



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 5 2024



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 5 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 *Кавцевич Н.Н.* (Мурманск); д.т.н., проф. *Калякин С.А.* (Донецк); д.с.-х.н., проф. *Караев М.К.* (Махачкала); д.г.-м.н., проф. *Кашаев А.А.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Кобрунов А.И.* (Ухта); д.г.-м.н., доцент *Копылов И.С.* (Пермь); д.г.-м.н., проф. *Костицын В.И.* (Пермь); д.с.-х.н., проф. *Костылев П.И.* (Зерноград); д.э.н., проф. *Косыкова И.В.* (Самара); д.с.-х.н., *Коцарева Н.Б.* (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. *Шишелова 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

31.05.2024

Дата выхода номера

28.06.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

15,0

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/5

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

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

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent *Abdulvaleev R.R.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Abilkhasimov Kh.B.* (Astana); D.Sc., Prof. *Aidosov A.* (Almaty); D.Sc., Prof. *Alekseev S.V.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Andreev S.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Bayrambekov Sh.B.* (Kamyzyak); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Prof. *Belozеров V.V.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., Prof. *Berson G.Z.* (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Ukhta); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocheboksarsk); D.Sc. *Gorbacheva A.G.* (Pyatigorsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Prof. *Gusev A.I.* (Biysk); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent *Dolgov A.V.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Dolyatovsky V.A.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Egorina A.V.* (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. *Erofeev V.I.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zvolinsky V.P.* (Volgograd); D.Sc., Prof. *Ivashkevich A.N.* (Moscow); D.Sc., Docent *Kavtsevich N.N.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Kalyakin S.A.* (Donetsk); D.Sc., Prof. *Karaev M.K.* (Makhachkala); D.Sc., Prof. *Kashaev A.A.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Kobrunov A.I.* (Ukhta); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostitsyn V.I.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc., Prof. *Kosyakova I.V.* (Samara); D.Sc., *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Docent *Kuzuyakov 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	31.05.2024
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	28.06.2024
Conditionally printed sheets	15,0
Order	YCE 2024/5

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА И КАЧЕСТВО ВОДЫ В АКВАТОРИИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД <i>Анциферова М.А., Сазонов А.Д.</i>	8
ТИПОЛОГИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПСКОВСКОЙ И КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТЕЙ <i>Виноградова О.Л.</i>	14
ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ САНАТОРНО-КУРОРТНЫМИ УСЛУГАМИ ЖИТЕЛЕЙ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА <i>Караганова Н.Г., Казаков Н.А., Еремеева С.С., Мартынкин С.В.</i>	19
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАРОЖДЕНИЯ ЛАВИН НА ВСЕСЕЗОННОМ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ «МАМИСОН» <i>Кондратьева Н.В., Шагин С.И., Калов Р.О., Керефова З.М.</i>	24
ОЦЕНКА ОРИЕНТИРОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ХОЗЯЙСТВА ЮЖНЫХ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА ВНЕШНИЕ РЫНКИ <i>Корниенко О.С.</i>	30
МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Коробов В.Б., Тутыгин А.Г., Лохов А.С.</i>	36
РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ) <i>Маленёв А.И.</i>	44
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ И АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ВЫБРОСОВ СВИНЦА И КАДМИЯ С ТЕРРИТОРИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ) <i>Туфанова О.П., Котова Е.И.</i>	51

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ДЕКЛАСТЕРИЗАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ <i>Вяльцев А.С.</i>	57
--	----

СУКЦЕССИИ И ПЕРВИЧНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ
НА ТЕРРИТОРИИ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ГЛИНЯНЫХ
КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

Мануйлов А.А. 64

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВЯЗИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ
КОМПОЗИЦИИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ И КВАРЦА

Песков А.В., Песков И.А. 74

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА
ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕТАНОЛА В НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

Румянцев И.С., Губайдуллин М.Г. 79

ПРИМЕНЕНИЕ БИОРЕМЕДИАЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ,
И ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Тавадзе Б.Д., Белокурова Е.В. 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

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТЬ
МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Каллаев И.Т., Кухтина А.А., Кухтина П.А., Николаева Н.В. 90

ОБОГАЩЕНИЕ ПРИРОДНЫХ МОНТМОРИЛЛОНИТ СОДЕРЖАЩИХ
ГЛИН ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО НАНОСОРБЕНТА

*Кормош Е.В., Алябьева Т.М., Швецова М.Ж.,
Рябцева Н.Н., Понамарева В.Е., Догаева Л.А.* 98

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ
НЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПОГРЕБЕННЫХ ОВРАГОВ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
И ИХ ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ

Королёв Э.А., Королёв А.Э., Бариева Э.Р., Лившиц С.А. 104

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЯ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ
МИНЕРАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕПРЕССОРОВ

Прохорова Е.О., Смирнов А.Ю., Александрова Т.Н. 110

Физико-математические науки (1.6.22)

СТАТЬЯ

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПЛОТИНЕ
РВЕГУРА С ПОМОЩЬЮ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ

Биханга Бьенвеню 116

CONTENTS

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

MICROPLASTIC DISTRIBUTION PATTERNS AND WATER QUALITY IN THE WATER AREA OF THE TSIMLYANSKOYE RESERVOIR IN THE MODERN PERIOD <i>Antsiferova M.A., Sazonov A.D.</i>	8
TYPOLOGY OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PSKOV AND KALININGRAD REGIONS <i>Vinogradova O.L.</i>	14
PROVISION WITH SANATORIUM AND RESORT SERVICES FOR RESIDENTS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT <i>Karaganova N.G., Kazakov N.A., Ereemeeva S.S., Martynkin S.V.</i>	19
DETERMINATION OF AVALANCHE GENESIS ZONES AT THE ALL-SEASON TOURIST AND RECREATIONAL COMPLEX «MAMISON» <i>Kondrateva N.V., Shagin S.I., Calov R.O., Kerefova Z.M.</i>	24
ASSESSMENT OF THE ORIENTATION OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF THE ECONOMY OF THE SOUTHERN BORDER REGIONS OF THE FAR EAST TO EXTERNAL MARKETS <i>Kornienko O.S.</i>	30
REFERENCE STATES CONSTRUCTION METHODOLOGY FOR COMPLEX OBJECTS CLASSIFICATION <i>Korobov V.B., Tutygin A.G., Lokhov A.S.</i>	36
DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING PARAMETERS (USING THE EXAMPLE OF THE TERRITORIES OF AIRFIELDS OF STATE AVIATION) <i>Malenev A.I.</i>	44
INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF CHANGES AND ATMOSPHERIC TRANSPORT OF LEAD AND CADMIUM EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES (USING THE EXAMPLE OF DEPOSITS IN THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE) <i>Tufanova O.P., Kotova E.I.</i>	51

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

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE OPTIMAL CELL DECLUSTERING FOR MINERAL RESOURCE ESTIMATION <i>Vialtsev A.S.</i>	57
---	----

PLANT SUCCESSION AND LANDSCAPE SOIL FORMATION
ON THE TERRITORY OF POST-TECHNOGENIC CLAY QUARRIES
IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE

Manuilov A.A. 64

NONLINEAR DEPENDENCES IN GAS FILTRATION THROUGH
COMPOSITIONS OF CLAY MINERALS AND QUARTZ

Peskov A.V., Peskov I.A. 74

ANALYSIS OF POSSIBLE GEOECOLOGICAL IMPACT
ON COMPONENTS OF THE TOP GEOLOGICAL ENVIRONMENT
IN THE REALISATION OF THE METANOL PRODUCTION
PROJECT IN THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Rumyantsev I.S., Gubaydullin M.G. 79

APPLICATION OF BIOREMEDIATION IN LABORATORY CONDITIONS
FOR CLEANING SOILS CONTAMINATED WITH PETROLEUM
PRODUCTS AND ITS ECONOMIC EFFECTIVENESS

Tavadze B.D., Belokurova E.V. 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

IMPACT OF ULTRASOUND ON GRINDABILITY
OF COPPER-MOLYBDENUM ORES

Kallaev I.T., Kukhtina A.A., Kukhtina P.A., Nikolaeva N.V. 90

ENRICHMENT OF NATURAL MONTMORILLONITE-CONTAINING
CLAYS FOR THE DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFECTIVE NANOSORBENT

*Kormosh E.V., Alyabeva T.M., Shvetsova M.Zh.,
Ryabtseva N.N., Ponamareva V.E., Dogaeva L.A.* 98

FEATURES OF THE STRUCTURE OF GROUND SEQUENCE
OF NEO-PLEISTOCENE BURIED GULLS IN THE EASTERN PART
OF THE VOLGA UPLANDS AND THEIR SUSCEPTIVENESS
TO LANDSLIDES PROCESSES

Korolev E.A., Korolev A.E., Barieva E.R., Livshits S.A. 104

ASSESSMENT OF SURFACE PROPERTIES OF COAL AND ROCK-
FORMING MINERALS UNDER THE INFLUENCE OF DEPRESSORS

Prokhorova E.O., Smirnov A.Yu., Aleksandrova T.N. 110

Physical and mathematical sciences (1.6.22)

ARTICLE

ANALYSIS OF DEFORMATION PROCESSES ON THE RWEGURA DAM
USING PIEZOMETRIC MEASUREMENTS IN THE REPUBLIC OF BURUNDI

Bikhanga Bienvenu 116

СТАТЬИ

УДК 504.064:504.45
DOI 10.17513/use.38258

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА И КАЧЕСТВО ВОДЫ В АКВАТОРИИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

^{1,3}Анциферова М.А., ^{1,2,3}Сазонов А.Д.

¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: m12antsiferova@mail.ru;

²Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону;

³Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Целью данной работы являлось рассмотрение особенностей распределения частиц микропластика и качества воды в акватории Цимлянского водохранилища, расположенного на реке Дон. Материалами исследования содержания микропластика в воде водохранилища послужили данные Южного научного центра Российской академии наук, собранные в ходе научно-исследовательских экспедиций, проходивших в 2021–2023 гг. Изучение содержания частиц микропластика в воде проводилось по модифицированной методике Национального управления океанических и атмосферных исследований. Изучение пространственно-временной изменчивости качества воды проводилось общепринятым в России методом комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. В ходе исследования было отмечено, что во всех пробах воды были обнаружены частицы микропластика. Их содержание в воде находилось в достаточно широком диапазоне (9–132 шт./м³). Наибольшее содержание было отмечено в нижней части водохранилища вблизи его бьефа. При анализе изменчивости качества воды водохранилища в современный период было установлено, что в современный период уровень ее загрязненности находится в диапазоне от «загрязненной» до «грязной». Результаты проведенных исследований могут быть полезны при планировании и проведении природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: микропластик, загрязнение воды, Цимлянское водохранилище, антропогенное воздействие, акватория

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122011900153-9.

MICROPLASTIC DISTRIBUTION PATTERNS AND WATER QUALITY IN THE WATER AREA OF THE TSIMLYANSKOYE RESERVOIR IN THE MODERN PERIOD

^{1,3}Antsiferova M.A., ^{1,2,3}Sazonov A.D.

¹Southern Scientific Centre of RAS, Rostov-on-Don, e-mail: m12antsiferova@mail.ru

²Hydrochemical Institute of Roshydromet, Rostov-on-Don;

³Southern Federal University, Rostov-on-Don, Rostov-on-Don

The purpose of this work was to consider the distribution of microplastic particles in the water area of the Tsimlyansky reservoir located on the Don River. The data of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, collected during research expeditions in 2021–2023, served as materials for the study of microplastic content in the reservoir water. The study of microplastic particles in water was carried out according to the modified methodology of the National Oceanic and Atmospheric Administration. The study of spatial and temporal variability of water quality was carried out according to the method of complex assessment of the degree of surface water pollution by hydrochemical indicators, which is generally accepted in Russia. During the study it was noted that microplastic particles were detected in all water samples. Their content in water was in a wide enough range (9–132 pcs/m³). The highest content was observed in the lower part of the reservoir in the vicinity of its embankment. When analysing the variability of the reservoir water quality in the modern period, it was found that in the modern period the level of water pollution ranged from «polluted» to «dirty». The results of the conducted research can be useful in planning and carrying out environmental protection measures.

Keywords: microplastics, water pollution, Tsimlyanskoeye water reservoir, anthropogenic impact, water area

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, state registration № 122011900153-9.

В современный период поверхностные воды суши испытывают серьезную антропогенную нагрузку. Последствия такой нагрузки требуют регулярного изучения качественных характеристик воды, что особенно актуально для водохранилищ, так как

они создавались, прежде всего, для обеспечение водохозяйственных нужд.

Цимлянское водохранилище – единственное водохранилище, созданное на реке Дон. Этот искусственный водный объект был введен в эксплуатацию в 1953 году.

Создание водохранилища в значительной степени трансформировало гидролого-гидрохимический режим нижнего течения реки Дон. Площадь Цимлянского водохранилища составляет порядка 2702 км² при полном объеме около 23,8 км³. В настоящее время водохранилище испытывает серьезную антропогенную нагрузку, что в значительной степени ухудшает его экологическое состояние [1, 2].

Целями данной работы являлись изучение распределения микропластика в воде Цимлянского водохранилища, а также оценка качества воды в его акватории в современный период.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования закономерностей распределения микропластика в воде Цимлянского водохранилища послужили данные, собранные в экспедиционном рейсе ЮНЦ РАН на ПТР «Денеб» в сентябре 2023 года. Всего было отобрано 3 пробы в верхней, центральной и нижней части Цимлянского водохранилища, а также 1 проба в его нижнем бьефе, расположенной вблизи ст-цы Романовской. Отбор проб производился с поверхностного горизонта (до 20 см) тралением нейстонной сети LADI, собранной по образцу Манта-трала. Использовалась сеть с размером ячеек 0,30 мм, что обусловило нижнюю границу отобранных частиц микропластика. В связи с тем, что проведение работ приходилось на период активной эвтрофикации водохранилища, пропускная способность используемой сети быстро снижалась из-за повышенного содержания в воде органического материала. Это приводило к потере фильтрационной способности сети, в связи с чем продолжительность траления составляла не более 10 минут. В результате был получен концентрат порядка 200–500 л воды, который хранился до пробоподготовки в стеклянной таре.

Лабораторный анализ проводился по модифицированному методу NOAA, состоящему из нескольких последовательных этапов, конечной целью которых является отделение микропластиковых частиц от прочих взвешенных составляющих, попавших в пробу. [3]. На первом этапе производится фильтрация концентрата через мелкаячеистую сеть (100 мкм) и вываривается при 75°C в перексиде водорода (H₂O₂) с добавлением сульфата железа (FeSO₄). Количество циклов данной обработки про-

порционально содержанию органических веществ. На следующем этапе полученная проба повторно фильтруется. При обнаружении в ней минеральных компонентов проба подвергается плотностному разделению в растворе хлористого цинка (ZnCl₂). Далее проба вновь фильтруется, осадок на фильтре тщательно промывается дистиллированной водой и высушивается. Затем полученный сухой остаток сортируется под оптическим микроскопом для визуального определения частиц микропластика, изучения их морфологических и морфометрических характеристик, а также подсчета количества. В итоге искомое число микропластиковых частиц (количество в штуках) пересчитывалось в их концентрацию в объеме отобранной воды (шт./м³). Завершающим этапом исследования является идентификация состава частиц с применением Фурье-ИК-спектроскопии и рамановской спектроскопии.

Далее по полученным данным о химическом составе основных типов полимеров рассчитывался Индекс опасности (PHI – Polymer Hazard Index) [4, 5] по формуле:

$$PHI = \sum P_n \times S_n,$$

где PHI – общий индекс опасности полимера, где 1 – наименее опасный, 5 – наиболее опасный; P_n – процент конкретных типов обнаруженных полимеров, а S_n – баллы их опасности по классификации [5].

Для проведения более комплексной оценки загрязненности воды Цимлянского водохранилища была также рассмотрена пространственно-временная изменчивость качества воды. Материалами для его оценки послужили режимно-справочные данные Гидрохимического института Росгидромета, в числе которых ГИС «Качество поверхностных вод Российской Федерации» [6].

