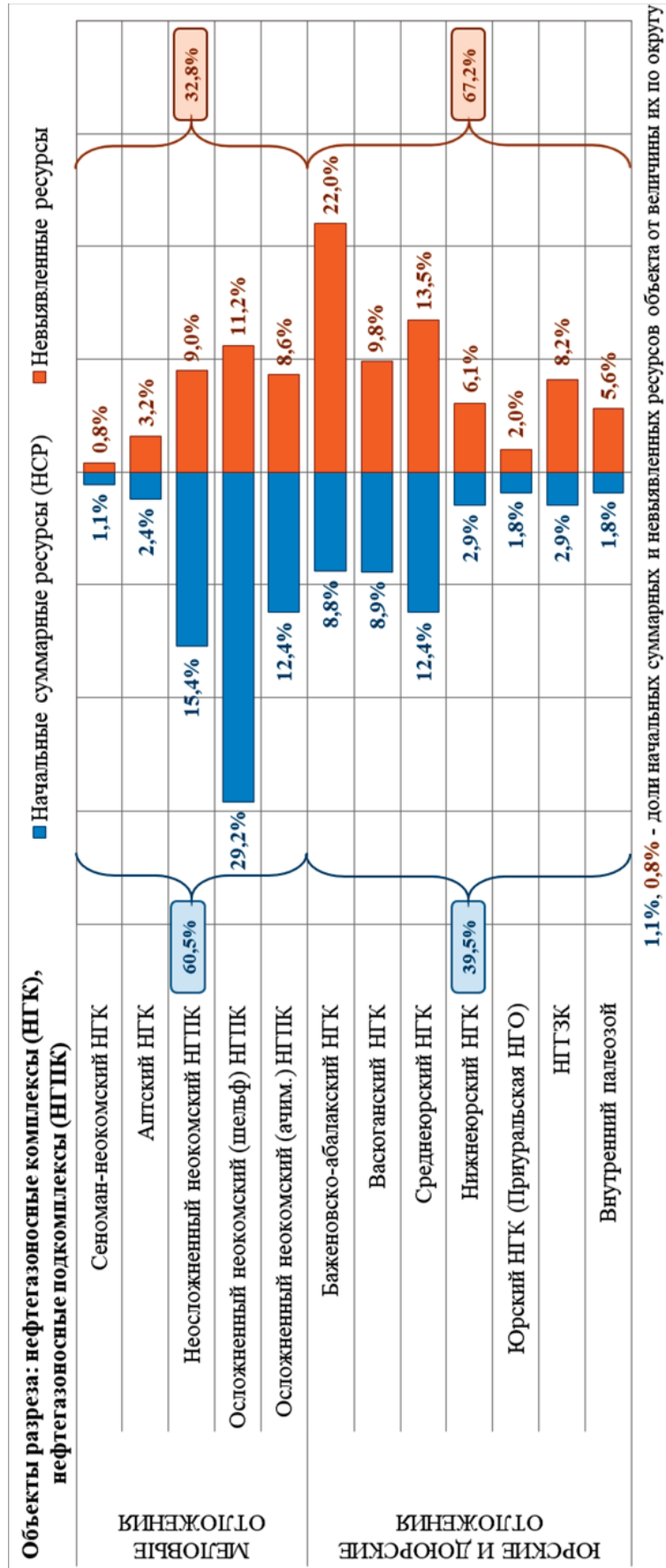


Рис. 3. Распределение НСР и невыявленных извлекаемых ресурсов нефти по нефтегазоносным комплексам на территории округа

Для стимулирования геологоразведочных работ на нефть с целью подготовки ресурсов нефти на «новых» территориях и стабилизации добычи нефти в Югре на уровне 220–215 млн т первоочередными мерами следует считать:

- проведение масштабных тематических работ для пересмотра исторических данных и уточнения состояния ресурсной базы УВС в пределах ранее выявленных поисковых зон [7];

- расширение географии поисковых сейсморазведочных работ с целью подготовки к опоскованию новых объектов (ловушек);

- увеличение количества аукционов, конкурсов по предоставлению прав пользования недрами на территории автономного округа с целью поиска и оценки месторождений;

- увеличение количества участков, передаваемых для геологического изучения полезных ископаемых за счет средств недропользователей;

- ввод в промышленный оборот нерентабельных для разработки сегодня мелких, удаленных от действующей инфраструктуры месторождений.

Начальные суммарные ресурсы нефти (НСР) и в сумме ресурсов категорий $D+C_3$ в Югре по состоянию на 2024 г. составляют

более 35 млрд т или почти половину (44 %) прогнозных ресурсов категории D_1 Российской Федерации в отложениях и на территориях с доказанной нефтеносностью.

В работе [7] авторами установлено, что выявленность НСР нефти (доля начальных запасов $AB_1B_2C_1C_2$ в начальных суммарных ресурсах) по округу составляет 67 %, при этом третья часть их уже извлечена из недр (34,7 %). На ресурсы в сумме категорий D_0 , D_1 и D_2 (невыявленные ресурсы) приходится 33 %.

Изменение динамики структуры ресурсов и запасов по принадлежности к различным объектам разреза свидетельствует (рис. 3) об увеличении вклада отложений нижних горизонтов (юрские и доюрские НГК) в общий объем невыявленных ресурсов нефти округа и, соответственно, уменьшение вклада меловых НГК.

По состоянию на 2024 г. 17 % геологических запасов нефти в Югре уже извлечено на поверхность, 15 % учтенной на Госбалансе нефти обеспечивают текущую добычу, 28 % запасов подвижной нефти необходимо перевести в запасы промышленных категорий, а 40 % неподвижной нефти ожидают новых прорывных технологий для перевода их в запасы промышленных категорий (рис. 4).

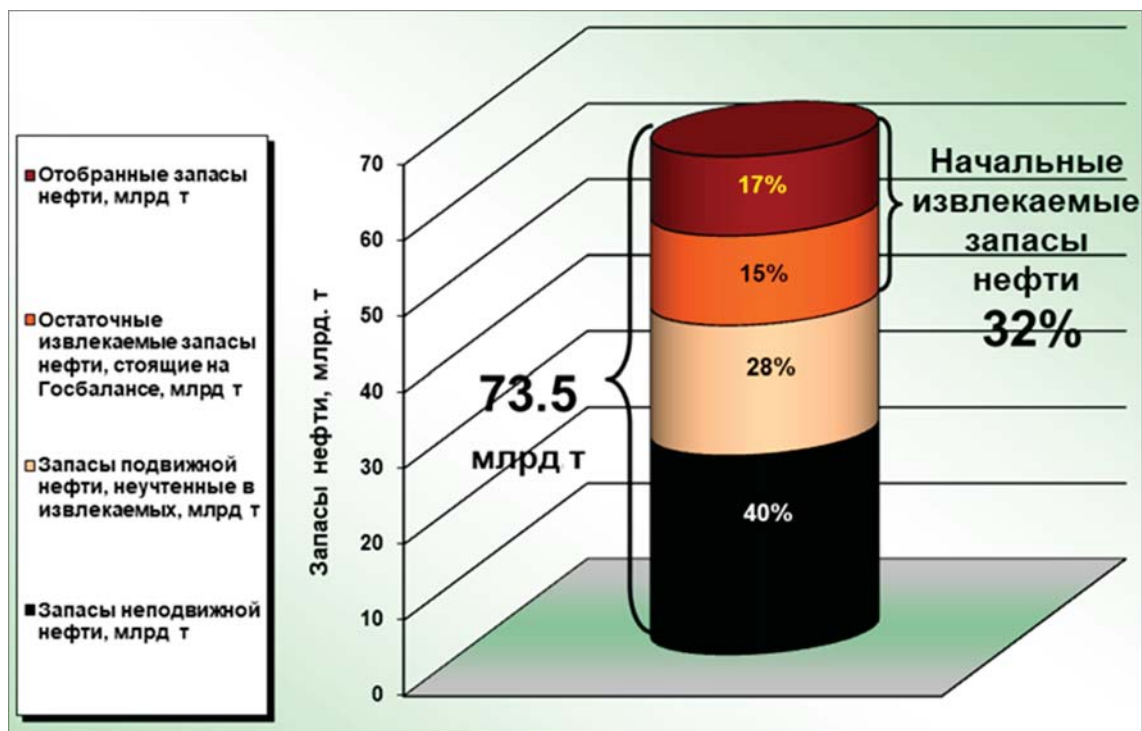


Рис. 4. Распределение геологических запасов нефти Югры на 01.01.2024 г.