Результаты исследования и их обсуждение

По итогам экспедиционных исследований в акватории Цимлянского водохранилища и лабораторного анализа отобранного материала микропластик был обнаружен во всех пробах. Его средняя концентрация по всем станциям наблюдений составила 12 шт./м³, в нижней и центральной частях водохранилища – 9 шт./м³, перед Волго-Донским каналом – 19 шт./м³. Содержание микропластика в нижнем бьефе Цимлянского гидроузла составляло 132 шт./м³ (рис. 1).

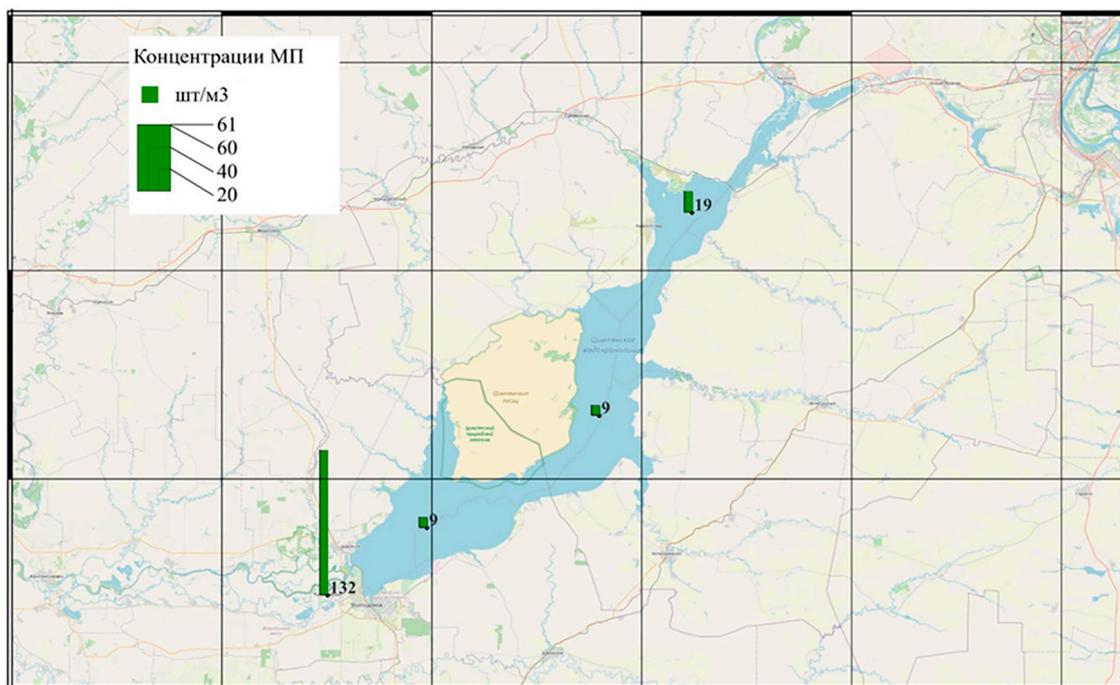


Рис. 1. Количество частиц микропластика на станциях, шт.

Для сравнения: при проведении съемки в Нижнем Дону в ходе аналогичного экспедиционного рейса максимальные концентрации были отмечены на этой же станции, при среднем содержании в реке на несколько порядков выше (94 шт./м³). Вероятно, высокое значение концентрации микропластика в этой точке наблюдений обусловлено сбросом вод с придонного слоя водохранилища. К тому же в условиях активного развития фитопланктона в процессе эвтрофирования происходит ускорение седиментации частиц микропластика в результате их обрастания органическим материалом.

В целом отмечалась закономерность более низкого уровня микропластикового загрязнения в водохранилище, чем в реке Дон, что можно связать, в первую очередь, с большей площадью рассеяния частиц, их осаждением и удаленностью основных источников загрязнения, приуроченных к береговой зоне.

По результатам предыдущих экспедиционных исследований [7, 8], проведенных в 2021–2022 гг. и охватывавших сравнительно большую площадь зеркала водохранилища, отмечалось увеличение количества частиц микропластика с продвижением к береговой линии (61 шт./л при среднем 33 шт./л; 18 шт./л при среднем 10 шт./л). Данная съемка проводилась иным (полнообъемным) ме-

тодом, поэтому сравнение количества частиц производить некорректно, что подтверждается разницей в морфометрических параметрах частиц. Однако отмеченные закономерности в пространственном распределении частиц микропластика являются общими.

При определении морфологических и морфометрических характеристик было отмечено преобладания волокон микропластика – 71%, за которыми следовали фрагменты – 18% (рис. 2б). Частицы имели различный окрас, но в наибольшее их количество было прозрачным (рис. 2а). Размер большинства частиц находился в диапазоне от 0,5 до 2,0 мм (рис. 2в).

Используя несколько методов определения состава, а именно рамановскую и ИК-Фурье-спектроскопии, удалось с высокой достоверностью идентифицировать около 70% частиц. Полиэтилен и полиамид являются преобладающими, в меньшем количестве обнаружены полипропилен и полиэтилентерефталат (рис. 2г и 4). С некоторых образцов не удалось снять спектры основного полимера, но обнаружены примеси, например красители (рис. 3).

Согласно расчетам индекса РНІ, большая часть полимеров относилась ко 2-му классу опасности, в единичном количестве представлены образцы более высоких классов опасности. Данный индекс, на наш

взгляд, должен лечь в основу более комплексных оценок опасности, учитывающих весь ряд характеристик частиц, в первую оче-

редь, потому что пластик химически инертен и его взаимодействие с живыми организмами и окружающей средой более сложное.

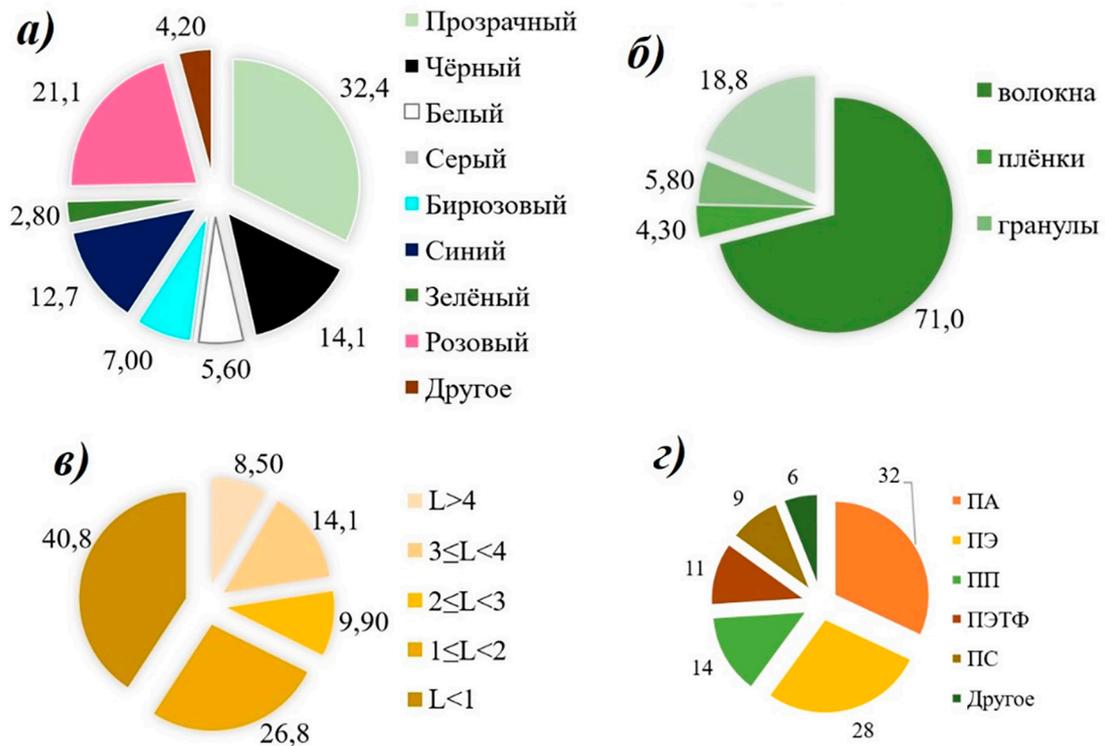


Рис. 2. Некоторые параметры обнаруженных частиц микропластика, %

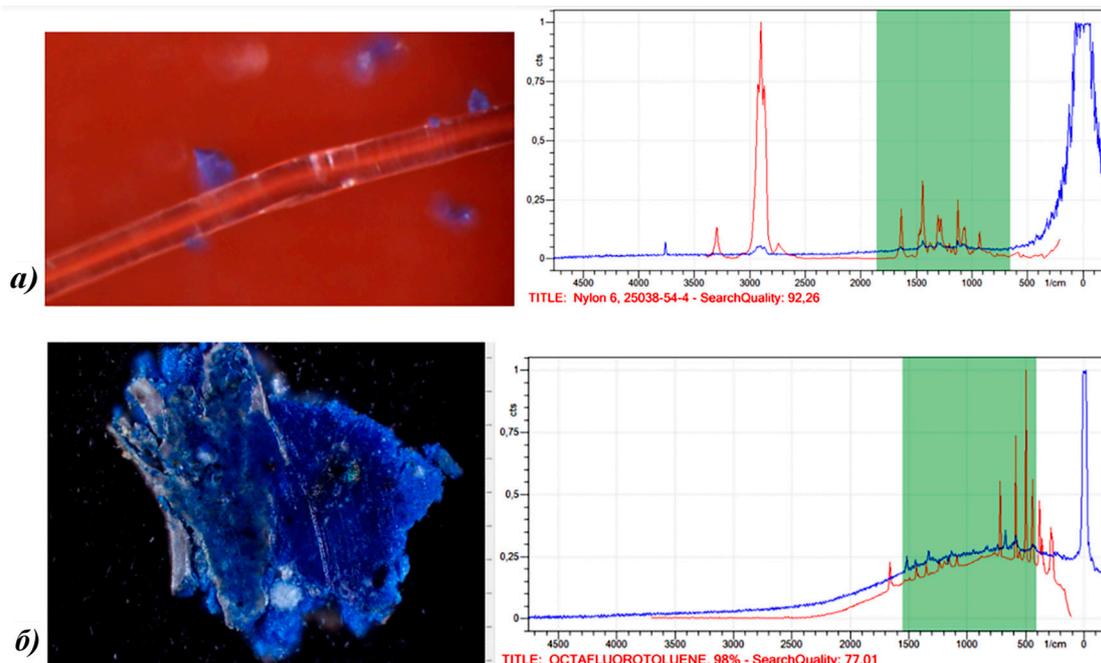


Рис. 3. Рамановские спектры некоторых полимеров и примесей (а – краситель, б – нейлон (полиамид))

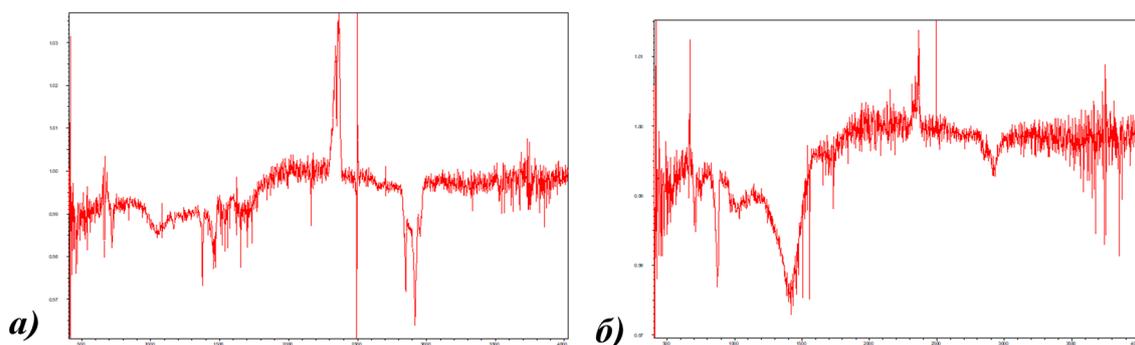


Рис. 4. ИК-спектры основных распространённых полимеров
(а – полипропилен, б – полиэтилен)

Изменчивость качества воды Цимлянского водохранилища

Пункт наблюдений	Период	УКИЗВ	Класс	Степень загрязнения
севернее г. Волгодонск	2000-2004	2,39	3А	Загрязненная
	2005-2009	3,55	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,74	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	2,96	3А	Загрязненная
выше ст-цы Жуковская	2000-2004	2,51	3А	Загрязненная
	2005-2009	3,15	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,60	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	3,16	3Б	Очень загрязненная
ниже х. Красноярский	2000-2004	3,81	3Б	Очень загрязненная
	2005-2009	5,06	4А	Грязная
	2010-2014	4,51	4А	Грязная
	2015-2019	4,04	4А	Грязная
ниже ст-цы Нижний Чир	2000-2004	3,34	3Б	Очень загрязненная
	2005-2009	3,32	3Б	Очень загрязненная
	2010-2014	3,64	3Б	Очень загрязненная
	2015-2019	3,30	3Б	Очень загрязненная
ниже с. Ложки	2000-2004	2,77	3А	Загрязненная
	2005-2009	5,03	4А	Грязная
	2010-2014	4,83	4А	Грязная
	2015-2019	3,86	3Б	Очень загрязненная

При рассмотрении качества воды Цимлянского водохранилища по пятилетним периодам в нескольких пунктах наблюдений было выявлено, что наибольшая степень ее загрязненности отмечалась в точках отбора проб, расположенных ниже хутора Красноярский и ниже села Ложки (таблица).

Диапазон значений удельного комбинаторного индекса загрязненности воды находился в пределах от 2,39 до 5,06. В то же время степень загрязненности воды изменялась от «загрязненной» (класс 3А) до «грязной» (класс 4А). Согласно последним

данным [6], качество воды Цимлянского водохранилища в последние годы сохраняется на уровне 3А – 4А. Какой-либо однозначной закономерности пространственно-временной изменчивости качества воды в Цимлянском водохранилище установить не удалось.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Во всех точках наблюдений в воде Цимлянского водохранилища были обна-

ружены частицы микропластика, что свидетельствует об устойчивом загрязнении воды водохранилища этими техногенными частицами. В условиях водохранилища может в значительной степени увеличиваться скорость седиментации (осаждения) частиц микропластика.

Качество воды Цимлянского водохранилища в период 2000–2019 гг. находилось на уровне от «загрязненной» до «грязной».

Список литературы

1. Лобченко Е.Е., Минина Л.И., Ничипорова И.П., Первышева О.А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 6. С. 74–92.
2. Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути решения / отв. ред. Г.Г. Матишов, Н.И. Голубева, О.В. Степаньян. Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2011. 215 с.
3. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2018. Т. 58, № 1. С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
4. Lithner D., Larsson Å., Dave G. Environmental and health hazard ranking, and assessment of plastic polymers based on chemical composition // Science of The Total Environment. 2011. Vol. 409(18). P. 3309–3324. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038.
5. Xu P., Peng G., Su L., Gao Y., Gao L., Li D. (Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China // Marine Pollution Bulletin. 2018. Vol. 133. P. 647–654. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.020.
6. ГИС: Качество поверхностных вод Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://gidrohim.com/node/61> (дата обращения: 14.04.2024).
7. Анциферова М.А. Мониторинг загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2023. Т. 1, № 8. С. 70–73. DOI: 10.23885/2500-395X-2023-1-8-70-73.
8. Анциферова М.А. Анализ загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища. Особенности идентификации частиц методом Рамановской спектроскопии // Экология 2023 – море и человек: сборник трудов XII Всероссийской научной конференции и молодежной школы-семинара (г. Таганрог, 21–23 сентября 2023 г.). Ростов н/Д; Таганрог: ЮФУ, 2023. С. 219–227.

УДК 504.062:913(470.25+470.26)
DOI 10.17513/use.38259

ТИПОЛОГИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПСКОВСКОЙ И КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Виноградова О.Л.

*ФГБУН «Музей-заповедник «Музей Мирового океана», Калининград,
e-mail: OLVinogr69@mail.ru*

В статье рассматриваются подходы к типологии систем природопользования Псковской и Калининградской областей. Проведен сопряженный анализ состояния видов и изменения условий природопользования за период с 1939–1940 по 2020–2022 гг. и определены основные факторы и закономерности динамики масштабов и структуры природопользования регионов. Природные условия и ресурсы относительно стабильны и являются рамочным фактором динамики природопользования регионов. Основные причины смены направления развития природопользования регионов – изменения внешней и внутренней политической и социально-экономической ситуации: Великая Отечественная война, меры по восстановлению экономики СССР, экономический застой середины 1970-х гг., крах Советского Союза, взаимные санкции со странами ЕС и меры по развитию экономики России. Качественное изменение систем природопользования исследуемых регионов обусловлено принятием экологических приоритетов хозяйствования, сохранения природных ландшафтов и обеспечения экологического баланса территории. На основе оценки роли функциональных видов природопользования разработана типология районов на исторические срезы. За последние 80–85 лет в исследуемых регионах произошли следующие изменения в структуре природопользования: диверсификация видов использования природно-ресурсного потенциала административных районов, произошла общая экологизация природопользования.

Ключевые слова: хроноряды, системы природопользования, Псковская и Калининградская области, типология районов

TYOLOGY OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PSKOV AND KALININGRAD REGIONS

Vinogradova O.L.

Museum of the World Ocean, Kaliningrad, e-mail: OLVinogr69@mail.ru

The article discusses approaches to the typology of environmental management systems in the Pskov and Kaliningrad regions. A conjugate analysis of the state of species and changes in environmental management conditions for the period from 1939–1940 to 2020–2022 was carried out. and the main factors and patterns of dynamics of the scale and structure of environmental management in the regions are determined. Natural conditions and resources are relatively stable and are a framework factor for the dynamics of regional environmental management. The main reasons for the change in the direction of development of environmental management in the regions are changes in the external and internal political and socio-economic situation: the Great Patriotic War, measures to restore the economy of the USSR, economic stagnation in the mid-1970s, the collapse of the Soviet Union, mutual sanctions with EU countries and measures to develop the Russian economy. The qualitative change in the environmental management systems of the studied regions is due to the adoption of environmental management priorities, the preservation of natural landscapes and ensuring the ecological balance of the territory. Based on an assessment of the role of functional types of environmental management, a typology of districts has been developed for historical sections. Over the past 80-85 years, the following changes in the structure of environmental management have occurred in the regions under study: diversification of the types of use of the natural resource potential of administrative districts, and a general greening of environmental management has occurred.

Keywords: time series, environmental management systems, Pskov and Kaliningrad regions, typology of districts

На современном этапе перед научным сообществом стоит задача гармонизации экономических, социальных и экологических интересов общества и государства. Для этого необходимо перейти к уверенному и рациональному управлению природопользованием.

Вопросы управления природными, природно-антропогенными системами рассматриваются в работах Е.И. Игониной и Р.Р. Шагидуллиной, Э.А. Лихачевой и С.В. Шварева, В.В. Денисова и Г.Д.Титовой и др. [1–3]. Ключевым этапом в разработке программ развития регионов является анализ закономерностей развития и функционирования

систем природопользования природопользование [4; 5, с. 296–316; 6].

В статье изложены результаты анализа динамики систем природопользования Псковской и Калининградской областей в период с 1939–1940 по 2020–2022 гг. Цель исследования – разработка подходов к типологии закономерностей динамики систем природопользования на примере Псковской и Калининградской областей.

Материалы и методы исследования

Псковская и Калининградская области входят в состав Северо-Запада России, граничат со странами – членами ЕС и НАТО.

Оба региона прошли за исследуемый период через общие исторические политические и экономические события. В Калининградской области в 1946 г. (ранее – часть Восточной Пруссии) произошла смена этноса, переход к плановой экономике, в настоящее время область представляет собой эксклав.

Обе области находятся в Нечерноземной зоне России. Климат Калининградской области и почвенные условия более благоприятны для земледелия, в обоих регионах основная проблема – переувлажнение почв, существенные площади занимают болотные комплексы. Регионы находятся в лесной зоне, лесистость Псковской области выше, чем Калининградской. Полезные ископаемые представлены торфом, песком, гравием, глиной, в Калининградской области разрабатываются месторождения янтаря, поваренной соли, ведется добыча нефти. В Калининградской области выше природный рекреационный потенциал в силу приморского положения.

В Калининградской области наблюдается небольшой естественный прирост населения и положительное сальдо миграции, в Псковской области сложилась наиболее сложная из всех регионов Северо-Запада России демографическая ситуация [7].

Для установления закономерностей природопользования Псковской и Калининградской областей применялись следующие методы:

– метод хронорядов: сопряженный анализ состояния видов природопользования и политических событий, экономической ситуации внутри регионов, на национальном и международном уровне, что позволило выявить этапы и основные факторы динамики систем природопользования,

обосновать исторические срезы анализа систем природопользования;

– метод статистического моделирования: анализ изменения площади районов, занятой тем или иным видом хозяйственного использования территории;

– типология районов отражает роль различных видов природопользования в каждый из исторических периодов: основные виды занимают более 15% площади района, дополняющие – менее 15% для сельского, лесного, природоохранного, оборонного видов, более и менее 5% соответственно для селитебного и транспортного видов.

Выбор исторических срезов обусловлен необходимостью характеризовать состояние систем природопользования модельных регионов на переломных этапах их развития. Первый исторический срез 1939–1940-х гг. демонстрирует состояние природопользования на подъеме экономики. Второй исторический срез отражает результаты послевоенного восстановления и подъема экономики вплоть до 1975–1980 гг. Третий срез (2020–2022 гг.) показывает состояние природопользования как результат восстановления после глубокого экономического кризиса 1990-х гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные направления и факторы динамики природопользования Псковской и Калининградской областей

Оба региона относились на 1939–1940 гг. к аграрным (таблица). В Восточной Пруссии к 1939 г. осушалось более 90% всей территории – не только поля, но и лесопосадки, поселки, был сформирован массив польдерных земель [8].

Виды хозяйственного использования территории Калининградской и Псковской областей, площадь землепользования в % к общей площади области

Область	Исторический срез, годы	Функциональные виды природопользования				
		Обрабатываемые сельхозугодья	Вырубки и плантации	Поселения, транспортная инфраструктура	ООПТ	Земли обороны
Псковская	1940	45,0	более 5	около 1,2	–	около 1
	1975	32,4	менее 5	около 1	1,0	2,2
	2020–2022	5,8	2,9	0,63	1,6	1,9
Калининградская	1939	76,0	более 5	около 5	около 3	менее 1
	1980	57,6	около 4	около 4	7,1	8,8
	2020–2022	28	0,7	более 4	15,7	7,8

В Восточной Пруссии был один центр – Кенигсберг, в Псковской области существовало два крупных города – Псков и Великие Луки. В системе сельского расселения обоих регионов обнаруживается некоторое сходство: наличие большого количества хуторов в Печерском и Палкинском районах Псковщины (в тот период принадлежавших Латвии и Эстонии) и фольварков на территории Восточной Пруссии. Объясняется это природными факторами – поселения распространены в зонах с наиболее удобными для земледелия землями, вдоль рек, вдоль железных дорог, а также этническими особенностями населения – в западных районах традиционно проживали латыши, эстонцы, селу, которые селились в фольварках [9, с. 317–337].

Лесное хозяйство было одним из основных видов природопользования в 1939–1940 гг. в обоих регионах. В Псковской области промышленные рубки были сосредоточены в юго-западных и юго-восточных районах, а также в Псковском районе, лесовосстановление было незначительным. В Восточной Пруссии вырубки осуществлялись по большей части на плантациях, которые располагались в районах Голдап и Шлосберг. Посадка леса, кроме того, проводилась в районе Фишхаузен (Зеленоградский район) для закрепления подвижных песков на косах и в приустьевой зоне Преголи.

Транспортная инфраструктура Восточной Пруссии включала в предвоенный период разветвленную сеть автомобильных дорог, ширококолейных и узкоколейных железнодорожных веток. Еще в 1930-е гг. в Псковской области были разобраны рокадные узкоколейки, построенные в годы Первой мировой войны. Добыча строительных материалов ограничивалась небольшими карьерами, велась разработка торфяных месторождений для ТЭЦ, в Восточной Пруссии добывался янтарь.

В Восточной Пруссии существовали заповедные зоны (Роминтенская пуца, лесничество Гренц), в Псковской области на тот момент охраняемых территорий не было. В обеих областях небольшую площадь занимали военные полигоны.

С 1970-х гг. началось строительство многоэтажных домов в Калининграде, приморских городах, в Пскове, Великих Луках. В 1960–1970-е гг. в Нечерноземной зоне РСФСР была проведена «реконструкция» села, что привело к стремительному уменьшению числа малых сельских населенных пунктов. В Псковской области в 1960-е гг.

появились охраняемые природные территории, выросла их площадь в Калининградской области.

Увеличение площади сельскохозяйственных угодий продолжалось в Псковской области вплоть до 1975 г., в Калининградской – до 1980 г., где проводилось восстановление мелиоративной сети, пришедшей в упадок [10]. В Калининградской области сокращена промышленная вырубка лесов, после 1980 г. – производятся только санитарные рубки, появились новые ООПТ.

В 1990-е гг. из-за глубокого спада экономики были заброшены огромные массивы сельскохозяйственных земель: в Псковской области они сократились к началу 2000-х гг. в 2 раза, в Калининградской – в 4 раза [11]. В Калининградской области частично разобраны железнодорожные ветки. В то же время происходил довольно быстрый рост Калининграда и приморских городов и поселков, коттеджных поселков, в меньшей степени это касалось Псковской области. В конце 1990-х – начале 2000-х гг. уменьшилось количество военных городков, заброшены некоторые полигоны.

Последние 10–15 лет площадь обрабатываемых сельскохозяйственных угодий продолжает снижаться, в Калининградской области – постепенно расширяется с 2010–2011 гг., хотя еще не достигла уровня 1980 г.

В Псковской области продолжается процесс запустения малых деревень из-за сложной демографической ситуации, в Калининградской области население растет в городах и поселках Калининградской агломерации и приморской зоны.

Типология систем природопользования регионов

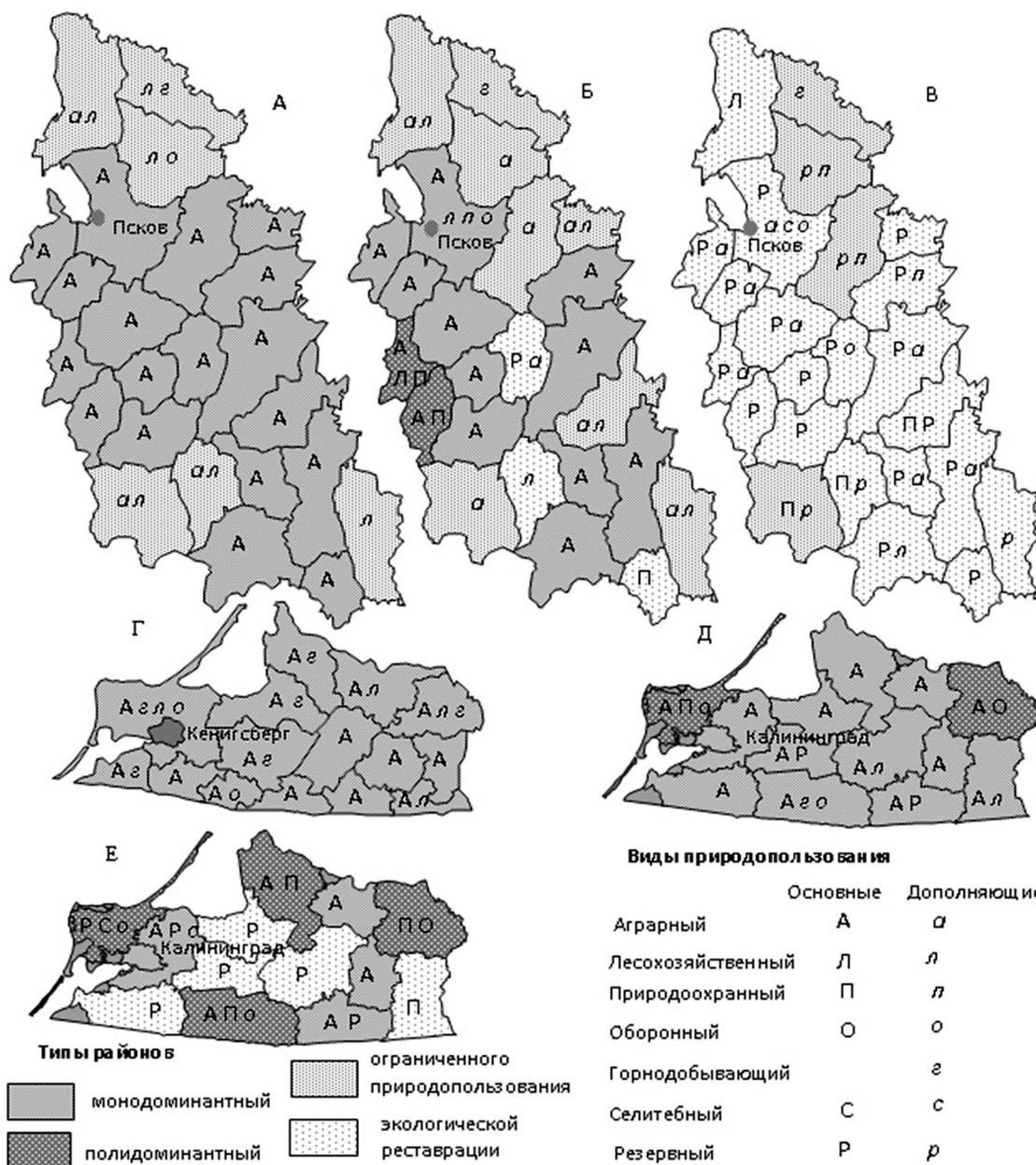
На основе оценки роли основных и дополняющих видов природопользования выделены следующие типы районов Псковской и Калининградской областей:

– *монодоминантный* – с преобладанием одного основного вида;

– *полидоминантный* – с двумя и более основными видами;

– *ограниченного природопользования* – районы, где ни один вид не является основным, но может быть несколько дополнительных видов, большую часть площади района занимают природные ландшафты;

– *тип районов экологической реставрации* – районы, где основным видом является природоохранное природопользование и резервные земли (залежи, земли заброшенных поселений и т.д.).



Типы природопользования районов Псковской: А – 1940 г., Б – 1975 г., В – 2020–2022 гг.; Калининградской областей: Г – 1939 г., Д – 1980 г., Е – 2020–2022 гг.

В 1939–1940 гг. почти все районы Псковской и Калининградской областей имели монодоминантную аграрную систему природопользования (рисунок). В северных (Плюсский, Гдовский, Стругокрасненский), юго-восточных и юго-западных районах (Куньинский, Пустошкинский, Себежский) районах Псковской области сформировались системы ограниченного природопользования с дополняющими аграрным, лесохозяйственным, горнодобывающим и оборонным видами.

В 1975–1980 гг. ситуация несколько изменилась:

– В Псковской области большинство районов оставались монодоминантными аграрными, появились районы с ограниченным типом природопользования с аграрным дополнительным видом – в тех же северных и юго-западных, северо-западных районах, а также в Порховском, Локнянском и Дновском. Как дополнительный появился еще природоохранный вид (в Псковском районе). В Красногородском и Пыталовском

районах сформировались полидоминантные системы природопользования с аграрным и природоохраным основными видами, в трех – системы экологической реставрации с высокой долей резервных земель и охраняемых природных территорий (Новоржевский, Пустошкинский, Усвятский).

– В Калининградской области продолжают преобладать монодоминантные аграрные системы природопользования (11 из 13 районов области) с дополнительными лесохозяйственным, горнодобывающим, оборонным видами. Появляются два полидоминантных района: Зеленоградский с аграрным и природоохраным основными видами, Краснознаменский с аграрным и оборонным.

К настоящему времени системы природопользования стали еще более многообразными:

– В Псковской области преобладают районы экологической реставрации: 21 район из 26; в Плюсском, Порховском, Себежском, Стругокрасненском районах сложились системы ограниченного природопользования с аграрным, горнодобывающим, природоохраным дополняющими видами, в Пустошкинском районе природоохраный вид является основным.