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать, что наращивание ресурсной базы углеводородов в перспективе следует ожидать преимущественно за счет юрских и доюрских НГК как в слабоизученных поисково-разведочным бурением и сейсморазведкой современных модификаций районах округа, так и на ЛУ промышленной нефтедобычи с ограничением по глубине.

В результате проведенных тематических исследований в РНФ и НРФН было выделено 7 перспективных на обнаружение залежей углеводородов зон общей площадью 176 тыс. км² (28 % от нефтеперспективных земель Югры), в пределах каждой из которых [6, 7] по степени перспективности того или иного нефтегазоносного комплекса и в зависимости от плотности геолого-геофизической изученности, намечены первоочередные участки для включения их в программы лицензирования фонда недр за счет всех источников финансирования до 2030 г. и на перспективу до 2050 г. Начальные суммарные геологические ресурсы всех зон предварительно оценены в 11 млрд т, извлекаемые в 3,3 млрд т.

Основные открытия в пределах высокоперспективных земель следует ожидать в меловом и верхнеюрском НГК с традиционными коллекторами и кондиционными фильтрационно-емкостными параметрами. На территории разрабатываемых ЛУ с ограничением по глубине высока вероятность обнаружения залежей преимущественно в среднеюрском НГК. Перспективы доюрских и нижнеюрских отложений во всех зонах требуют дополнительного изучения.

Заключение

Состояние ресурсной базы нефтедобычи позволяет с уверенностью считать, что Югра обладает значительными перспективными на поиск нефтяных месторождений ресурсами и территориями и еще долгие годы останется основной базой добычи нефти в России.

Однако для компенсации добычи «новыми» запасами промышленных категорий необходимо расширение географии поисково-разведочных работ в пределах НРФН и доизучение нижнеюрских и доюрских НГК распределенного фонда недр.

Для стимулирования геологоразведочных работ на нефть и подготовки ресурсов нефти в НРФН необходимо проведение масштабных тематических работ с целью ревизии и переработки на современном материально-техническом уровне всех имеющихся геолого-геофизических материалов, что, в свою очередь, позволит уточнить состояние ресурсной базы углеводородного сырья по всем нефтегазоносным комплексам в пределах поисковых зон.

Список литературы

1. Соколов А.В., Шубина А.В. Обеспеченность добычи извлекаемыми запасами нефти – о достоверности расчетов // Георесурсы. 2022. Т. 24, № 3. С. 10–16. DOI: 10.18599/grs.2022.3.2.
2. Григорьев Г.А. Потенциал геолого-экономических исследований в системе принятия управленческих решений по развитию сырьевой базы углеводородов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 1. URL: <http://www.ngtp.ru/> (дата обращения: 08.12.2024). DOI: 10.17353/2070-5379/1_2018.
3. Кузьменков С.Г., Аюпов Р.Ш., Новиков М.В., Исаев В.И., Лобова Г.А., Стулов П.А., Бутин В.С., Астапенко Е.О. Методы увеличения нефтеотдачи на месторождениях Югры // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 4. С. 96–106. DOI: 10.18799/24131830/2020/4/2597.
4. Морозов В.Ю., Сапьяник В.В. Актуальные проблемы освоения нефтегазового потенциала Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2018. № 3. С. 27–36. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-3-27-36.
5. Назаров В.И., Краснов О.С., Медведева Л.В. Геолого-экономическая оценка ресурсов нефти и газа как основа повышения эффективности геологоразведочных работ // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2017. № 6 (66). С. 76–85.
6. Олейник Е.В., Кузьменков С.Г., Новиков М.В., Оксенойд Е.Е., Захарова Л.М., Икон Е.В., Поповская В.Г. Ресурсная база углеводородов территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и пути ее развития // Георесурсы. 2023. Т. 25, № 1. С. 60–66. DOI: 10.18599/grs.2023.1.7.
7. Олейник Е.В., Икон Е.В., Попова Н.Л. Результаты и перспективные направления поисково-разведочных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Геология нефти и газа. 2023. № 2. С. 17–36. DOI: 10.31087/0016-7894-2023-2-17-36.

УДК 550.834:553.98(571.56)(268.53)
DOI 10.17513/use.38361

ИЗУЧЕННОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО, ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ГРАВИМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРИМОРСКИХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН

¹Слепцова М.И., ¹Оболкин А.П., ²Оболкин А.А., ¹Севостьянова Р.Ф.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²ПАО «Сургутнефтегаз», Сургут, e-mail: s_obolkin@mail.ru

Целью данной работы является разработка предложений для рационального размещения работ на нефть и газ в слабоизученных прибрежных районах северо-востока Республики Саха (Якутия) с учетом новых данных по геологии региона. Выполненная работа направлена на уточнение, детализацию и повышение достоверности дальнейших исследований, предварительно актуализированных в процессе научного изучения материалов геологоразведочных работ прошлых лет. По электроразведочным исследованиям на Приморской площади была выделена аномальная зона продольной проводимости, подтверждено существование кайнозойских структур: Нижнеянского грабена и Усть-Янского поднятия. Намечена положительная Селеняхская структура, перспективная в нефтегазоносном отношении. По аэромагнитной съемке Тастахской впадины и Хромского массива установлено блоковое строение фундамента и показаны перспективы впадин в нефтегазоносном отношении. Переинтерпретация сейсмических материалов, выполненная в последние годы, показала, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона. Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов. Эти и другие данные дают основание о возобновлении нефтегазопоисковых исследований в Зырянской, Момской, Нижнеянской, Нижнеколымской впадинах и Тастахском прогибе. Обязательным условием продолжения работ является стадийность работ, включающая проведение, на начальном этапе, научных, региональных геолого-геофизических, геохимических исследований, опорного, параметрического бурения.

Ключевые слова: северо-восток Якутии, сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, Тастахский прогиб, Момо-Зырянская впадина

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100158-2.

STUDY OF SEISMIC, GEOELECTRIC AND GRAVIMAGNETIC FIELDS IN THE NORTH-EAST OF YAKUTIA AND OIL AND GAS POTENTIAL PROSPECTS COASTAL TROUGHS AND DEPRESSIONS

¹Sleptsova M.I., ¹Obolkin A.P., ²Obolkin A.A., ¹Sevostyanova R.F.