– В Калининградской области в 4 из 13 районов остаются аграрными монодоминантными (Зеленоградский, Краснознаменский, Правдинский, Славский), в 4 сложились полидоминантные системы с природоохраным и селитебным, аграрным или оборонным основными видами (Гурьевский, Неманский, Гусевский, Озерский); пять районов с системой экологической реставрации, где преобладают залежи и земли охраняемых природных территорий.

Заключение

Анализ изменения структуры природопользования Калининградской и Псковской областей за последние 80–85 лет показал, что произошло общее сжатие ареалов используемых сельскохозяйственных угодий, уменьшение протяженности местных дорог и количества мелких населенных пунктов. В результате образовался обширный массив залежей и заброшенных деревень, который является резервом для повторного освоения.

За весь период в 80 лет произошел умеренный рост площади Пскова и Великих Лук, более значительное расширение площади Калининградской агломерации, городов и поселков приморской зоны. Площадь малых городов обеих регионов практически не изменилась.

– В Калининградской области прекращена лесозаготовка, основное направление – лесовосстановление, в Псковской области роль лесохозяйственного природопользования снизилась, вырубki перенесены из северных в южные районы.

– Земли оборонного назначения были расширены в середине 1950-х гг., в 1990-е гг. произошло сокращение военных полигонов, городков и т.д.

– В 1970-х и 1990-х гг. новые природоохраные объекты, их общая площадь выросла.

Таким образом, за 80–85 лет произошла диверсификация (усложнение), дивергенция (увеличение разнообразия) систем природопользования районов даже одной области, общая экологизация природопользования.

Список литературы

1. Денисов В.В., Титова Г.Д. Рациональное морское природопользование как комплексная проблема географии океана // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84, № 4. С. 588–597. DOI: 10.31857/S2587556620040056.
2. Игонин Е.И., Шагидуллин Р.Р. О необходимости реформирования системы и структуры управления природопользованием и охраной окружающей среды // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4 (24). С. 64–72. DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10035.
3. Лихачева Э.А., Шварев С.В. Модели управления антропогенным морфолитогенезом // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: XXXVII пленума Геоморфологической комиссии РАН. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2023. С. 190–193.
4. Бакланов П.Я. Геополитические факторы в региональном развитии // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2020. № 4 (93). С. 75–83. DOI: 10.24866/1815-0683/2020-4/75-83.
5. Клюев Н.Н. Современные тенденции природопользования в российских регионах (экологический аспект) // Вопросы географии. № 141. Проблемы регионального развития, России / Отв. ред. В.М. Котляков, В.Н. Стрелецкий, О.Б. Глезер, С.Г. Сафонов. М.: ИД Кодекс, 2016. 640 с.
6. Романова Е.А., Виноградова О.Л., Фризина И.В. Эффект сжатия социально-экономического пространства в условиях приграничья (на примере СЗФО) // Балтийский регион. Экономика-географические аспекты развития регионов СЗФО. 2015. Вып. № 3 (25). С. 38–61. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-3.
7. Федоров Г.М., Кузнецова Т.Ю. Население и расселение Калининградской области на начало 2023 года // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2023. № 2. С. 18–30. DOI: 10.5922/gikbfu-2023-2-2.
8. Maly rocznik statystyczny Polski Wrzesien 1939 – czerwiec 1941. Ministerstwo informacji i dokumentacji, London. 1941. 160 p.
9. Манаков А.Г. Депопуляционные процессы в Псковской области на фоне поляризованного населения Северо-Запада России // Вопросы географии. Сб. 141: Проблемы регионального развития России / Отв. ред. В.М. Котляков, В.Н. Стрелецкий, О.Б. Глезер, С.Г. Сафонов. М.: ИД Кодекс, 2016. 640 с.
10. Народное хозяйство РСФСР в 1975 г. Статистический ежегодник. М.: Статистика, 1976. 510 с.
11. База данных муниципальных образований. [Электронный ресурс]. URL: www.gks.ru/dbscripts/munst/ (дата обращения: 25.03.2024).

УДК 911.9
DOI 10.17513/use.38260

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ САНАТОРНО-КУРОРТНЫМИ УСЛУГАМИ ЖИТЕЛЕЙ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Караганова Н.Г., Казаков Н.А., Еремеева С.С., Мартынкин С.В.

*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: amazonka1@rambler.ru, kzkv75@mail.ru,
Eremeeva_Svetlana1978@mail.ru, aquarius777@rambler.ru*

Цель работы заключается в оценке обеспеченности санаторно-курортными услугами жителей Приволжского федерального округа, который отличается высокой урбанизированностью, промышленным развитием и входит в «тройку» федеральных округов Российской Федерации по показателям заболеваемости населения, количеству и качеству различных природных лечебных ресурсов. Выделены три группы показателей обеспеченности населения санаторно-курортными услугами (показатели санаторно-курортных предприятий и их услуг; показатели заболеваемости и фактической востребованности населением предоставляемых услуг; показатели обеспеченности населения санаторно-курортными услугами, в том числе с применением авторского показателя – потенциальной нагрузки на санитарно-курортные предприятия). При помощи находящегося в открытом доступе статистических материалов проанализирована динамика показателей в период с 2008 по 2022 г. Вычисленный показатель потенциальной нагрузки на санаторно-курортные предприятия субъекта по классам болезней, преобладающих в округе и требующих санаторно-курортного лечения, показал, что наиболее эффективно санаторно-курортные услуги предоставляются в Республике Башкортостан, наименее эффективно – в Республике Мордовия, Пензенской и Нижегородской областях. К субъектам, где выявлена существенная необходимость предоставления таких услуг в связи с высокой заболеваемостью, относятся Удмуртская Республика, Республика Марий Эл, Пермский край, а наиболее высокая обеспеченность больного населения местами в санаторно-курортных учреждениях отмечена в Республиках Марий Эл, Удмуртия, Чувашия. Определены причины возможной невостребованности санаторно-курортных услуг в округе и даны рекомендации по их решению (совершенствование системы оказания санаторно-курортных услуг, финансирование санаторно-курортных учреждений).

Ключевые слова: санаторно-курортные услуги, санаторно-курортные учреждения, Приволжский федеральный округ

PROVISION WITH SANATORIUM AND RESORT SERVICES FOR RESIDENTS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT

Karaganova N.G., Kazakov N.A., Eremeeva S.S., Martynkin S.V.

*Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary,
e-mail: amazonka1@rambler.ru, kzkv75@mail.ru,
Eremeeva_Svetlana1978@mail.ru, aquarius777@rambler.ru*

The goal of the work is to ensure the provision of sanatorium and resort services to the population of the Volga Federal District, which is highly urbanized, industrially developed and is one of the “three” federal districts of the Russian Federation in terms of population morbidity, quantity and quality of various indicators of medical resources. Three groups of indicators of the provision of the population with sanatorium-resort services are identified (indicators of sanatorium-resort enterprises and their services; indicators of morbidity and actual demand by the population for the services provided; indicators of the provision of the population with sanatorium-resort services, including using the author’s indicator – the potential load on sanitary -resort enterprises). Using publicly available statistical materials, the dynamics of indicators in the period 2008–2022 was analyzed. The calculated indicator of the potential load on the sanitary-resort enterprises of the subject according to the classes of diseases prevailing in the district and requiring sanatorium-resort treatment showed that sanatorium-resort services are provided most effectively in the Republic of Bashkortostan, the least effective is in the Republic of Mordovia, Penza and Nizhny Novgorod regions. The subjects where a significant need for the provision of such services due to high morbidity has been identified include the Udmurt Republic, the Republic of Mari El, the Perm Territory, and the highest provision of sick population with places in sanatorium-resort institutions was noted in the Republics of Mari El, Udmurtia, Chuvashia. The reasons for the possible lack of demand for sanatorium and resort services in the district are identified and recommendations for solving them are given (improving the system for providing sanatorium and resort services, financing sanatorium and resort institutions).

Keywords: health resort services, health resort institutions, Volga Federal District

На современном этапе приоритетным направлением государственной политики является сохранение здоровья и повышение качества жизни жителей России. Возможность комплексного восстановления здоровья и профилактики различных заболева-

ний посредством получения лечебно-оздоровительных услуг в санаторно-курортных предприятиях может значительно снизить нагрузку на амбулаторно-поликлинические и больничные учреждения, а с учетом специфики курортно-рекреационного потенциа-

ла и демографических характеристик каждого субъекта в отдельности обуславливает высокую значимость санаторно-курортной отрасли и в региональном аспекте.

Одним из важнейших путей эффективного достижения целей по созданию условий, обеспечивающих комплексность подхода к повышению доступности и качества санаторно-курортных услуг, особенно в промышленно развитом и высокоурбанизированном Приволжском федеральном округе (далее – ПФО), является выявление состояния, особенностей деятельности и повышения качества услуг санаторно-курортных предприятий конкретного региона.

Материалы и методы исследования

В настоящее время в российском законодательстве не существует таких определений, как «санаторно-курортная организация», «санаторно-курортная деятельность», «комплекс санаторно-курортных услуг». Понятие «санаторно-курортное учреждение» (далее – СКУ) встречается в Постановлении Правительства РФ от 16.04.2012 № 291 «О лицензировании медицинской деятельности...» [1], а в ряде исследований присутствует понятие «санаторно-курортное предприятие» (далее – СКП) [2–4]. В экономической системе государства предприятия санаторно-курортной сферы – это предприятия, предоставляющие клиентам как минимум три вида услуг: размещение, питание и оздоровительные услуги. К ним, прежде всего, относят такие учреждения, как санатории и пансионаты. Предприятия санаторно-курортной сферы относятся к сфере услуг и, в частности, к области профилактической медицины. Следовательно, нужно четко осознавать особенность санаторно-курортных услуг как товара.

Санаторно-курортные услуги, направленные на лечение, оздоровление и профилактику заболеваний населения и сопровождающиеся организацией отдыха, классифицируются по различным признакам (способу, длительности, специализации, приоритетности предоставления). В настоящее время в Российской Федерации и в Приволжском федеральном округе санаторно-курортные услуги предоставляют следующие виды санаторно-курортных учреждений: санатории; санатории для детей, в том числе для детей с родителями; санатории-профилактории; санаторные оздоровительные лагеря круглогодичного действия; бальнеологические лечебницы; грязелечебницы; курортные поликлиники.

Исходные данные для анализа обеспеченности санаторно-курортными услугами жителей округа взяты с сайтов Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [5], ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации [6], Государственного реестра курортного фонда Российской Федерации [7].

Научное исследование особенностей обеспеченности населения санаторно-курортными услугами предполагает использование определенных показателей, которые позволяют определить основные тенденции в ее формировании, выявить территориальные пропорции и возможные территориальные диспропорции.

Показатели, характеризующие обеспеченность населения санаторно-курортными услугами, в том числе территориальные различия, можно разделить на три категории показателей. К первой категории относятся показатели санаторно-курортных предприятий и их услуг (численность и структура по типам; профилю лечения; возрастному контингенту; по номерному и коечному фондам), ко второй – показатели заболеваемости (структура заболеваемости) и фактической востребованности населением предоставляемых услуг (численность размещенных лиц в санаторно-курортных организациях в динамике, то есть фактическая емкость рынка санаторно-курортных предприятий), к третьей – обеспеченность населения санаторно-курортными услугами, рассмотренная через показатель койко-оборачиваемости ($K_{об}$) (чел./койко-место), потенциальной емкости (пропускной способности) санаторно-курортных предприятий ($E_{потенц}$) (чел.) [8], и предложенный авторский показатель «потенциальная нагрузка на санитарно-курортные предприятия» субъектов (H) (безразмерный коэффициент), выраженный формулой

$$H = N_{бз} / E_{потенц},$$

где $N_{бз}$ – число больных и заболевших за год по заявленным профилям лечения в санаторно-курортных предприятиях.

Следует отметить, что показатель потенциальной нагрузки относится к разряду относительных и определяет максимальную возможность санаторно-курортных предприятий принять потенциальных клиентов из расчета, что все заболевшие в субъекте по профилю, лечение которого производится в санаторно-курортной сфере, захотят вос-

пользоваться предоставляемой услугой. Соответственно, безразмерные коэффициенты имеют следующие градации: $H < 1$ – избыток возможностей; $H = 1$ – достаточность имеющихся возможностей; $H > 1$ – недостаток.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в округе насчитывается 371 санаторно-курортная организация. Начиная с 2010 г. и вплоть до 2015 г. на территории округа наблюдалось незначительное снижение количества санаториев для взрослых. Количество же детских санаториев стабильно уменьшалось с 2005 г. Однако с 2016 г. прослеживается незначительный рост и стабилизация показателя числа санаторно-курортных организаций обоих типов (к сожалению, значительно уменьшилось число санаториев-профилакториев в связи с закрытием предприятий, которым они были подведомственны). На 2020 г. наибольшее число санаториев в ПФО (как для взрослых, так и для детей) размещалось в Республике Башкортостан, составляя соответственно 16,1 и 20,6% от общего числа данных учреждений в округе.

Показателями функционирования санаторно-курортных предприятий являются количество и динамика койко-мест, номерного фонда. Лидерство по количеству койко-мест и номерному фонду, как и по предыдущему показателю, сохраняет Республика Башкортостан. Темпы снижения количества койко-мест с 2008 по 2022 г. в ПФО составили свыше 13%, а номерного фонда – свыше 24%. С 2008 г. из 14 регионов, составляющих ПФО, только в четырех (Республика Татарстан, Нижегородская, Саратовская и Ульяновская области) выросло число номеров и койко-мест в санаторно-курортных учреждениях.

В 2022 г. в Приволжском федеральном округе среди санаторно-курортных предприятий преобладали санатории для взрослых (совместно с санаториями-профилакториями доля этих двух типов учреждений составила почти 60%). По признаку возрастной специализации в округе преобладают смешанные учреждения, которые принимают на лечение все категории отдыхающих: взрослых, детей, детей с родителями. Однако в приоритете лечение и оздоровление взрослого населения, лишь 21,8% всех койко-мест в округе приходится на специализированные санатории для детей.

Больше половины санаторно-курортных предприятий в ПФО по типу курорта отно-

сятся к курортам лесной зоны умеренных широт, но значительна доля предприятий, не относящихся к климатическим курортам и находящихся либо в городской черте, либо в пригородной зоне. Санаторно-курортные предприятия осуществляют услуги лечения свыше 14 основных и сопутствующих заболеваний, ключевыми из которых являются шесть: заболевания нервной системы; органов дыхания; системы кровообращения; эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; органов пищеварения; костно-мышечной системы и соединительной ткани.

В 2022 г., как и за последние десять лет, Приволжский федеральный округ в России занимает второе место по числу человек, воспользовавшихся услугами санаторно-курортных предприятий, уступая по этому показателю только Южному федеральному округу (и это несмотря на то, что количество обращений с 2008 г. уменьшилось на 17,3%). В период с 2008 по 2022 г. только в трех регионах округа: Республике Татарстан, Пермском крае и Саратовской области – выросло число рекреантов. В 2022 г. в SKU Республики Башкортостан отдохнуло свыше 20% всех размещенных лиц в санаторно-курортных организациях округа. Республика заняла седьмое место по стране и первое место в Приволжском федеральном округе по числу гостей в санаториях на тысячу жителей (60%) [9].

Возможности использования санаторно-курортного лечения для борьбы с заболеваемостью в Приволжском федеральном округе определяются показателем потенциальной нагрузки на санаторно-курортные предприятия субъектов, что и покажет в конечном итоге обеспеченность населения санаторно-курортными услугами. При расчете данного показателя авторами были выбраны статистические данные 2018 г., которые отражают некоторое «постоянство» обеспеченности такими услугами в период до пандемии COVID-19, которая стала серьезным дестабилизирующим фактором в динамике уровня и классов заболеваемости.