¹Federal Research Centre – The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²PJSC “Surgutneftegas”, Surgut, e-mail: s_obolkin@mail.ru

The purpose of this work is to develop proposals for the slow placement of oil and gas in the poorly studied coastal regions of the northeast of the Republic of Sakha (Yakutia), taking into account new data on the geology of the region. The work performed is aimed at clarifying, detailing and increasing the reliability of further research, previously updated in the process of scientific study of materials from geological exploration work of past years. Based on electrical exploration studies in the Primorskaya area, an anomalous zone of longitudinal conductivity was identified, and the existence of Cenozoic structures was confirmed: the Nizhneyansky graben and the Ust-Yansky uplift. A positive Selennyakh structure has been outlined, which is promising in oil and gas terms. Based on aeromagnetic surveys of the Tastakh depression and the Khrom massif, the block structure of the foundation was established, and the oil and gas prospects of the depression were shown. Reinterpretation of seismic materials carried out in recent years has shown that there is a rift zone at the base of the Tastakh trough. The Zyryansk depression is a complex tectonic, suture zone, consisting of uplifted and lowered blocks of horizontal shear and thrust types. These and other data provide grounds for the resumption of oil and gas exploration in the Zyryansk, Morskaya, Nizhneyanskaya, Nizhnekolymskaya depressions and the Tastakh trough. A prerequisite for the continuation of work is the staged nature of the work, including, at the initial stage, scientific, regional geological, geophysical, geochemical studies, reference, and parametric drilling.

Keywords: northeast of Yakutia, seismic exploration, gravity exploration, magnetic exploration, electrical exploration, Tastakh trough, Momo-Zyryansk depression

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. 122011100158-2.

Введение

На северо-востоке Республики Саха (Якутия) шельфы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, приморские впадины, а также прогибы в устьевых зонах р. Индигирки, Колымы и Яны, наряду с крупными континентальными впадинами, такими как Момская и Зырянская, представляют собой области с высоким потенциалом для разработки углеводородов [1]. Для проведения исследований были использованы данные, полученные в результате сейсмических, гравимагнитных, геоэлектрических и геохимических работ, которые осуществлялись на протяжении различных лет, а также повторная интерпретация сейсмических данных. Проведенные исследования варьируются по географическим регионам и охвату.

Целью данной работы является дальнейшая разработка оптимальной геолого-геофизической основы для рационального размещения работ на нефть и газ в слабоизученных прибрежных районах северо-востока Республики Саха (Якутия).

Материалы и методы исследования

Объектом нашего исследования выступает северо-восточная часть Якутии. Район исследований представляет собой обширную заболоченную равнину в тундровой зоне, с высотными отметками от +10 м до +80 м. Растительный покров встречается вдоль берегов рек в виде редких узких полос кустарников. Реки покрыты льдом с ноября по май, толщина льда в марте составляет 0,7–1,2 м. Безопасные условия передвижения зависят от степени промерзания льда в водоемах, который во многом зависит от толщины и времени выпадения снежного покрова. Ледовый покров, достигающий 80 см, образуется не ранее января. Характерной особенностью арктического климата района работ является большое количество ветреных дней в году с постоянно меняющимся направлением ветра с моря и материка. Скорость ветра достигает 20–30 м/с с порывами до 40 м/с. Полярная ночь создает определенные трудности для выполнения всех видов работ. В летнее время производство полевых работ осложнено высокой заводненностью и большой удаленностью от баз. Есть ограничения по природоохранному законодательству.

Материалами исследования послужили результаты сейсмических, гравимагнитных геоэлектрических работ, проведенных в разные годы. Проведен обзор полученных результатов, выяснены возможности продол-

жения нефтегазопроисловых исследований и выбора районов для постановки региональных работ. Работа направлена на уточнение, детализацию и улучшение достоверности будущих исследований, которые были предварительно актуализированы в ходе научного анализа материалов геологоразведочных работ, проводимых в предыдущие годы.

Методология исследования основана на обобщении и анализе имеющихся геофизических данных, включающих сейсмические, гравимагнитные, геоэлектрические геохимические исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Сейморазведка. Сейморазведочная изученность исследуемых континентальных территорий Якутии относительно ее шельфовых районов невысока. Исследования сейсмического характера на территории Якутии, особенно в отношении шельфовых зон, остаются недостаточно глубокими и обширными. В период с 1979 по 1992 г. были проведены локализованные проекты АО «Якутскгеофизика», охватившие континентальную часть северо-востока региона в районе Зырянской впадины и Тастахского прогиба [2, с. 15]. В совокупности сейсмические работы с использованием метода общей глубинной точки (МОГТ) составили более 3889 погонных километров: для Зырянской впадины – свыше 2709 пог. км. Эти исследования позволили существенно уточнить геологическую структуру указанных территорий. В частности, были выявлены отражающие горизонты, указывающие на осадочный характер формирования прогиба и впадины [3]. Для Тастахского прогиба верхний слой разреза характеризуется слабыми, малоамплитудными волнами с тонкослоистой структурой. Нижняя часть проявляет стабильные низкочастотные отражения, указывающие на складчатое основание (рис. 2, профиль 921423). Зырянская впадина же демонстрирует более сложную картину: нестабильные тонкослоистые волны с помехами широкого спектра и различными типами интерференций, особенно заметными на профилях (рис. 2, профили 912251.8; 92227) [4]. В результате исследований были выявлены антиклинальные структуры внутри впадины, а также определена обширная зона выклинивания нижнемеловых отложений в северной части Зырянской впадины. В этой зоне предполагается наличие значительных углеводородных ловушек неантиклинального типа [4].