В 2018 г. уровень заболеваемости всего населения ПФО составлял свыше 84 тыс. чел. на 100 тыс. чел. населения, в том числе по заболеваниям, требующим санаторно-курортного лечения, почти 81 тыс. чел. на 100 тыс. чел. населения. Самыми распространенными заболеваниями, требующими лечебно-оздоровительных услуг, в среде всего населения округа являются заболевания дыхательной системы, последствия

травм и отравлений, болезни мочеполовой системы, кожи и подкожной клетчатки, системы кровообращения. В территориальном аспекте в 2018 г. наибольшая заболеваемость по самым распространенным болезням, требующим санаторно-курортного лечения, отмечена в Удмуртской Республике, Нижегородской области и Пермском крае (71,8; 69,9; 68,8 тыс. чел. на 100 тыс. жителей). В этих же субъектах самый высокий уровень заболевания органов дыхательной системы (45; 49,3; 46, 4 тыс. человек на 100 тыс. жителей).

Потенциальная обеспеченность больного населения, требующего санаторно-курортного лечения, местами в санаторно-курортных учреждениях в ПФО составила в среднем по округу 10,8 с самыми негативными показателями в Республике Мордовия (17,8), Пензенской (17,4) и Нижегородской областях (16,9).

Показатель потенциальной нагрузки отражает не просто нехватку, а крайнюю недостаточность обеспеченности местами по классу «Болезни органов дыхания» при учете первенства этого заболевания в ПФО. Особенно критичные показатели наблюдаются в Нижегородской области (9,29) и Республике Мордовия (8,48).

Показатели обеспеченности местами по классу болезней «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» в санаторно-курортных учреждениях ПФО отличаются достаточностью, а в Республиках Марий Эл (0,99), Чувашия (0,93) и Самарской области (0,95) даже некоторой избыточностью.

Намного лучше складывается ситуация с обеспеченностью местами в санаторно-курортных учреждениях по классам «Болезни мочеполовой системы», «Болезни кожи и подкожной клетчатки», «Болезни органов пищеварения», «Болезни органов кровообращения». В этих четырех группах потенциальная нагрузка изменяется от 0,21 до 1,48 и указывает на достаточные возможности учреждений участвовать в лечении, оздоровлении и реабилитации болеющего населения.

Анализ обеспеченности лечебно-оздоровительными услугами показал, что потенциальная нагрузка на данные учреждения чрезвычайно высока только по профилю заболеваемости органов дыхания. Избыточность мест по другим профилям позволяет предположить активный выезд жителей региона на лечение и отдых за пределы региона, а возможную не востребованность

санаторно-курортных услуг ПФО связать со следующими причинами:

1. Из-за высокой себестоимости санаторно-курортных услуг (расходы на коммунальную сферу, персонал, оборудование, питание и т.д.) существенно повышаются цены на санаторно-курортное лечение. Средняя цена койко-места в санаторно-курортных учреждениях ПФО составляет около 2000 руб. в день.

2. Снижается количество или становится труднодоступным процессом получение социальных путевок, что приводит к проблемам содержания и развития муниципальных и ведомственных учреждений.

3. Изношенная материально-техническая база (в некоторых случаях до 85% зданий), крайняя ветхость или отсутствие систем водоснабжения, водоотведения, очистки воды, непригодность резервуаров для хранения или регенерации лечебных грязей, устаревшее медицинское оборудование, некомплектованность медицинским и обслуживающим персоналом, низкий уровень освоения природных лечебных ресурсов, ненадлежащего качества питания, особенно небольших SKU, не позволяет конкурировать с более мощными, привлекательными и профинансированными санаторно-курортными предприятиями других рекреационных регионов.

4. Незрелость досугового и экскурсионного обслуживания во многих субъектах ПФО как дополнительного фактора к лечебно-оздоровительным услугам и необходимой интеграции лечения, оздоровления и туризма.

5. Направленность многих предприятий на оздоровление, а не лечение (сокращение время цикла лечения, внедрение спатехнологий, отсутствие диетпитания, платность исследовательских и лабораторных процедур) существенно уменьшают эффект от санаторно-курортного лечения, заставляя действительно нуждающихся в нем искать предприятия, направленные в первую очередь на лечебную составляющую.

6. Ориентированность многих SKU только на местный спрос и отсутствие рекламно-маркетинговой стратегии не подталкивает предприятия становиться по-настоящему конкурентоспособными и клиентоориентированными [10, 11].

Заключение

При комплексном анализе всех показателей можно сделать вывод, что наиболее эффективно санаторно-курортные услуги

предоставляются в Республике Башкортостан. В то же время к субъектам, где выявлена существенная необходимость предоставления подобных услуг в связи с высокой заболеваемостью, относятся Удмуртская Республика, Республика Марий Эл и Пермский край, а наиболее высокая обеспеченность больного населения, требующего санаторно-курортного лечения, местами в санаторно-курортных учреждениях в Республиках Марий Эл, Удмуртия, Чувашия. К основным проблемам и приоритетам обеспеченности санаторно-курортными услугами жителей ПФО следует отнести:

1. В шести субъектах ПФО (республиках Мордовия, Удмуртия, Марий Эл, Пензенской, Нижегородской областях и Пермском крае) следует совершенствовать систему оказания санаторно-курортных услуг и обеспеченности ими субъектов.

2. Во всех субъектах – финансирование санаторно-курортных учреждений с сохранением статуса, последующим комплексным восстановлением и полноценным влиянием в экономику региона.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 01.06.2021 № 852 (ред. от 16.02.2022 № 181, от 20.03.2024 № 334) «О лицензировании медицинской деятельности (за исключением указанной деятельности, осуществляемой медицинскими организациями и другими организациями, входящими в частную систему здравоохранения, на территории инновационного центра “Сколково”) и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/134716> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Мингазина Е.Р., Оборин М.С. Развитие санаторно-курортных услуг как составляющей социально-экономического потенциала Пермского края // Современная экономика: проблемы и решения. 2013. № 2 (38). С. 59–68.
3. Молдажанов М.Б., Пуричи В.В. Состояние и роль санаторно-курортной системы российско-казахского Алтая в оздоровлении населения // Экономика. Профессия. Бизнес. 2018. № 2. С. 75–82.
4. Прохорова О.В., Краснова О.Н. Управление предпринимательством на предприятиях санаторно-курортного типа // Сервис PLUS. Т. 9, 2015. № 2. С. 45–51.
5. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 29.02.2024).
6. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://mednet.ru/napravleniya/medicinskaya-statistika> (дата обращения: 12.02.2024).
7. Государственный реестр курортного фонда Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://kurort.minzdrav.gov.ru> (дата обращения: 29.01.2024).
8. Оборин М.С., Фролова Н.В. Подходы к определению спроса и потенциальной емкости на региональном рынке санаторно-курортных услуг // Вестник ЗабГУ. 2015. № 11 (126). С. 113–124.
9. Андреева А. Башкирия заняла седьмое место в стране по числу гостей в санаториях. [Электронный ресурс]. URL: <https://ufa.rbc.ru/ufa/06/03/2023/6405c9d19a7947605571a6ba> (дата обращения: 26.02.2024).
10. Илий М.М. Санаторно-курортные организации России: статус и особенности хозяйственной деятельности в современных условиях // Современные технологии управления. 2016. № 11 (71). 7103. URL: <https://sovman.ru/article/7103> (дата обращения: 28.02.2024).
11. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 26.11.2018 г. № 2581-р «Стратегия развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/34828> (дата обращения: 09.04.2024).

УДК 551.578.48

DOI 10.17513/use.38261

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАРОЖДЕНИЯ ЛАВИН НА ВСЕСЕЗОННОМ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ «МАМИСОН»

¹Кондратьева Н.В., ²Шагин С.И., ¹Калов Р.О., ¹Керефова З.М.

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик,
e-mail: zknyaz-kbsy@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
имени Х.М. Бербекова», Нальчик

Мамисонское ущелье в Северной Осетии расположилось на самом юге республики. Сегодня в Мамисоне при активной поддержке руководства республики создается круглогодичный горнолыжный всероссийский туристско-рекреационный комплекс (ВТРК «Мамисон»). Площадь ВТРК «Мамисон» составляет более 7000 га, высота меняется от 1800 до 3000 м над уровнем моря. Территория является зоной повышенного риска из-за лавинно-селевых процессов. Работа посвящена выявлению лавинных очагов на территории расположения ВТРК «Мамисон» на основе проведенных авторами полевых исследований, анализа архивных и опубликованных материалов по району исследования, дешифрирования космических снимков высокого разрешения из сервиса SASPlanet. Обнаружено большое число участков с формами рельефа, указывающими на движение лавин и их рельефообразующую деятельность: обломочные конусы, гряды обломочного материала, лавинные бугры, ямы выбивания в виде углублений, вытянутых вдоль склона. Повторяемость схода лавин данного района составляет от 0,1 до 1 лавины в год. Выявлено, что на территории курорта «Мамисон» преобладает основной рельеф лавиносборов, он составляет 56% от общего числа, лотковый – 44%. Высота зарождения лавин (лавиновый очаг) меняется от 3672 до 2117 м. Запланированы этапы освоения территории ВТРК «Мамисон» по концепции «Корректировка проекта планировки территории, проекта межевания территории, разработка плана обустройства и соответствующего материально-технического оснащения, разработка интерактивной информационной 3D-модели особой экономической зоны туристско-рекреационного типа в границах муниципального образования Алагирский район Республики Северная Осетия – Алания (ВТРК «Мамисон») и прилегающей к ней территории. Том 1. Концепция проекта планировки», разработанной ГАУ «Институт генплана Москвы» в 2022 г. Построены карты зон зарождения лавин.

Ключевые слова: лавины, лавиносбор, лавинные очаги, космоснимок, карта, морфометрия

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ. Соглашение № 23-17-20001.

DETERMINATION OF AVALANCHE GENESIS ZONES AT THE ALL-SEASON TOURIST AND RECREATIONAL COMPLEX «MAMISON»

¹Kondrateva N.V., ²Shagin S.I., ¹Calov R.O., ¹Kerefova Z.M.

¹High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: zknyaz-kbsy@mail.ru;

²Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik

The Mamison gorge in North Ossetia is located in the very south of the Republic. Today, in Mamison, with the active support of the leadership of the republic, a year-round ski all-Russian tourist and recreational complex (VTRC "Mamison") is being created. The area of the Mamison VTRC is more than 7000 hectares, the altitude varies from 1800 to 3000 m above sea level. The territory is a high-risk zone due to avalanche and mudflow processes. The work is devoted to identifying avalanche sources in the territory of the Mamison VTRC based on field research conducted by the authors, analysis of archival and published materials in the study area, and interpretation of high-resolution satellite images from the SASPlanet service. A large number of areas with relief forms were discovered that indicate the movement of avalanches and their relief-forming activity: debris cones, ridges of debris material, avalanche mounds, knockout pits in the form of depressions stretched along the slope. The frequency of avalanches in this area ranges from 0.1 to 1 avalanche per year. It was revealed that on the territory of the Mamison resort the main relief of avalanche collections predominates, it makes up 56% of the total, and flume – 44%. The height of avalanche origin (avalanche source) varies from 3672 m to 2117 m. The stages of development of the territory of the Mamison VTRC are determined according to the Development Concept and shown on the map.

Keywords: avalanches, avalanche collection, avalanche sources, satellite imagery, map, morphometry

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation. Agreement No. 23-17-20001.

В соответствии с Федеральной целевой программой по развитию курортов Северного Кавказа Правительство РФ заявило о намерении в течение ближайших лет построить на территории региона пять

современных горнолыжных курортов европейского класса. Строительство комплексов уже ведется, в том числе в Алагирском районе Республики Северная Осетия – Алания, в ущелье р. Мамихдон (Всесезонный ту-

ристско-рекреационный комплекс (ВТРК «Мамисон»).

Комплекс расположился на высоте почти 3 км и объединяет два туристических поселка Зруг и Козиком. Основные направления туристического использования: в зимнее время – горнолыжный курорт, в летнее – экологический, горный туризм, познавательный туризм на основе многочисленных объектов культурного наследия. Таким образом, на рассматриваемой территории необходимо создать все условия для безопасного отдыха людей.

В ходе полевых обследований территории ВТРК «Мамисон» был использован квадрокоптер DJI Mavic Air 2S Fly More Combo. Это позволило создать 3D-модели лавинных очагов. В сочетании с космическими снимками полученные данные позволили определить более точные границы зон зарождения. Задействованные ГИС-технологии (ArcGis 10.8.2), включающие компьютерное совмещение разновременных космических и фотоснимков, карты местности высокого разрешения дали возможность определить зоны транзита лавин.

Цель работы состоит в определении зон зарождения лавин на территории ВТРК «Мамисон». На территории курорта в значительной степени развиты различные опасные экзогенные процессы, в том числе лавины, которые могут угрожать отдыхаю-

щим. Это объясняет актуальность проблемы определения лавинной опасности рассматриваемой территории [1–3].

Материалы и методы исследования

Архивные материалы свидетельствуют о наличии лавинной опасности на территории ВТРК «Мамисон» [4, 5].

Авторами было проведено полевое обследование территории ВТРК «Мамисон». Результаты маршрутных наблюдений в долинах р. Козыдон и Земегондон (истоки р. Мамихдон), Мамихдон подтвердили наличие лавинной деятельности. Имеется большое количество участков с формами рельефа, свидетельствующими о движении лавин и их рельефообразующей деятельности, это обломочные конусы, гряды обломочного материала, лавинные бугры, ямы выбивания в виде углублений, вытянутых вдоль склона. Повторяемость схода лавин данного района составляет от 0,1 до 1 лавины в год [6, 7]. Все эти признаки являются свидетельством лавинопроявлений. На рис. 1, в качестве примера, представлены лавинные очаги территории ВТРК «Мамисон» в долине р. Мамихдон. Красной линией выделены зоны зарождения лавин (лавинные очаги), стрелкой показано направление схода лавин. По характеру движения лавин на рис. 1 представлены лотковые и осовные.

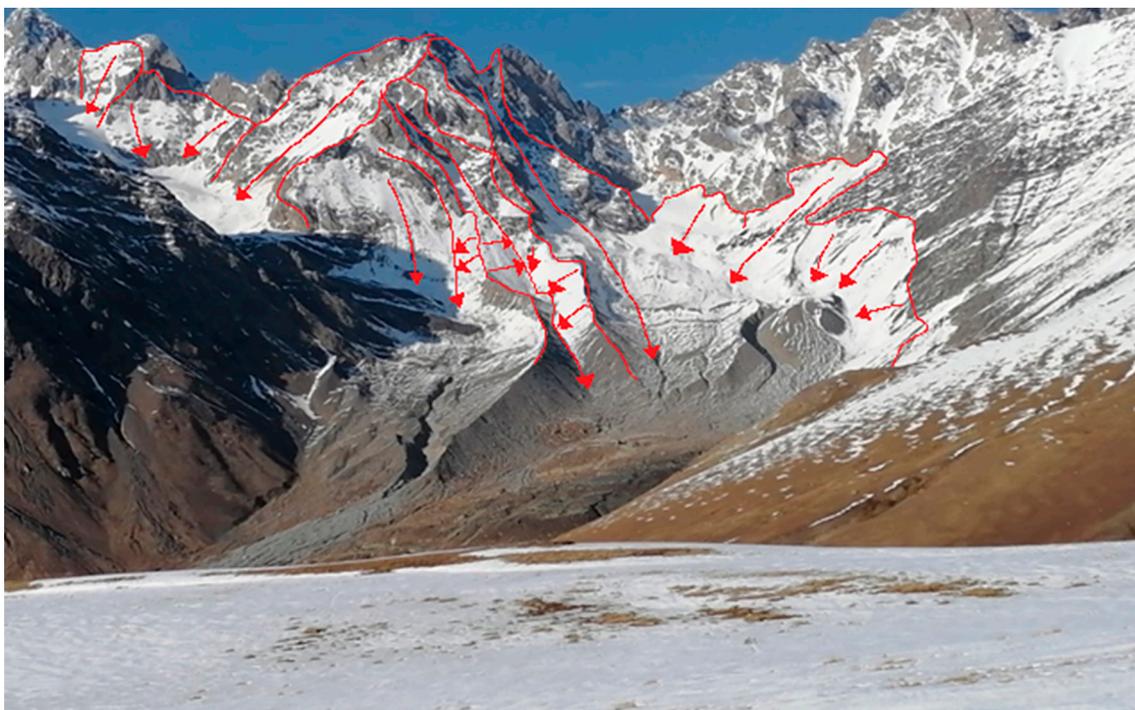


Рис. 1. Лавинные очаги территории ВТРК «Мамисон» в долине р. Мамихдон

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение лавинных очагов по территории ВТРК «Мамисон».

По результатам маршрутного обследования и анализа топографических карт и в соответствии с рекомендациями СП 428.1325800.2018 построена карта средних уклонов поверхности территории исследования (рис. 2).

На рисунке цветовой индикацией выделены уклоны рельефа в четырех градациях:

– темно-зеленые участки от 0° до 20° , на которых зарождение лавин невозможно. А в случае расположения их под склонами, на которых возможно образование лавин, это участки, на которых располагаются зоны отложения лавин;

– светло-зеленый – от 20° до 25° – склоны, на которых вероятность образования лавин крайне низка;

– оранжевый – от 25° до 60° – склоны, где образуются лавины;

– красный – более 60° – склоны, на которых снег не удерживается.

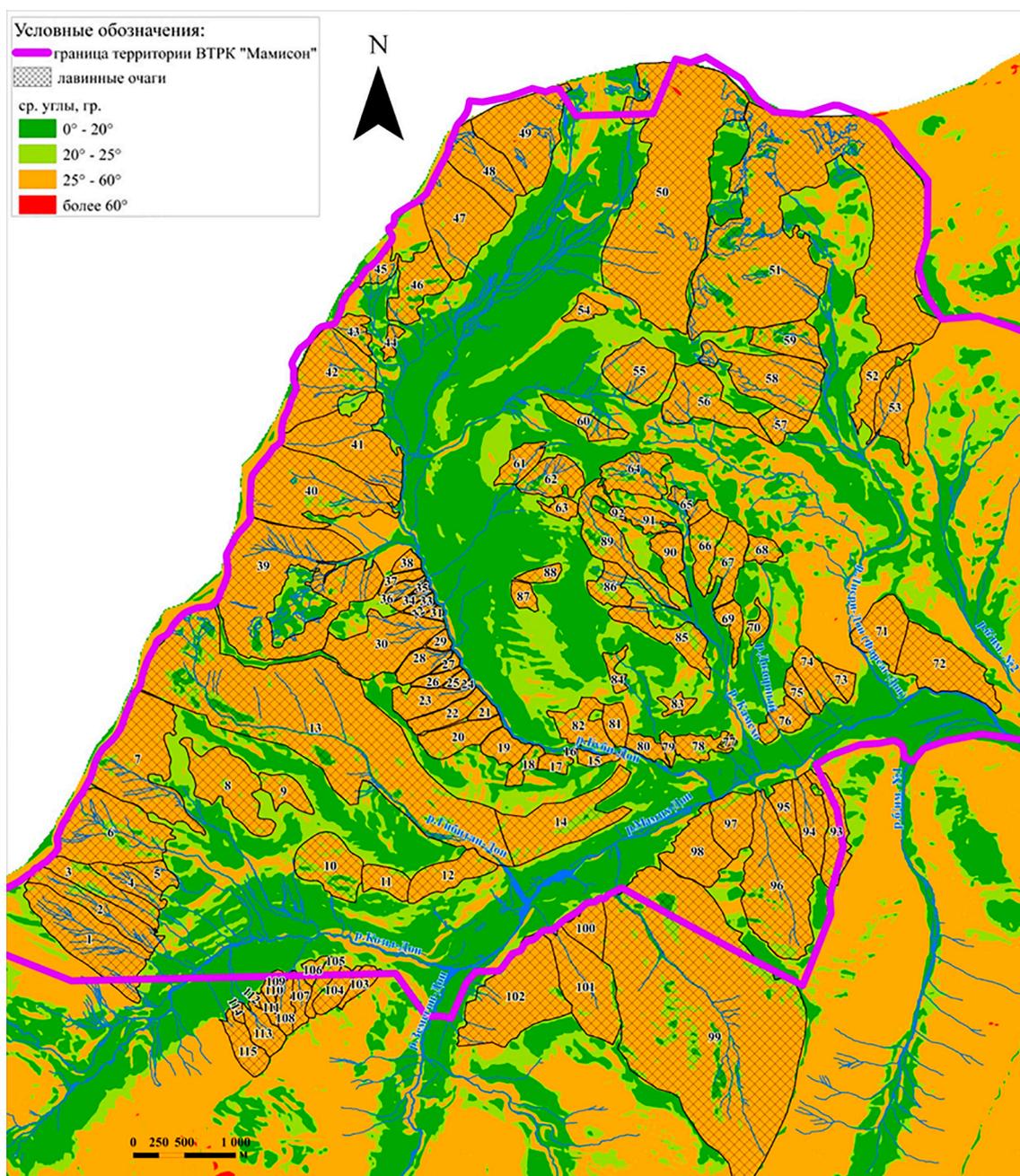


Рис. 2. Карта-схема уклонов поверхности территории исследования ВТРК «Мамисон»

Таким образом, в качестве вероятных зон зарождения лавин рассматривались все участки крутизной от 25° до 60°, которые входят в границы лавиносборов. На территории ВТРК «Мамисон» выделено 117 лавинных очагов (оранжевые, заштрихованные участки на рис. 2). Нумерация лавинных очагов авторская. На рисунке также показаны границы территории ВТРК (фиолетовая линия).

Как видно из рис. 2, наибольшее количество лавинных очагов сосредоточено по

правому борту р. Баби-Дон, где в среднем на 1 км приходится 3 очага.

На рис. 3 показаны зоны зарождения лавин на территории ВТРК «Мамисон» на космоснимке.

Так же определены типы лавин и морфометрические характеристики лавинных очагов: угол наклона зоны зарождения и транзита, площадь лавинного очага в горизонтальной проекции, высота отрыва лавины. Фрагмент полученных данных приведен в таблице.

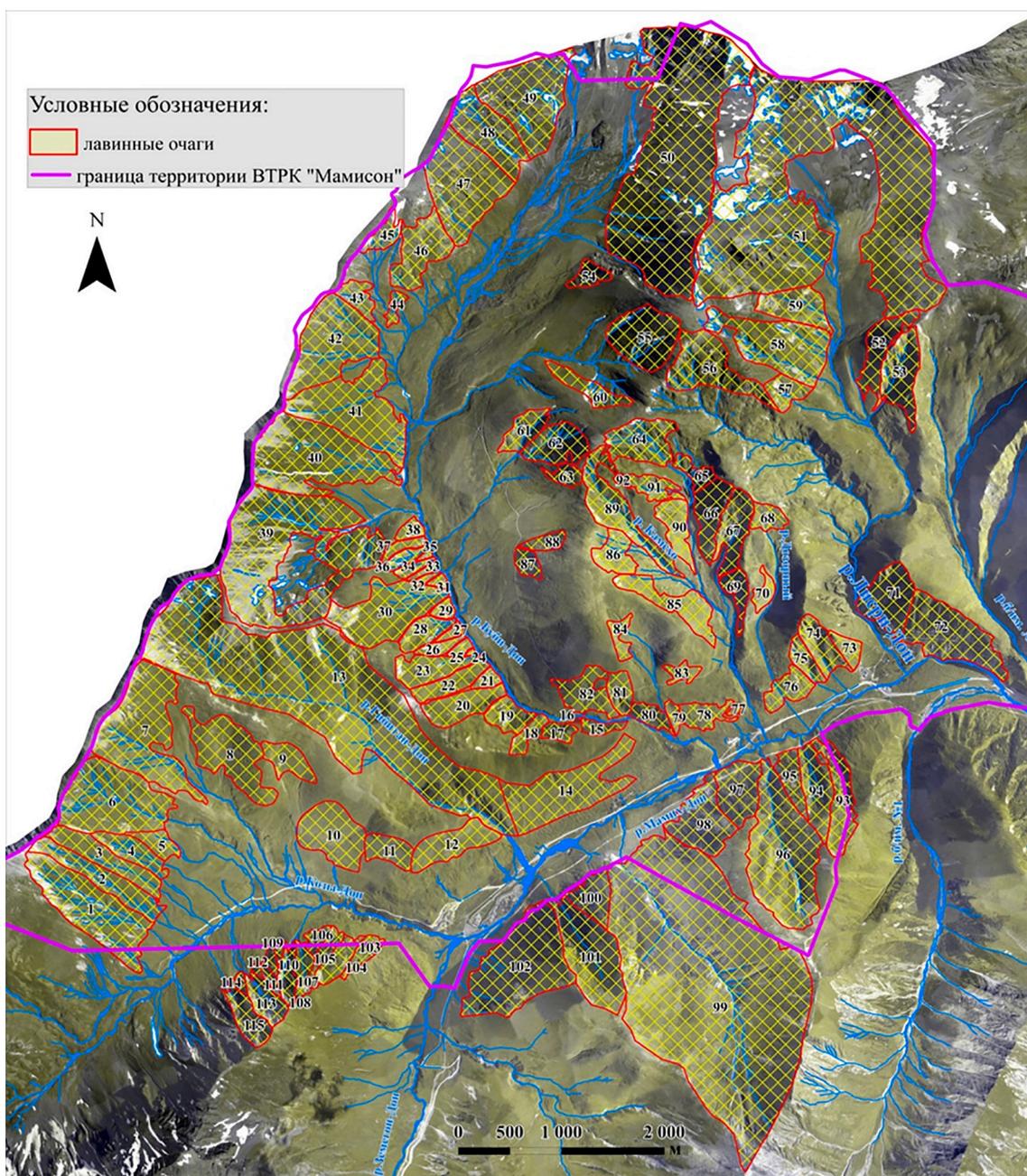


Рис. 3. Зоны зарождения лавин на территории ВТРК «Мамисон» на космоснимке

Морфометрические характеристики лавинных очагов на территории ВТРК «Мамисон»

№ п/п	№ Лавинный очаг	Тип лавин	Угол наклона зоны зарож. и транзита, град.	F, площадь лавинного очага в горизонтальной проекции, м ²	H _{отрыва} , м
1	ЛО № 1	лотковая	28	494040	3164
2	ЛО № 2	лотковая	27	230883	3154
3	ЛО № 3	лотковая	27	1980369	3133
.....			
115	ЛО № 113	лотковая	35	95809	2782
116	ЛО № 114	осовная	37	14774	2533
117	ЛО № 115	лотковая	37	106777	2797

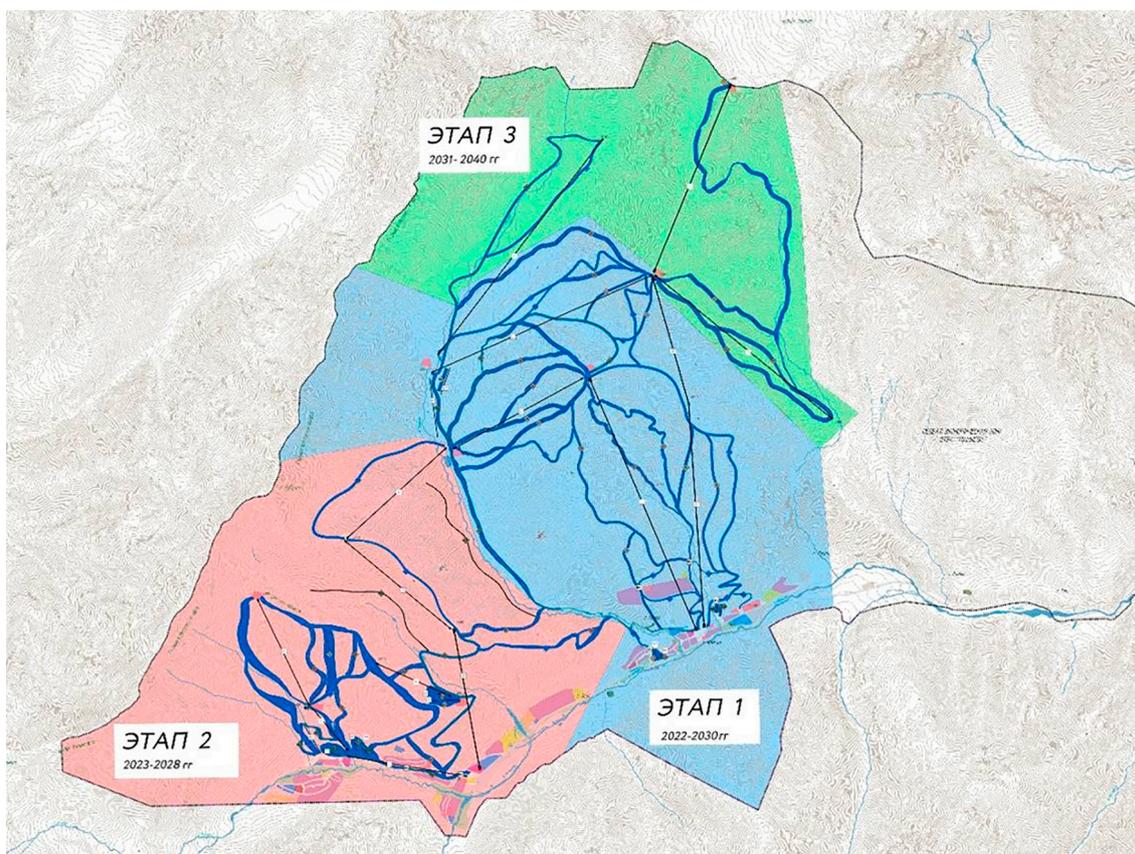


Рис. 4. Освоение по этапам территории ВТРК «Мамисон» по Концепции проекта планировки

Выявлено, что на территории курорта «Мамисон» преобладают осовный рельеф зон зарождения лавин, он составляет 56% от общего числа выделенных лавинных очагов. Лотковые лавины составляют 44%. Высота зарождения лавин меняется от 3672 до 2117 м. Площадь лавинных очагов в горизонтальной проекции лежит в диапазоне 3214124–2976 м² или 321,4–0,3 га. Угол наклона зоны зарождения и транзита варьирует от 41° до 25°.

Результаты выполненных полевых исследований и построенные карты зон зарождения лавин (рис. 1, 2) показывают, что значительная часть территории ВТРК «Мамисон» подвержена лавинной опасности.

Согласно документу «Корректировка проекта планировки территории, проекта межевания территории, разработка плана обустройства и соответствующего материально-технического оснащения, разработка интерактивной информационной

3D-модели особой экономической зоны туристско-рекреационного типа в границах муниципального образования Алагирский район Республики Северная Осетия – Алания (ВТРК «Мамисон») и прилегающей к ней территории. Том 1. Концепция проекта планировки», разработанному ГАУ «Институт генплана Москвы» в 2022 г. (далее – Концепция проекта планировки), запланировано три этапа освоения территории ВТРК «Мамисон»:

– этап 1 (2022–2030 гг.) включает развитие территории на левом берегу р. Мамихон на высотах от 2022 до 3160 м;

– этап 2 (2023–2028 гг.) предусматривает развитие территории в долинах р. Козыдон и Гибитандон на высотах от 2020 до 3010 м;

– этап 3 (2031–2040 гг.) предполагает развитие территории в непосредственной близости от ледника Зарамаг на высоте от 3160 до 3690 м.

На рис. 4 представлена общая схема этапности освоения территории, где показаны проектируемые и строящиеся канатные дороги (черные линии) и лыжные трассы (синие линии).

Сравнение рис. 1, 2 и 4 свидетельствует, что в зоне возможного воздействия лавин на всех трех этапах строительства могут находиться строящиеся и проектируемые объекты. В частности, опоры канатных дорог, станции канатных дорог, лыжные трассы и другие объекты рекреации. Поэтому проектирование и строительство объектов должно быть с учетом влияния лавин на них.

В дальнейшем в рамках выполнения гранта РНФ Соглашение № 23-17-20001 авторами планируется определить динамические характеристики лавин и их воздействия на рекреационные объекты территории ВТРК «Мамисон».

Заключение

По итогам маршрутного обследования, анализа топографических карт с использованием ГИС-технологий построена карта средних уклонов поверхности территории ВТРК «Мамисон», что позволило выделить в районе исследования границы 117 лавин-

ных очагов (зоны зарождения лавин). Наибольшее количество лавинных очагов сосредоточено по правому борту р. Баби-Дон, где в среднем на 1 км приходится 3 очага.