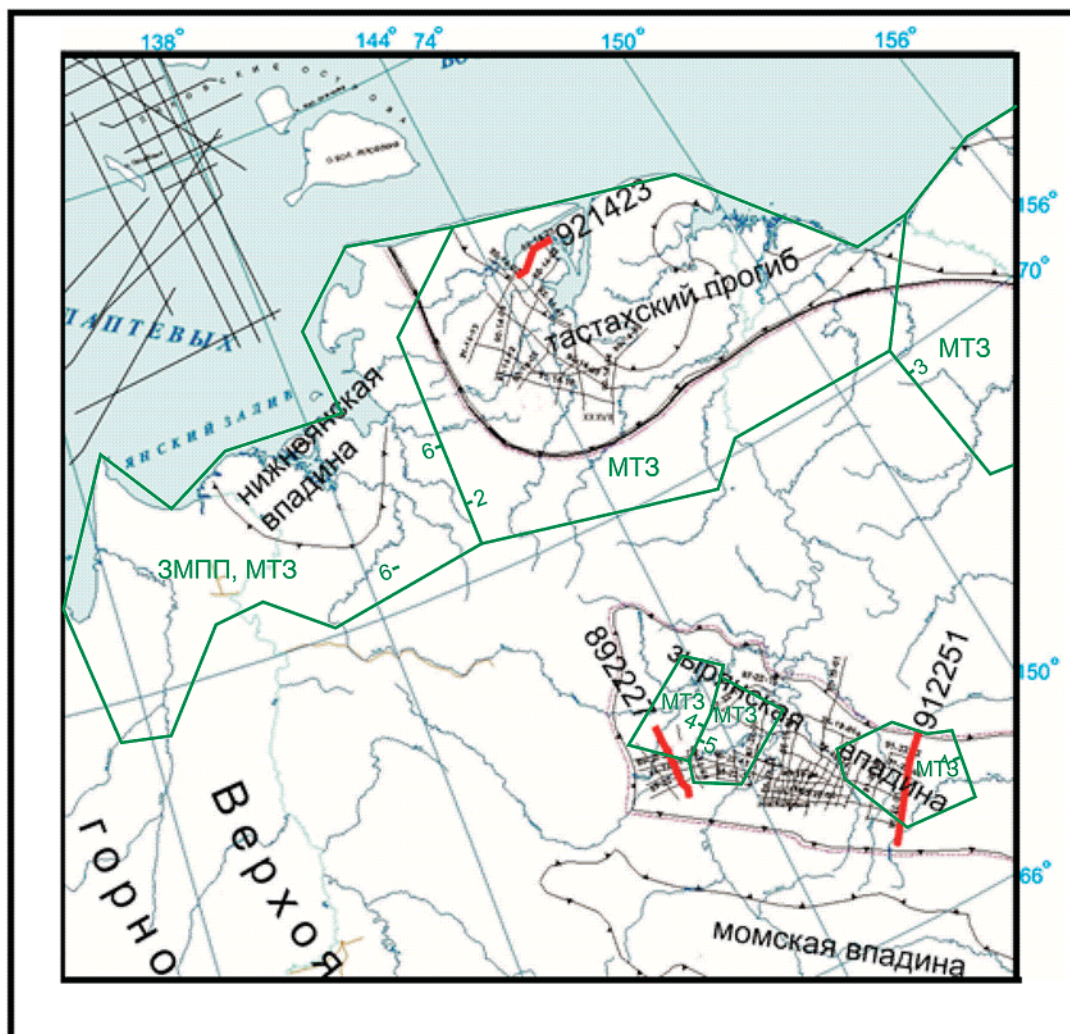


Рис. 1. Изученность северо-востока Якутии сейсморазведкой, электроразведкой
Условные обозначения:

- Прилагаемые сейсмические профили, 1–6 – площади, изученные электроразведкой:
1. Зырянская электроразведочная партия № 19/70-71.М 1:1500000.
 2. Алазейская электроразведочная партия № 50/85-86.М 1:1500000.
 3. Колымская электроразведочная партия № 50/86-87.М 1:1500000.
 4. Селенняхская электроразведочная партия № 50/87-88.М 1:500000.
 5. Селенняхская электроразведочная партия № 50/88-89.М 1:500000.
 6. Приморская электроразведочная партия № 50/91-92.М 1:1500000.

Гравирозведка. Гравиметрические исследования масштаба 1:200000 в Зырянской впадине начаты в 1982–1983 гг. и продолжены в 1986 г. и последующие годы. Исследования позволили уточнить и детализировать границы впадины, строение ее центральной и краевых частей и смежных с ней структур – Алазейского поднятия и Илин-Тасского антиклинория. Крупные прогибы и разделяющие их поднятия, седловины, структурные террасы определяют своеобразную продольную и поперечную зональность строения Зырянской впадины.

Выделяются также многочисленные локальные структуры, которые, по мнению авторов, выражены преимущественно в меловых отложениях [2, с. 296]. Отмечается их морфологическое разнообразие, которое обусловлено, видимо, их приуроченностью к различным тектоническим зонам [4]. Наряду с другими выводами по изученному региону была дана оценка перспектив нефтегазоносности, которые связывались с верхнепалеозойскими отложениями Зырянской впадины и нижнепалеозойскими образованиями в пределах Бадярихинской впадины [5, с. 198].

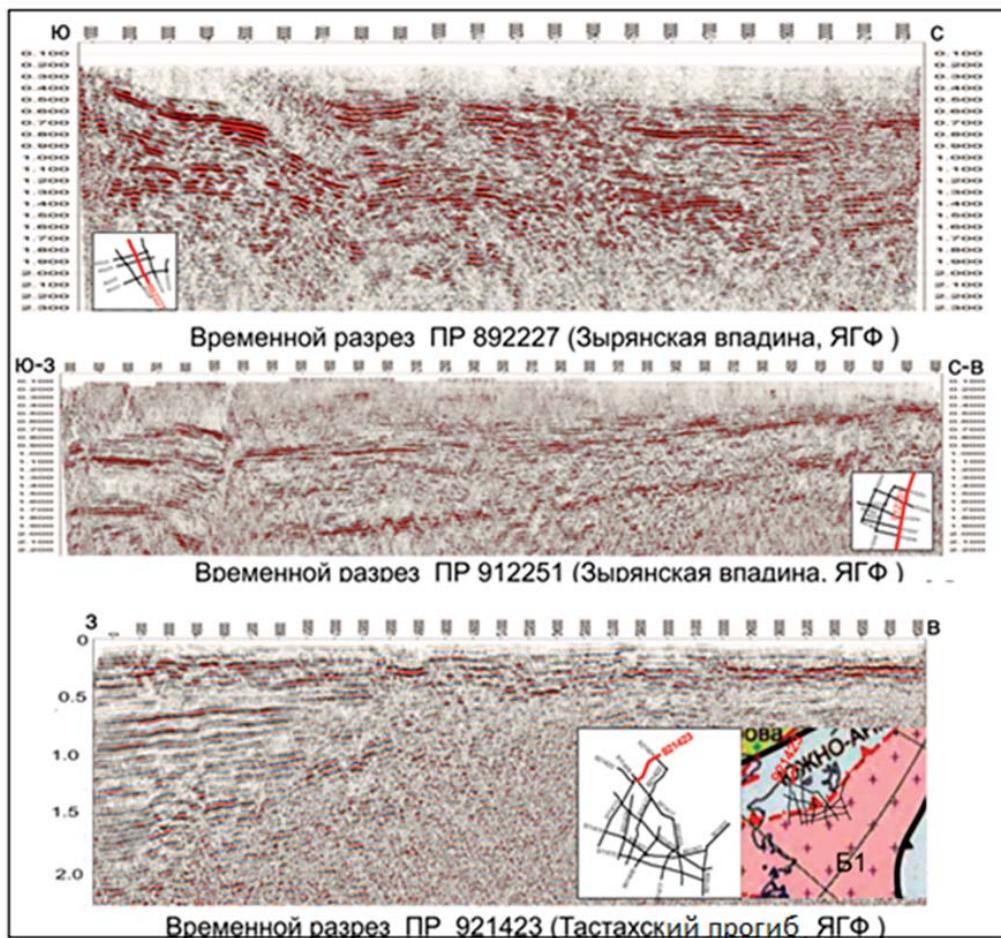


Рис. 2. Временные разрезы Зырянской впадины и Тастахского прогиба

К северу от Зырянской впадины в пределах Приморского прогиба, гравиметрические исследования масштаба 1:200000 впервые были проведены в 1963–1965 гг. с целью изучения шельфа и дна морских акваторий. В последующем вся прибрежная территория и шельф были охвачены съемкой масштаба 1:1000000 [6, 7]. По результатам работ были намечены контуры Хромского поднятия, Кондаковской впадины, Колымского срединного массива, Олойской впадины и других крупных структур. В ходе дальнейших площадных исследований были выявлены четыре крупные зоны: субокеаническая (Тастахская впадина, север Хромского массива), фронтальные (Лаптевская, Святоноская), преддуговые и тыловые. Часть известных структур (Кондаковская впадина, Хромский массив и др.) вошли в различные зоны, разобщенные, как правило, межглыбовыми разломами. Показаны высокие перспективы изученных впадин с точки зрения перспектив нефтегазоносности. По результатам проведенных

обобщений ГУП РС (Я) «Якутская поисково-съемочная экспедиция» в 2004 г. подготовлена и издана цифровая карта поля силы тяжести континентальной части территории РС (Я), послужившая основой для построения карты масштаба 1:1000000 и ГКМ 1:100000 на континентальной и шельфовой части северо-востока [6, 7].