Определены типы лавин и морфометрические характеристики лавинных очагов: угол наклона зоны зарождения и транзита, площадь лавинного очага в горизонтальной проекции, высота отрыва лавины. Выявлено, что на территории курорта «Мамисон» преобладает осовный рельеф зон зарождения лавин, он составляет 56% от общего числа выделенных лавинных очагов. Лотковые лавины составляют 44%. Высота зарождения лавин меняется от 3672 м до 2117 м. Площадь лавинных очагов в горизонтальной проекции лежит в диапазоне 3214124–2976 м² или 321,4–0,3 га. Угол наклона зоны зарождения и транзита варьирует от 41° до 25°.

Показано, что в зоне возможного воздействия лавин могут находиться строящиеся и проектируемые объекты. Поэтому проектирование и строительство объектов на территории ВТРК «Мамисон» должно быть с учетом влияния лавин на них.

Список литературы

1. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Федченко Л.М., Узденова А.Б. Методика фонового прогноза лавинной опасности для территории горных районов Республики Ингушетия и Чеченской Республики // *ГеоРиск*. 2021. Т. 15, № 3. С. 50–63. DOI: 10.25296/1997-8669-2021-15-3-50-63.
2. Олейников А.Д., Володичева Н.А. Зимы лавинного максимума на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений (1968–2016 гг.) // *Лёд и снег*. 2020. Т. 60, № 4. С. 521–532. DOI: 10.31857/S2076673420040057.
3. Петрова Е.Г. Лавины как фактор аварийных ситуаций в техносфере // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2022. Т. 4, № 3. С. 255–266. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.255.
4. Корчагина Е.А., Гедуева М.М., Атаев З.В., Джаппуев Д.Р., Дроздов А.Л. Геоэкологические исследования на территории северного склона Большого Кавказа // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2021. № 2 (100). С. 126–138. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-126-138.
5. Кадастр лавин СССР. Л.: Гидрометеиздат. Т. 8. 1984, 1986, 1989.
6. Залиханов М.Ч. Снежно-лавиный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. «Официальная и деловая Россия». М., 2014. 612 с.
7. Тавасиев Р.А. Ледники и каменные глетчеры Козьского ущелья // *Вестник Владикавказского научного центра РАН*. 2008. Т. 8, № 4. С. 63–68.

УДК 910:339.924(571.6)
DOI 10.17513/use.38262

ОЦЕНКА ОРИЕНТИРОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ХОЗЯЙСТВА ЮЖНЫХ ПРИГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА ВНЕШНИЕ РЫНКИ

Корниенко О.С.

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

В работе предлагается метод оценки ориентированности территориальной структуры хозяйства регионов на внешние рынки на примере юга Дальнего Востока. Оценивается степень открытости их экономик. Рассматривается сложившаяся территориально-отраслевая структура хозяйства семи южных приграничных регионов и их специализация. В регионах были определены наиболее развитые виды деятельности и основные виды и объемы производимой продукции. Также проводится анализ сложившейся структуры и объемов экспорта. Сопоставление полученных данных позволяет отследить связь и соотношение между производимой и экспортируемой продукцией и определить степень ориентированности территориальных структур хозяйства на внешние рынки. В работе исследуются три вида деятельности, характеризующие реальное производство, исчисляемое в физическом объеме. Это сельское, лесное хозяйство и рыболовство, а также добыча полезных ископаемых и обрабатывающие производства. Исследование показало, что наиболее ориентированы на внешние рынки лесное хозяйство и добыча полезных ископаемых, а в прибрежной части еще и рыболовство. Наименее ориентировано на внешние рынки животноводство и обрабатывающие производства, которые в большинстве случаев функционируют для обеспечения внутренних потребностей. Самые высокие значения внешнеориентированности территориальной структуры хозяйства из рассматриваемых регионов получились в Сахалинской области и Забайкальском крае, где основу производства образует добыча полезных ископаемых, в которой большая часть добываемых ресурсов идет на экспорт.

Ключевые слова: Дальний Восток, приграничные регионы, внешнеторговое сотрудничество, экспорт, внешнеориентированность, специализация

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

ASSESSMENT OF THE ORIENTATION OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF THE ECONOMY OF THE SOUTHERN BORDER REGIONS OF THE FAR EAST TO EXTERNAL MARKETS

Kornienko O.S.

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

The paper proposes a method for assessing the orientation of the territorial structure of the regional economy towards foreign markets using the example of the south of Delny Vostok. The degree of openness of their economies is assessed. The current territorial-sectoral structure of the economy of the seven southern border regions and their specialization are considered. In the regions, the most developed types of activities and the main types and volumes of products were identified. An analysis of the current structure and volumes of exports is also carried out. A comparison of the data obtained allows us to track the connection and relationship between manufactured and exported products and determine the degree of orientation of the territorial structures of the economy towards foreign markets. The work examines three types of activities that characterize real production, calculated in physical volume. These include agriculture, forestry and fishing, as well as mining and manufacturing. The study showed that forestry and mining are the most oriented towards external markets, and in the coastal part there is also fishing. The least oriented towards external markets are livestock farming and manufacturing, which in most cases function to meet domestic needs. The highest values of external orientation of the territorial structure of the economy from the regions under consideration were obtained in the Sakhalin region and the Trans-Baikal Territory, where the basis of production is formed by mining, in which most of the extracted resources are exported.

Keywords: Far East, border regions, foreign trade cooperation, export, external orientation, specialization

The work was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-17-00186 “The potential of coastal settlements for long-term sustainable development: content and assessment methods using the example of Pacific Russia”.

В современных геополитических условиях и при смещении геополитических интересов России с запада на восток, регионы Дальнего Востока стали объектами приори-

тетного внимания со стороны властей. Вместе с этим регионы, расположенные в южной части макрорегиона, благодаря своему приближенному положению к Азиатско-Ти-

хоокеанскому региону с высокой концентрацией финансовых и товарных потоков, находясь в «эпицентре событий», обладают рядом преимуществ по сравнению с остальными регионами.

Приграничное положение по соседству с одной из крупнейших мировых держав – Китаем, который продолжает наращивать свой демографический и экономический потенциалы, безусловно, будет оказывать влияние на развитие современных территориальных структур хозяйства регионов и способствовать развитию трансграничных связей [1, 2].

В условиях активного участия рассматриваемых регионов во внешнеторговом сотрудничестве актуально изучить специализацию их территориальных структур хозяйства, структуру экспорта, и оценить степень их ориентированность на внешние рынки.

Материалы и методы исследования

Традиционно степень внешней ориентированности определяется с помощью оценки открытости экономик регионов, где основные показатели – это экспортная, импортная и внешнеторговая квоты.

Тем не менее данные показатели показывают лишь общую картину степени интеграции регионов в международных отношениях. Для оценки ориентированности территориальных структур хозяйства необходимо не просто посмотреть соотношение объемов экспорта или импорта к валовому региональному продукту, но и проанализировать специализацию хозяйственных структур, определить наиболее развитые виды деятельности и основные виды выпускаемой продукции, а также отследить связь производимой продукции с существующей структурой экспорта.

Для выполнения поставленной цели был разработан алгоритм оценки ориентированности территориальных структур хозяйств регионов на внешние рынки. Оценка проводилась по трем видам деятельности в структуре ВРП, отражающие реальное производство регионов, исчисляемое в физическом объеме [3]. Это сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; добыча полезных ископаемых и обрабатывающие производства. Для оценки взят 2020 г., так как в 2021 г. экономика регионов функционировала уже под влиянием пандемии, а в настоящее время статистика внешней торговли официально остается закрытой.

Были выделены основные виды производимой продукции и собран статистический материал об объемах производств, который был сопоставлен со структурой экспорта регионов, где были выделены схожие группы товаров, идущие на экспорт, и высчитывалось соотношение физических объемов производимой продукции и продукции, идущей на экспорт.

На основе полученных результатов определялась степень ориентированности производимой продукции регионами на внешние рынки (от 1 до 5) и в соответствии с шкалой присваивались баллы.

I. Производство очень слабо ориентировано на внешние рынки (при условии, что примерно менее 10% производимой продукции идет на экспорт) (1 балл).

II. Производство слабо ориентировано на внешние рынки (при условии, что примерно от 10 до 20% производимой продукции идет на экспорт) (1,25 балла).

III. Производство частично ориентировано на внешние рынки (при условии, что примерно от 20 до 40% производимой продукции идет на экспорт) (1,5 балла).

IV. Производство сильно ориентировано на внешние рынки (при условии, что примерно от 40 до 60% производимой продукции идет на экспорт) (1,75 балла).

V. Производство очень сильно ориентировано на внешние рынки (при условии, что примерно более 60% производимой продукции идет на экспорт) (2 балла).

Внешнеориентированность территориальной организации хозяйства регионов определялась как сумма баллов по трем исследуемым видам деятельности. Но, поскольку рассматриваемые регионы различаются по своей территориальной структуре хозяйства (одни регионы специализируются на добыче полезных ископаемых, другие на торговле и транспорте), было решено в оценку добавить поправочный коэффициент, который равен доле этого вида деятельности в структуре ВРП. С учетом поправочного коэффициента формула оценки внешнеориентированности регионов будет выглядеть следующим образом:

$$B_i = \sum x_{ij} T_{ij},$$

$$T_{ij} = (j_i / \text{ВРП}_i) \times 100\%,$$

где B – внешнеориентированность, i – регион, j – вид деятельности, x – балл в соответствии со шкалой оценки ориентированности отрасли на внешние рынки, T – доля вида деятельности в структуре ВРП.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемый регион, куда вошли семь субъектов, расположенные в южной части Дальнего Востока, в настоящее время ведут активную внешнеторговую деятельность. Расчеты экспортной квоты за последние пять лет подтверждают, что их экономику можно считать открытой, поскольку во всех регионах значения экспортной квоты к 2020 г. были выше установленного порога в 10% (рис. 1). Основной торговый партнер регионов – Китай, на долю которого приходится в среднем около 50% внешнеторгового оборота, а в некоторых регионах доля Китая превышает 90% (Забайкальский край и Еврейская автономная область) [4, 5].

В целом проведенный анализ сложившихся территориальных структур хозяйства рассматриваемых регионов позволяет делать вывод об их несбалансированности. В регионах, как правило, прослеживается узкая специализация на отдельных видах деятельности и достаточно ограниченное разнообразие производимой продукции [6, 7].

В большинстве регионов основная доля ВРП из рассматриваемых видов деятельности приходится на добычу полезных ископаемых. Сахалинская область специализи-

руется на добыче нефти и природного газа. В Забайкальском крае и Еврейской автономной области ведется добыча металлических руд, в Амурской области добывается золото, уголь.

Обрабатывающая промышленность в основном в регионах сконцентрирована на производстве пищевых продуктов. Также в трех регионах (Приморский край, Хабаровский край и Республика Бурятия) развито производство транспортных средств.

Практически во всех рассматриваемых регионах развито лесное хозяйство. Во всех прибрежных регионах развито рыболовство. В сельском хозяйстве во всех регионах, кроме Республики Бурятия, более развито растениеводство по сравнению с животноводством [3].

Анализ структуры экспорта регионов показал, что Приморский край специализируется на экспорте рыбы, ракообразных и моллюсков (более 50%). Хабаровский край в основном экспортирует древесину (26%), рыбопродукцию (23%) и драгоценные металлы (24%). В Сахалинской области такая группа товаров, как топливно-энергетические товары, составляет более 90% от объема экспорта. В экспорте Забайкальского края и Еврейской области более 80% составляют руды металлов.

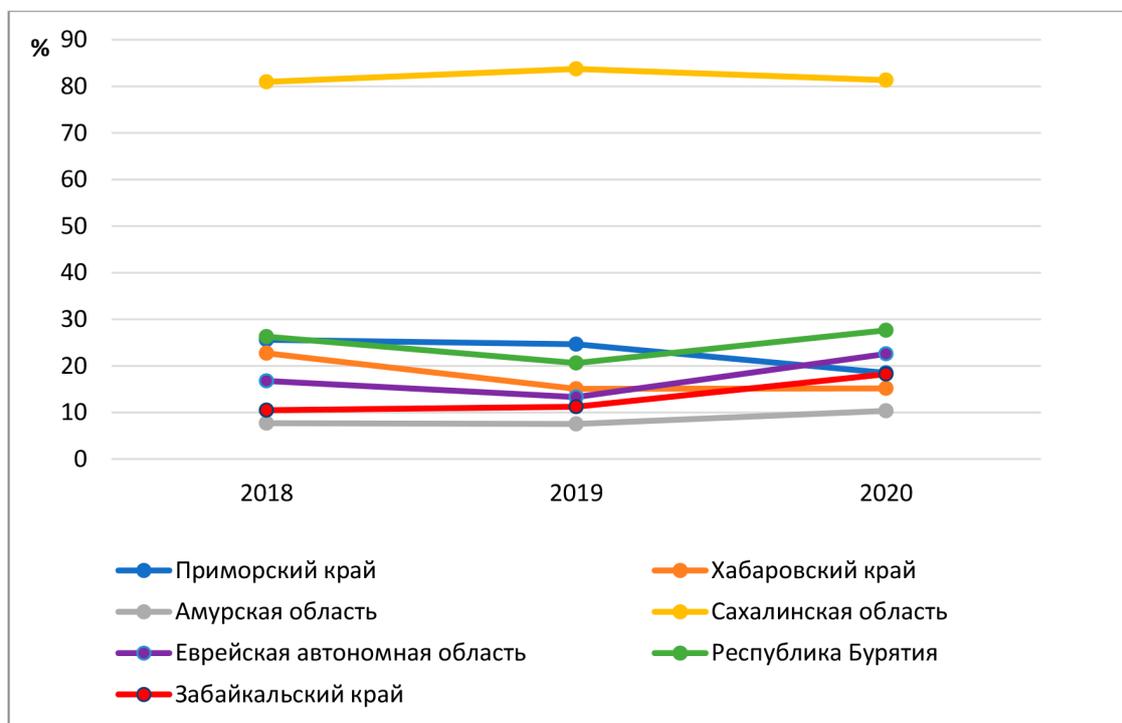


Рис. 1. Экспортная квота регионов южной части Дальнего Востока

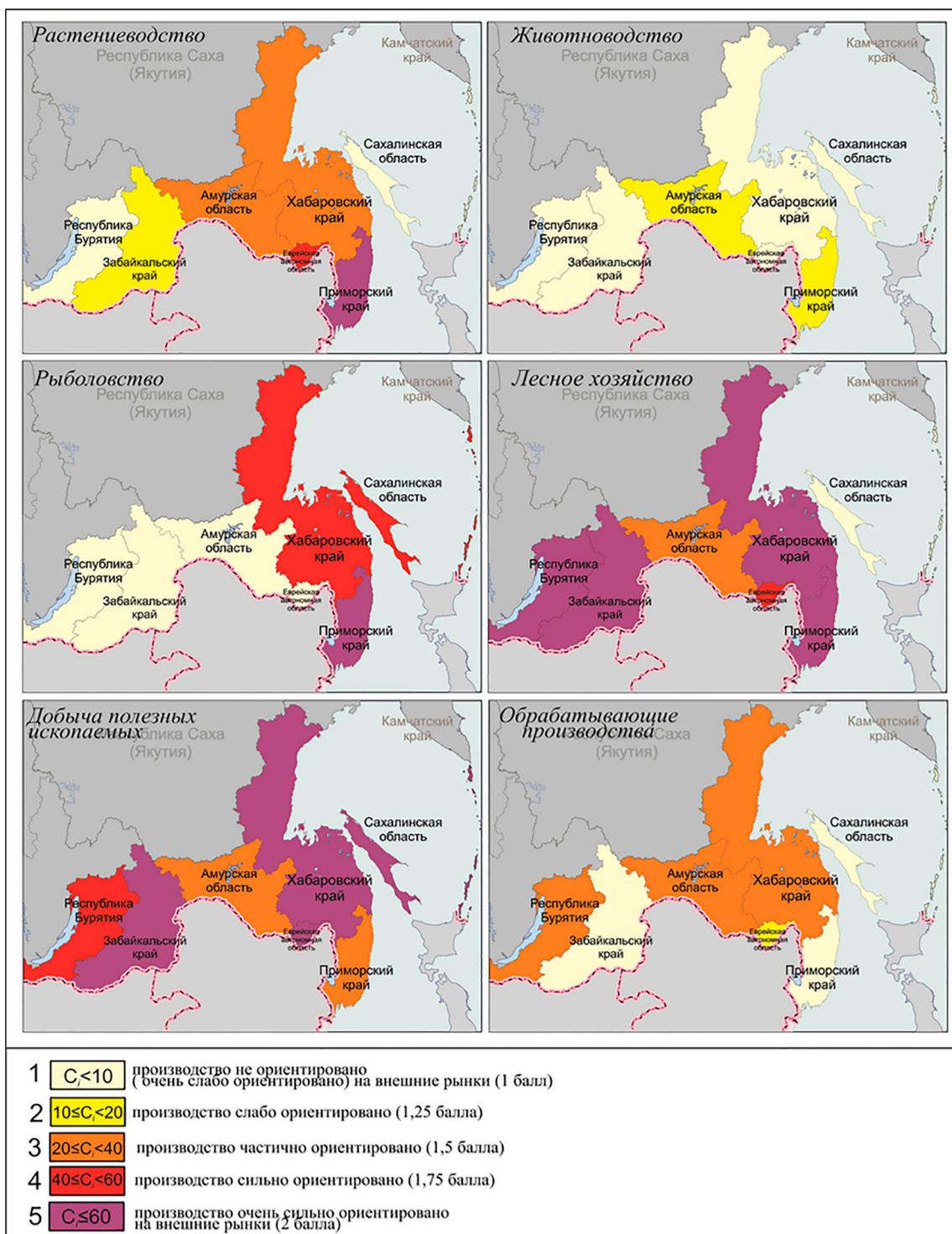


Рис. 2. Степень ориентированности производимой продукции в регионах на внешние рынки

Амурская область в основном экспортирует золото (около 40% экспорта) и электроэнергию. Экспорт Бурятии на 50% состоит из экспорта угля и еще 40% приходится на экспорт летательных аппаратов [8]. В целом, так же как и в территориальных струк-

турах хозяйства, во всех регионах, кроме Хабаровского края, отмечается узкая специализация экспорта лишь на одной группе товаров.