Электроразведочные работы. В 1970 г. геофизические изучения с целью разведки углеводородов впервые осуществила Якутская комплексная геофизическая экспедиция треста «Якутскгеофизика» в восточной части региона (1, рис. 1). Были составлены карты различных геоэлектрических показателей, включая структурную карту кровли высокоомного комплекса. В северной зоне участка выявлена Тастахская впадина с глубиной залегания опорного горизонта НШ (2–3 км) и Хромское возвышение – НШ – менее 1 км, а также ряд меньших структурных элементов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности «платформенной» зоны Приморского прогиба для

поиска нефти и газа в послелейских отложениях (2, рис. 1). В период с 1986 по 1987 г. электроразведочные работы на территории Колымской площади, расположенные восточнее Приморского прогиба, были продолжены методом МТЗ. В ходе исследований выделено три основных типа геоэлектрических кривых. Эти данные расширяют представление о перспективности не только «платформенной», но и прилегающих к ней переходных зон Приморского прогиба для поиска углеводородов в послелейских отложениях (3, рис. 1).

В 1987–1988 гг. в северо-западной части Зырянской впадины специалистами треста «Якутскгеофизика» были проведены работы по геофизическому исследованию. Удалось уточнить северные границы впадины, а также установить наличие зоны надвиговых дислокаций в юго-западной ее части [3]. В результате проведенных исследований определены характеристики выклинивания осадочных слоев на северо-восточном краю впадины и особенности сочленения этих слоев со складчатыми структурами на юго-западном краю (4, рис. 1).

В 1988–1989 гг. электроразведочной партией № 50/1988–1989 на Селенняхской площади были проведены исследования, в результате которых обозначена граница Восточно-Селенняхской впадины, а также подтверждено существование Бадярихинского поднятия и От-Юряхского грабена (5, рис. 1).

В сезоне 1991–1992 гг., на основе работы Приморской электроразведочной партии 50/91-92, была выделена аномальная зона с повышенной проводимостью, расположенная на западном склоне Куларского поднятия. Также установлено наличие кайнозойских структур: Нижнеянского грабена и Усть-Янского поднятия. В восточной части Чодонского грабена выявлена положительная Селенняхская структура с перспективами по добыче нефти и газа (6, рис. 1).

Магниторазведка. Аэромагнитные исследования начали проводиться в 1960-х гг. По материалам этих работ была составлена схема тектонического районирования Колымо-Индибирского междуречья масштаба 1:200000, намечены площади развития интрузивных образований, выявлены зоны глубинных разломов. В 1963–1965 гг. Полярной экспедицией НИИГА проведены мелкомасштабные исследования (1:2500000) акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В 1979–1980 гг. проведены исследования аэромагнитной съемкой масштаба 1:50000 Тастахского прогиба и Хромского

массива. Было установлено блоковое строение фундамента и показаны перспективы впадин в нефтегазоносном отношении. На сегодняшний день все многообещающие рудные участки северо-восточной Якутии были исследованы с помощью аэромагнитной съемки в масштабах 1:50000, 1:25000 и больше. На основе анализа полученных исследований в 1987 г. подготовлена и издана магнитная карта аномального поля континентальной части территории РС (Я) масштаба 1:500000, послужившая основой для континентальной и прибрежной зон.

Таким образом, территории северо-востока Якутии потенциально нефтегазоносные с достаточно высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

Все исследования на нефть и газ в настоящее время сосредоточены на шельфах северных морей России. Выполненный объем сейсморазведочных исследований оценивается в сотни тысяч погонных километров сейсмопрофилей. Поисковый этап работ сдерживается отсутствием глубокого бурения и дискуссией о стратификации сейсмических, отражающих горизонтов. Начатое Роснефтью малоглубинное бурение на шельфах северо-востока дало важную информацию о стратификации верхней части осадочного чехла. Нужно отметить, что представления института о стратификации разрезов шельфов северо-востока не противоречат данным малоглубинного бурения Роснефти на шельфах Северо-Востока [8].

Как видно из приведенного обзора, на северо-востоке Якутии проведен большой объем гравимагнитных исследований различного масштаба. Работы нефтегазовой направленности выполнены в ограниченных объемах. Изучение материалов по Тастахскому прогибу, Зырянской впадине и данных малоглубинного бурения Роснефти показало близость разрезов, и истории геологического развития до позднего мела Приморского прогиба, Зырянской впадины с геологией шельфов морей северо-востока Якутии [8]. Разрезы представлены палеозойско-мезозойским основанием, перекрытым палеоген-четвертичными породами. Основное различие заключается в большой мощности палеоген-четвертичных отложений и присутствием в разрезах шельфа позднемиловых структурно-тектонических комплексов Южно-Анюйской сутуры и палеоген-четвертичных, тектоно-магматических комплексов Арктического плюма [9, 10].

Возможно получение новой информации по Зырянской впадине и Тастахскому

погибу. Так, уточнение результатов и переинтерпретация сейсмических материалов, выполненных в последние годы, свидетельствуют, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона, а не Южно-Анхойская сутура, что радикально меняет представления о перспективах нефтегазоносности прогиба [9]. Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов, сформированных в палеоген-неогене, что не позволяет считать ее первоочередным объектом исследований. Изучение проявлений тектогенеза показало, что основное внимание при поисковых исследованиях следует уделить районам, не вовлеченным в киммерийский и кайнозойский тектогенез. С этой точки зрения первоочередными объектами исследований должны стать приморские впадины, прогибы и примыкающие территории. Изучение продолжается.

Заключение

Как видно из приведенного обзора, на северо-востоке Якутии проведен большой объем гравимагнитных исследований различного масштаба. Работы нефтегазовой направленности выполнены в ограниченных объемах. Все исследования на нефть и газ в настоящее время сосредоточены на шельфах северных морей России. Выполненный объем сейсморазведочных исследований оценивается в десятки тысяч погонных километров сейсмопрофилей. Поисковый этап работ сдерживается отсутствием глубокого бурения. Начатое Роснефтью малоглубинное бурение на шельфах северо-востока дало важную информацию о стратификации верхней части осадочного чехла. Нужно отметить, что представления института о стратификации разрезов шельфов северо-востока не противоречат данным малоглубинного бурения Роснефти. Изучение материалов сейсморазведки и малоглубинного бурения показывает близость разрезов и истории геологического развития Приморской впадины, Зырянского прогиба с геологией шельфов морей северо-востока Якутии. Разрезы представлены палеозойско-мезозойским основанием, перекрытым палеоген-четвертичными породами. Различие заключается в большой мощности палеоген-четвертичных отложений и присутствии в разрезах шельфа магматических комплексов Арктического плюма. Возможно получение новой инфор-

мации по Зырянской впадине и Тастахскому прогибу. Так, уточнение результатов и переинтерпретация сейсмических материалов свидетельствует, что в основании Тастахского прогиба присутствует рифтовая зона.

Зырянская впадина представляет собой сложнопостроенную тектоническую, шовную зону, состоящую из поднятых и опущенных блоков горизонтально-сдвигового и надвигового типов. Изучение проявлений тектогенеза показало, что основное внимание при поисковых исследованиях следует уделить районам киммерийской складчатости, не вовлеченным в кайнозойский тектогенез. С этой точки зрения первоочередными объектами исследований должны стать приморские впадины, прогибы и примыкающие территории. Как ранее отмечалось, назрела необходимость вернуться к продолжению нефтегазопроисковых исследований в Зырянской, Момской, Нижнеянской, Нижнеколымской впадинах и Тастахском прогибе, учитывая возможность проведения глубокого бурения с существенно меньшими затратами, чем на шельфе, и применение, кроме сейсмических и электроразведочных, гравимагнитных, и геохимических исследований.

Обязательным условием продолжения работ является стадийность работ, включающая проведение, на начальном этапе, региональных геолого-геофизических, геохимических исследований, опорного, параметрического бурения. Предварительно необходимо составление программы регионального изучения слабоизученных прибрежных районов северо-востока Якутии с целью выявления районов и структур, перспективных в нефтегазоносном отношении для постановки опорного, параметрического бурения в количестве 3–4 скважин, глубиной 3–5 км.

Для выбора объектов под бурение необходимо проведение региональных сейсмических, геоэлектрических и геохимических исследований в объеме до 5 тыс. пог. км сейсмопрофилей МОГТ-2Д x150, 5 тыс. физ. точек геоэлектрических наблюдений ЗСБ и 5 тыс. геохимических колонковых проб на скважину. Суммарный объем на всю прибрежную зону оценивается до 20 тыс. пог. км сейсмопрофилей и 20 тыс. точек геоэлектрических и геохимических региональных исследований с плотностью сейсмопрофилей 40x40 км. По одной точке ЗСБ и геохимии на километр. Целевыми объектами разреза осадочного чехла могут быть девонские, пермские, меловые отложения.

Для подготовки точки заложения первой скважины может понадобиться от 3 до 5 лет научно-исследовательских, подготовительных и полевых работ.

Институт проблем нефти и газа СО РАН, опираясь на многолетний опыт, готов сопровождать работы на всех этапах, начиная от обоснования, составления проекта до геофизических, буровых работ с интерпретацией полевых материалов, подготовкой окончательного отчета и публикаций.

Список литературы

1. Оболкин А.П., Слепцова М.И. Особенности сейсмогеологических характеристик Анабаро-Оленекской структурной зоны, шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 54–62. DOI: 10.17513/use.38191.
2. Ковалев В.К., Оксман С.С. Отчет о результатах гравиметрической съемки масштаба 1:200000, проведенной на Приморской площади в 1986 г. (Приморская гравиметрическая партия № 39/ 86–89). Якутск: Якутскгеофизика, 1987. 386 с.
3. Ситников В.С., Алексеев Н.Н., Аржаков Н.А., Павлова К.А., Севостьянова Р.Ф., Слепцова М.И. О строении и перспективах нефтегазоносности пришельфовых арктических территорий Восточной Якутии // Наука и образование. 2017. № 4 (88). С. 50–59.
4. Аржаков Н.А., Оболкин А.П., Ситников В.С. Анализ геолого-геофизической изученности потенциально нефтегазоносных районов Северо-Восточной Якутии и прилегающего шельфа Восточно-Арктических морей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12, № 4. С. 11. DOI: 10.17353/2070-5379/39_2017.
5. Ляхов В.А., Ляхова М.Е. Тектоническое строение Момо-Зырянской впадины и сопредельных структур по данным региональных геофизических наблюдений // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов: материалы Всесоюзного совещания по оценке нефтегазоносности территории Якутии (г. Москва). М.: Недра, 1968. С. 195–199.
6. Бургуто А.Г., Дорофеев В.К., Рекант П.В., Шкарубо С.И., Авдюничев В.В., Журавлев В.А., Зуйкова О.Н., Иванова А.М., Иванова В.В., Неупокоева А.А., Пашковская Е.А., Радченко М.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-53 – о. Столбовой, S-54 – Ляховские о-ва. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 300 с.
7. Большианов Д.Ю., Васильев Б.С., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Заварзина Г.А., Зинченко А.Г., Зуйкова О.Н., Кямьяр В.В., Мохов В.В., Нагайцева Н.Н., Нелюбин В.В., Радченко М.С., Саванин В.В., Проскурнин В.Ф., Рекант П.В., Солонина С.Ф., Шкарубо С.И., Шманяк А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-51. Оленекский залив, S-52 – дельта реки Лена. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 274 с.
8. Мальшев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Никишин А.М. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. 2024. № 3. С. 19–30.
9. Метелкин Д.В., Абашев В.В., Верниковский В.А., Михальцов Н.Э. Палеомагнитное обоснование стационарности Исландского плюма и его раннемелового проявления в высокоширотной Арктике // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501, № 2. С. 139–144.
10. Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно-Аннуйской сутуры (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.

СТАТЬЯ

УДК 632.8:630.181(470.54-25)

DOI 10.17513/use.38362

**СОСТОЯНИЕ ДЕРЕВЬЕВ В ПАРКАХ ЕКАТЕРИНБУРГА
В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА****Гордеева И.В.***ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,
Екатеринбург, e-mail: ivgord@mail.ru*

Проведена оценка общего состояния древесных насаждений в парковых зонах Екатеринбурга, активно посещаемых жителями города и расположенных непосредственно вблизи автострад с интенсивным движением и крупных жилых комплексов. Объектами исследования, осуществлявшегося на протяжении 2016–2024 гг., послужили зеленые насаждения в четырех парках г. Екатеринбурга. При оценке состояния насаждений использовалась шкала категорий по характеристике кроны путем сплошного пересчета деревьев видов *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera* L., *Picea obovata* Ledeb., *Picea purgens* Engelm. и *Larix sibirica* Ledeb. с разнесением их по категориям состояния. Помимо этого, у лиственных видов деревьев *Tilia cordata*, *Betula pendula* и *Populus balsamifera* оценивался интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листовых пластин по пяти ключевым промерам. Как показывают исследования, состояние около 30% всех деревьев можно охарактеризовать как неблагоприятное, о чем свидетельствуют как высокие показатели коэффициентов флуктуирующей асимметрии листовых пластин у *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Populus balsamifera*, так и общее состояние кроны. Наименее благоприятное состояние последней было зафиксировано у листвы *Tilia cordata*. Из хвойных насаждений наибольший уровень стресса наблюдался у представителей вида *Picea obovata*, у которых показатели дефолиации кроны в парковой зоне достигали 30–50%, что соответствует сильно ослабленному состоянию и свидетельствует о высоком уровне неблагоприятия деревьев в городских условиях.

Ключевые слова: городские парки, состояние деревьев, крона деревьев, коэффициент флуктуирующей асимметрии, жизненное состояние древостоя

**THE STATUS OF TREES IN YEKATERINBURG PARKS
UNDER CONDITIONS OF INTENSIVE ANTHROPOGENIC PRESSURE****Gordeeva I.V.***Ural State University of Economics, Yekaterinburg, e-mail: ivgord@mail.ru*

The assessment of the general condition of tree plantations in the Yekaterinburg park areas, which are actively visited by residents of the city and located directly near highways with heavy traffic and large residential complexes, was carried out. The objects of the research carried out during 2016-2024 were green spaces in four parks in Yekaterinburg. When assessing the condition of plantings, a scale of categories was used according to the characteristics of the crown by a continuous recalculation of trees of the species *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera* L., *Picea obovata* Ledeb., *Picea purgens* Engelm. and *Larix sibirica* Ledeb. with their separation into categories of condition. In addition, in deciduous tree species *Tilia cordata*, *Betula pendula* and *Populus balsamifera*, the integral index of fluctuating asymmetry of leaf plates was estimated by five key measurements. Studies show that the status of about 30% of all trees can be characterized as unfavorable, as evidenced by both high coefficients of fluctuating asymmetry of leaf plates in *Betula pendula*, *Tilia cordata* and *Populus balsamifera*, and the general condition of the crown. The least favorable condition of the latter was recorded in the foliage of *Tilia cordata*. Of the coniferous plantations, the highest stress level was observed in representatives of the *Picea obovata* species, whose crown defoliation rates in the park area reached 30-50%, which corresponds to a severely weakened condition and indicates a high level of tree distress in urban conditions.

Keywords: urban parks, the condition of trees, the crown of trees, the coefficient of fluctuating asymmetry, the vital state of the tree stand

Введение

Жители современных густонаселенных мегаполисов вынуждены проводить значительную часть своей жизни в относительно дискомфортной и стрессовой среде, вследствие чего в качестве неотъемлемой части городской инфраструктуры планируются парковые зоны, пребывание в которых в свободное время позволяет в некоторой степени снизить уровень интенсивности прессинга, которому неизбежно подвергается человеческий организм в урбанизированных условиях [1].

С 2017 г. в Российской Федерации постепенно реализуется государственный проект по формированию комфортной городской среды, одно из направлений которого подразумевает создание новых зеленых насаждений, а также разработку своевременных мер по защите и восстановлению имеющихся озелененных территорий. Если рассматривать современный городской многофункциональный парк с точки зрения структуры дерева показателей качества, включающей целый ряд компонентов, то среди последних можно выделить сле-

дующие средообразующие (оздоравливающие) показатели: площадь озеленения, площадь водоемов (если они есть), хвойный лес и кустарник, лиственный лес с высокой фитонцидностью (включая видовое разнообразие представителей древесной флоры) [2]. Разумеется, наличие травяного покрова, в том числе в виде искусственных газонных и клумбовых насаждений, также принимается во внимание, однако в данном случае речь идет скорее об эстетической, нежели здоровьесберегающей функции последних.

В то же время необходимо отметить, что ведущий компонент парковой флоры, деревья, нередко находятся в состоянии серьезного физиологического стресса [3], вызванного воздействием целого ряда факторов, таких как повышенная концентрация ионов хлора в почве (нередко обусловленная неконтролируемым использованием хлорсодержащих антигололедных реагентов как по периметру, так и непосредственно внутри парковых зон), загрязнение атмосферы, почвенного слоя и грунтовых вод промышленными и транспортными выбросами; прямое механическое воздействие (так, интенсивный снегопад, прошедший на территории г. Екатеринбурга 04.05.2024 г. спровоцировал массовый облом веток и стволов деревьев с уже распустившимися листьями) (рис. 1) и др. [4]. Все эти факторы в совокупности оказывают негативное воздействие на общее состояние древесных насаждений, что, в свою очередь, снижает не только эстетическую привлекательность парковой зоны с точки зрения посетителей,

но и сказывается на общем уровне оздоравливающих показателей, включая фитонцидную активность [5].

Цель исследования заключалась в оценке общего состояния древесных насаждений в парковых зонах Екатеринбурга, активно посещаемых жителями города и расположенных непосредственно вблизи автострад с интенсивным движением и крупных жилых комплексов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования, осуществлявшегося на протяжении 2016–2024 гг., послужили зеленые насаждения в четырех парках г. Екатеринбурга:

1. Дендрологический парк, расположенный по ул. 8 Марта (расположен в самом центре мегаполиса на правом берегу р. Исеть, площадь составляет 7 га, история создания парка начинается с 1946 г.).

2. Харитоновский сад (самый старый из городских парков, существует с 1826 г. как частная территория при усадьбе Расторгуевых-Харитоновых, площадь непосредственной парковой зоны составляет 7 га).

3. Парк им. Павлика Морозова (его площадь составляет 5,6 га – самая маленькая из обследованных парковых зон, единственный из парков, полностью лишенный водоемов, на территории находится спортивная площадка).

4. Дендрологический парк, расположенный по ул. Первомайской (занимает свыше 9 га, на территории находятся два искусственных водоема, множество клумб и оранжереи).



Рис. 1. Массовое повреждение деревьев в парках г. Екатеринбурга после весеннего снегопада (04.05.2024 г.)

Таблица 1

Соответствие между коэффициентом ФА и качеством среды произрастания лиственных деревьев

Коэффициент ФА	Качество среды	Балл
< 0,040	Условно нормально	I
0,040–0,044	Незначительные (начальные) отклонения от нормы	II
0,045–0,049	Средний уровень отклонений от нормы	III
0,050–0,054	Значительные отклонения от нормы	IV
> 0,054	Критическое состояние	V

В статье представлены обобщенные данные на начало 2024 г., поскольку именно к данному моменту после экстремально жаркого и засушливого летнего сезона 2023 г. и последующей за ним избыточно снежной зимы (что подтверждается данными региональных метеорологических наблюдений) древесные насаждения подверглись максимальному стрессу. В большинстве парков, за исключением последнего, средний возраст древесных насаждений не превышает 40–50 лет, поскольку вырубка старых деревьев сопровождается их регулярной заменой во избежание риска падения стволов на отдыхающих горожан, однако в настоящее время и Дендрологический парк также подвергается реконструкции.

При оценке состояния насаждений использовалась шкала категорий по характеристике кроны путем сплошного пересчета деревьев с разнесением их по категориям состояния. Категории состояния – интегральная оценка состояния деревьев по комплексу визуальных признаков (густоте и цвету кроны, наличию и доле усохших ветвей, состоянию коры и др.), в соответствии с которой выделяется пять основных уровней: I – без признаков ослабления; II – ослабленные; III – сильно ослабленные; IV – старый сухостой; V – аварийные деревья.

Для определения относительного жизненного состояния (ОЖС) древостоя использовалась методика А.В. Алексеева путем расчета показателя L_n ;

$$L_n = (100 N_1 + 70 N_2 + 40 N_3 + 5 N_4) / N,$$

где L_n – относительное жизненное состояние древостоя;

N_1 – число здоровых деревьев;

N_2 – число ослабленных деревьев;

N_3 – число сильно ослабленных деревьев;

N_4 – число отмирающих деревьев

N – общее число обследованных деревьев

При $L = 100–80\%$ – жизненное состояние древостоя на данной территории ха-

рактеризуется как здоровое; 79–50% – ослабленное; 49–20% сильно поврежденное; 19% и ниже – полностью разрушенное [6, 7].

Помимо этого, у лиственных видов деревьев оценивался интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листовых пластин по пяти ключевым промерам согласно стандартной методике (по В.М. Захарову) [8, 9]. В настоящее время в ряде публикаций подвергается сомнению надежность использования коэффициента флуктуирующей асимметрии в качестве биоиндикационного показателя уровня загрязнения атмосферного воздуха, однако признается его надежность как критерия оценки общего уровня стресса, которому подвергаются представители древесной флоры (хотя конкретные причины подобного стресса не всегда очевидны) [10, 11]. В табл. 1 представлены соответствия между значениями коэффициента асимметрии листовых пластин (ФА), качеством среды, в которой произрастают деревья, и баллами оценки общего состояния последних.

Результаты исследования и их обсуждение

Обследования древесной флоры показали, что на территории четырех парков в целом произрастает свыше 40 различных видов деревьев, наиболее распространены среди которых являются следующие: липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.); береза повислая (*Betula pendula* Roth.); тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.); ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.); ель колючая (*Picea purgens* Engelm.); лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.); вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.). Другие виды деревьев, такие как сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), груша уссурийская (*Pyrus ussuriensis* Maxim.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.) и др. были представлены отдельны-

ми экземплярами и встречались на территории не всех парков. Вследствие этого для оценки относительного жизненного состояния (ОЖС) древостоя были выбраны шесть самых часто встречающихся видов деревьев: *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, *Picea obovata*, *Picea purgens* и *Larix sibirica* (табл. 2).

Как показывают представленные данные, состояние древостоя в значительной степени определяется видовой принадлежностью последнего, но в целом наблюдается закономерность: наиболее распространенные как на урбанизированной территории, так и за пределами города лиственные виды деревьев демонстрируют относительно более высокий уровень экологического благополучия (особенно это характерно для эврибионтных популяций *Betula pendula* и *Populus balsamifera*) по сравнению с представителями хвойной флоры. Особенно сложная ситуация фиксируется для видов рода *Picea*, традиционно рассматриваемых как пример узкоспециализированных и чувствительных к антропогенному воздействию, но в то же время пользующихся большой популярностью у городских служб, отвечающих за озеленение урбанизированных территорий, вследствие высокой эстетической привлекательности. Относительное жизненное состояние древостоя ели можно охарактеризовать как ослабленное (для ели колючей) и даже сильно поврежденное (для ели сибирской). В целом можно отметить, что именно последний вид, несмотря на аборигенное происхождение, наиболее уязвим в урбанизированных условиях (рис. 2), что, к сожалению, крайне редко принимается во внимание при выборе мест высадки данных деревьев.

Как уже отмечалось ранее, в качестве одного из критериев экологического благополучия лиственных видов растений можно

рассматривать интегрированный коэффициент флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластин, который оценивался по каждому парку для деревьев, относящихся к трем видам: *Betula pendula*, *Populus balsamifera* и *Tilia cordata*. Данные, представленные в табл. 3, позволяют заключить, что значения данного показателя коррелируют не только (и не столько) с видовой принадлежностью обследованных растений, но и с местоположением конкретного парка, по крайней мере для березы повислой (*B. pendula*), что не наблюдалось в отношении величин ОЖС (табл. 2).



Рис. 2. Крона *Picea obovata*, произрастающей на территории дендрологического парка г. Екатеринбурга

Таблица 2

Выборочные результаты оценки относительного жизненного состояния древостоя на территории обследованных парков

Обследованный парк	Вид деревьев, ОЖС, %					
	<i>Betula pendula</i>	<i>Populus balsamifera</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Larix sibirica</i>	<i>Picea purgens</i>	<i>Picea obovata</i>
Харитоновский сад	82,3	74,2	75,6	74,7	56,8	32,4
Дендрологический парк (ул. 8 Марта)	74,3	72,1	65,4	62,3	58,2	25,3
Дендрологический парк (ул. Первомайская)	81,4	78,9	70,3	79,0	54,2	28,4
Парк им. Павлика Морозова	77,6	75,2	67,8	64,2	53,3	29,6

Таблица 3

Показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) на обследованных территориях

Обследованный парк	Вид деревьев		
	<i>Betula pendula</i>	<i>Populus balsamifera</i>	<i>Tilia cordata</i>
Харитоновский сад			
Интегральный коэффициент ФА	0,049	0,065	0,052
CV, %	20,9	20,1	18,2
Балл	III	V	IV
Дендрологический парк (ул. 8 Марта)			
Интегральный коэффициент ФА	0,067	0,066	0,055
CV, %	20,3	19,7	17,4
Балл	V	V	V
Дендрологический парк (ул. Первомайская)			
Интегральный коэффициент ФА	0,045	0,060	0,047
CV, %	19,0	20,2	17,3
Балл	III	V	III
Парк им. Павлика Морозова			
Интегральный коэффициент ФА	0,052	0,071	0,049
CV, %	18,4	21,0	19,1
Балл	IV	V	III

В то же время значения всех усредненных коэффициентов ФА безотносительно от территории произрастания деревьев демонстрируют экологическое неблагополучие последних – от средних отклонений от нормы до критических значений. К сожалению, вычлнить роль конкретных факторов в формировании подобной картины не представляется возможным, поскольку, как отмечалось ранее, сами значения флуктуирующей асимметрии листовых пластин зависят от слишком большого числа параметров, включая состав почвы, уровень загрязнения атмосферного воздуха, а также температурный режим в период вегетации.

Заключение

Как показывают исследования, проведенные на протяжении 2016–2023 гг. в четырех парках г. Екатеринбурга, расположенных непосредственно вблизи крупных автострад и жилых комплексов, состояние около 30% всех деревьев можно охарактеризовать как неблагополучное, о чем свидетельствуют как высокие показатели коэффициентов флуктуирующей асимметрии листовых пластин у *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Populus balsamifera*, так и общее состояние кроны.

Наименее благополучное состояние последней было зафиксировано у листы *Tilia*

cordata, поскольку последний вид характеризуется высоким уровнем чувствительности к повышенной концентрации ионов хлора в почве, обусловленной интенсивным использованием сольсодержащих антигололедных реагентов в зимний период. В то же время значения коэффициента флуктуирующей асимметрии у листовых пластин деревьев данного вида были достоверно ($P < 0,05$) ниже по сравнению с аналогичными показателями для *Populus balsamifera*, традиционно рассматриваемого в качестве примера растения с высоким уровнем толерантности к антропогенному прессингу.

Из хвойных насаждений наибольший уровень стресса наблюдался у представитель вида *Picea obovata*, у которых показатели дефолиации кроны в парковой зоне достигали 30–50%, что соответствует сильно ослабленному состоянию и свидетельствует о высоком уровне неблагополучия деревьев в городских условиях. Результаты подобных исследований необходимо учитывать при выборе конкретных видов зеленых насаждений для размещения в условиях современных мегаполисов.

Список литературы

1. Торбик Д.Н., Тимофеева А.В., Богданов А.П. Оценка состояния древесной растительности городского парка // Вестник КрасГАУ. 2015. № 4. С. 166–170.

2. Силин Р.В., Касьянов В.Ф. Построение методики оценки качества городского парка в контексте проблемы обеспечения устойчивого развития городских поселений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 57–64.
3. Аносов Е.А. Мониторинг влияния урбанистической экосистемы на жизнедеятельность древесных растений. Проблемы, стоящие перед городом, и их решение // Ученые заметки ТОГУ. 2016. Т. 7, № 4. С. 350–359.
4. Жигалева Я.С., Тихонова М.В. Роль городских лесов в экосистеме мегаполиса // АгроЭкоИнфо. 2023. № 5. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_524.pdf (дата обращения: 16.08.2024). DOI: 10.51419/202135524.
5. Сарбаева Е.В., Воскресенская О.Л., Воскресенский В.С. Оценка устойчивости древесно-кустарниковых растений в урбанизированной среде // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9011> (дата обращения: 20.10.2024).
6. Прохоренко Н.Б., Демина Г.В., Мингазова Д.Н. Оценка жизненного состояния деревьев в урбанизированных условиях Казани // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2 (3). С. 507–512.
7. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние полноты древостоя на состояние сосняков рекреационного назначения // Леса России и хозяйство в них. 2016. № 1 (56). С. 10–16.
8. Лебединский И.А., Мочалова К.Ю. Площадь листовой пластинки как дополнительный критерий оценки выраженности флуктуирующей асимметрии по методике Захарова // Вестник ПГГПУ. Серия: Биологические науки. 2020. № 1. С. 60–65.
9. Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 368. С. 195–199.
10. Мелькумов Г.М., Волков Д.Э. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer platanoides* L.) как тест экологического состояния паркоценозов городской зоны // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 3. С. 95–98.
11. Козлов М.В. Исследования флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3–12.