После сбора статистических данных об объемах производимой продукции и рас-

четов их соотношений с объемами экспортируемой продукции была оценена степень ориентированности производств на внешние рынки (рис. 2).

Так, Приморский край экспортирует большую часть производимой сельхозпродукции (соевые бобы и кукуруза), продукция животноводства ориентирована на внутренний рынок; лесное хозяйство и рыболовство очень сильно ориентированы на внешние рынки (более 80% продукции идет на экспорт в Китай и Республику Корею). В добыче полезных ископаемых добываемый уголь практически полностью идет на внутренний рынок, а добываемые металлические руды (цинковый и свинцовый концентрат) отправляются на экспорт. Продукция обрабатывающих производств ориентирована на российского потребителя.

В Хабаровском крае в сельском хозяйстве более 60% выращиваемой сои идет на экспорт в Китай. Рыболовство и лесное хозяйство, как и в Приморском крае, сильно ориентировано на зарубежные рынки (около половины вылавливаемой рыбы и 100% распиленных лесоматериалов идет на экспорт). В добыче полезных ископаемых добываемое золото в полном объеме идет на экспорт, а также большая часть добываемого угля. В обрабатывающем производстве Хабаровского края сильно ориентировано на экспорт производство стали (более половины от производимой продукции).

В Сахалинской области сельское и лесное хозяйство слабо развиты, и производимая продукция в основном ориентирована на местного потребителя. В рыболовстве более 40% вылавливаемой рыбы идет на экспорт. В добыче полезных ископаемых

более 90% нефти и около 40% природного газа экспортируются, также более 80% добываемого угля идет на экспорт. Производство пищевых продуктов, в первую очередь переработанной и консервированной рыбы, ориентировано на российский рынок.

Сельское хозяйство Забайкальского края слабо ориентировано на внешние рынки. На экспорт выращивается только рапс. Лесное хозяйство, напротив, максимально ориентировано на внешнего потребителя, как и добыча полезных ископаемых (более 80% добываемых железных руд идет на экспорт в Китай). Добываемый уголь, напротив, идет на внутренний рынок.

В Республике Бурятия схожая ситуация с Забайкальским краем. Сельское хозяйство направлено на обеспечение своих потребностей, а продукция лесного хозяйства практически полностью отправляется на экспорт. Более 90% добываемого угля отправляется на экспорт в Японию, Республику Корею и Китай.

В Амурской области частично ориентировано на экспорт лесное хозяйство (около 40% производимых лесоматериалов отправляется на экспорт) и сельское (на экспорт в Китай идет около 40% выращиваемой сои, 15% кукурузы). В добыче полезных ископаемых на экспорт идет более 20% добываемого золота (в основном в Великобританию), в обрабатывающих производствах наиболее сильно на экспорт ориентировано производство растительных масел (более 50%).

В Еврейской автономной области на экспорт в Китай идет более 80% выращиваемой сои, около половины производимых лесоматериалов и более 70% добываемого железорудного концентрата.

Внешнеориентированность регионов юга Дальнего Востока

Регион	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство		Добыча полезных ископаемых		Обрабатывающие производства		Внешнеориентированность	рейтинг
	балл	% ВРП	балл	% ВРП	балл	% ВРП		
Сахалинская область	1,25	3	2	55,5	1	4,1	118,9	1
Забайкальский край	1,5	3,9	2	25,9	1	2,2	59,85	2
Хабаровский край	1,75	6,9	2	7,6	1,5	10,1	42,43	3
Еврейская АО	1,75	3,4	2	13,6	1,25	3,9	38,03	4
Республика Бурятия	1,5	4,2	1,75	6,3	1,5	11,9	35,18	5
Амурская область	1,5	4,8	1,5	15,2	1,5	3,2	34,8	5
Приморский край	2	8,9	1,5	1	1	7,2	26,5	7

В целом отмечается, что наименее ориентировано на внешние рынки животноводство и обрабатывающие производства, которые по большей мере ориентированы на внутреннего потребителя и обеспечение собственных потребностей. Наиболее сильно ориентированы на экспорт добыча полезных ископаемых, лесное хозяйство, а в прибрежной части еще и рыболовство.

Итоговая оценка внешнеориентированности рассматриваемых регионов с учетом структуры ВРП представлена в таблице.

Из полученных результатов видно, что самая высокая ориентация производств на внешние рынки отмечается в Сахалинской области, где основу структур хозяйства составляет добывающая промышленность (55% от ВРП), которая очень сильно ориентирована на экспорт добываемых ресурсов (нефти и природного газа).

В Забайкальском крае схожая ситуация с Сахалинской областью, поскольку 26% в структуре ВРП приходится на добычу полезных ископаемых, которая также очень сильно ориентирована на внешние рынки.

Во всех остальных регионах значения внешнеориентированности близки. Самая низкая внешнеориентированность из исследуемых регионов отмечается в Приморском крае. Это объясняется тем, что в Приморском крае основной специализацией в ВРП является не производство, а сфера услуг (транспорт и торговля), а на рассматриваемые виды деятельности приходится малые доли в структуре ВРП. Тем не менее исследование показало, что и в Приморском крае производство достаточно сильно ориентировано на внешние рынки, особенно лесное хозяйство и рыболовство.

Заключение

Сложившееся экономико-географическое положение рассматриваемых регионов и геополитическая ситуация в мире, безусловно, способствуют их интегрированию в сложную систему международных связей. В обозримой перспективе можно ожидать усиления внешнеэкономических связей и увеличение объемов торговли с сопредельными странами, в первую очередь с Китаем.

В настоящее время активное участие приграничных регионов во внешнеторговом

сотрудничестве не просто дополнительный фактор развития, а необходимое условие их дальнейшего функционирования и развития их территориально-отраслевых структур. В сложившейся ситуации регионы находятся в зависимости от внешнего рынка и подвержены ценовому диктату торговых партнеров и финансовым рискам в экстремальных ситуациях (эпидемии, закрытие границ, политические разногласия и т.д.).

В связи с чем необходимо обратить пристальное внимание на чрезмерную ориентированность их производств на внешние рынки. В современных реалиях высокая внешнеориентированность территориальных структур хозяйства приграничных регионов нуждаются в более строгом контроле и регулировании, а наиболее актуальных направлением развития территориальных структур хозяйства рассматриваемых регионов видится в увеличении глубины переработки сырья и материалов и выпуска разнообразной готовой продукции.

Список литературы

1. Корниенко О.С. Китайский фактор развития Дальнего Востока России на современном этапе // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 26–31. DOI: 10.17513/use.38012.
2. Сысоева Н.М. Внешнеторговые связи востока России и новые геополитические условия // Труды III Гранберговской конференции (Новосибирск, 11–13 октября 2023 г.). Новосибирск: ИЭОП СО РАН, 2023. С. 293–296.
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 12.03.2024).
4. Пространственное развитие Тихоокеанской России: структурные особенности, факторы, основные направления: коллективная монография / Под ред. П.Я. Бакланова, А.В. Мошкова. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2023. 449 с.
5. Латкин А.П., Бакланов П.Я., Суржиков В.И., Приграничное сотрудничество российского Дальнего Востока с Китайской Народной Республикой: маркетинговый анализ и проблемы развития. Владивосток: Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, 2017. 138 с.
6. Корниенко О.С. Изменения концентрации и специализации хозяйственных структур в регионах Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 52–57. DOI: 10.17513/use.37670.
7. Мошков А.В. Факторы устойчивого развития территориально-отраслевой структуры регионов прибрежной зоны Тихоокеанской России // Регионалистика. 2019. Т. 6, № 4. С. 14–31.
8. Статистика внешней торговли и статистика взаимной торговли // Федеральная Таможенная Служба [Электронный ресурс]. URL: <http://dvtu.customs.ru> (дата обращения: 14.03.2024).

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹Коробов В.Б., ²Тутыгин А.Г., ¹Лохов А.С.

¹ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук,
Москва, e-mail: szoioran@mail.ru, a.s.lohov@yandex.ru;

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,
Архангельск, e-mail: andgt64@yandex.ru

В некоторых моделях классификации сложных объектов требуется их сравнение с состояниями, позволяющими однозначно отнести их к определенному классу. Такие состояния названы авторами эталонами и определены как объекты, структура и состояния которых в наибольшей степени соответствуют целям решаемой задачи. Оценки показателей объектов могут быть качественными и количественными, точечными или интервальными, поэтому необходимы и различные подходы к формированию эталонов. Целью настоящей работы является разработка методологических подходов к построению эталонных объектов для целей классификации сложных объектов. В ней рассмотрено несколько способов построения эталонов: эмпирический, статистический, экспертный, сценарный, нормативный и комплексный. Задачами исследования являются обобщение материалов ранее проведенных исследований авторов и анализ применения эталонов для классификации в различных областях. Проанализированы некоторые неопределенности, возникающие при несочетаемости или неполной сочетаемости оптимальных значений показателей факторов или их дискретизации, этот вопрос выделен в отдельную задачу, требующую специального исследования. Еще одной причиной неопределенностей является отсутствие единой точки зрения на некоторые понятия и определения. Так как объемы и качество информации, используемые для описания и исследования объектов, постоянно изменяются, как и цели классификации, объекты-эталон должны периодически подвергаться пересмотру, а их числовые значения – пересчету. Рассмотренные методы составления эталона могут быть применены как вместе с разработанной авторами функцией отклонений, так и с другими методами классификации объектов.

Ключевые слова: рангово-экспертная функция отклонений, эталон, объект, классификация, шкала

Работа выполнена в рамках темы госзадания № FMWE-2024-0020 «Осаждообразование в современном и древнем океане – рассеянное осадочное вещество и донные отложения как геологические архивы изменения климата и природных систем ключевых районов Мирового океана, морей России и пограничной области море – суша».

REFERENCE STATES CONSTRUCTION METHODOLOGY FOR COMPLEX OBJECTS CLASSIFICATION

¹Korobov V.B., ²Tutygin A.G., ¹Lokhov A.S.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: szoioran@mail.ru, a.s.lohov@yandex.ru;

²Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural branch
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: andgt64@yandex.ru

Some complex objects classification methods require comparing their states to unambiguously determine their class. Authors called this state the reference and determined as objects whose structure and states correspond to the problem goals being solved. Object characteristics assessments can be qualitative and quantitative, point or interval. Therefore, different approaches to the reference objects formation are necessary. The article purpose is development methodology for reference object construction for classification problems. It describes several methods for constructing reference objects: empirical, statistical, expert, scenario, regulatory and complex. The study objectives are to summarize the materials of previously conducted research by the authors and analyze the use of reference objects for classification in various fields. Regulatory acts are mandatory to constructing reference object. Reference objects constructing examples are presented, for authors previous research. Some constructing reference objects uncertainties caused by characteristics measurements full or partial incompatible or their discretization. This question is considered as a separate problem that requires additional research. Another reason for uncertainty is the lack of a common point of view on some concepts and definitions. Since the data amount and quality used to describe and study objects are constantly changing, as are the classification purposes, reference objects must be periodically revised, and their values must be recalculated. The considered reference object construction methods can be used with the rank-expert deviation function developed by the authors and the other classifying objects methods.

Keywords: rank-expert deviation function, reference object, object, classification, scale

The work was carried out within the framework of the theme of state assignment No. FMWE-2024-0020 “Sedimentation in the modern and ancient ocean - dispersed sedimentary matter and bottom sediments as geological archives of climate change and natural systems of key areas of the World Ocean, the seas of Russia and the sea-land border region”.

Одним из самых распространенных методов для проведения классификаций является сравнение исследуемых объектов с некоторыми другими, принимаемыми за эталонные. Принадлежность к данному классу определяется по степени близости (или удаленности) между эталонным и реальным объектом.

В работе [1] авторами предложен подход к классификации сложных объектов посредством разработанной ими рангово-экспертной функции отклонений от неких эталонных состояний этих объектов. При этом сам вопрос о построении этих эталонных объектов в этой статье не рассматривался и был выведен в самостоятельную задачу.

Причиной этого решения стала неоднозначность и отсутствие общепринятых подходов к принципам построения таких объектов. Обычно в качестве эталонов, когда это требуется, выбирают объекты в некотором характерном состоянии, с которыми затем производят сравнение реальных объектов. Например: эталоны в буквальном смысле этого слова – метры, килограммы и другие единицы измерений. Более сложный пример: молодой человек – это возраст x , рост y , вес z и т.д. Характеристики x , y , z ... могут задаваться как числами, так и интервалами с переменными границами, то есть нечеткими числами. Другим примером могут служить методы многокритериального принятия решений [2, 3], которые применимы в случаях, если объект можно формализовать при помощи критериев «больше – лучше» или «меньше – лучше». Одним из таких методов является TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) – метод выбора альтернатив путем сравнения с идеальным решением. В нем используется два эталона: позитивный и негативный, с которыми в дальнейшем сравнивается каждый объект для его классификации. Так как критерии формализованы в метрическом пространстве, выбор эталонов здесь является очевидным – это объект с максимальными значениями критериев «больше – лучше» и минимальными для «меньше – лучше» в случае позитивного эталона, и наоборот – в случае негативного. Однако на практике применять такие методологии часто бывает затруднительно, особенно когда речь идет о сложных объектах, составные части которых несоизмеримы. К таким объектам в большинстве своем относятся географо-экологические, социально-экономические и подобные им, для классификации которых необходимо применять ряд последовательных процедур [4].

Под эталонным нами понимается объект, структура и состояние которого в наибольшей степени соответствует целям решаемой задачи. Совпадение с эталоном, как и установленные малые отклонения от него, позволяют отнести исследуемый объект к определенному классу.

Целью настоящей работы является разработка методологических подходов к построению эталонных объектов для целей классификации сложных объектов.

Объектом исследования являются методы классификации сложных объектов, такие как разработанная авторами рангово-экспертная функция отклонений. Предметом исследования являются объекты, в наибольшей степени отвечающие идеальным требованиям применительно к целям проводимой классификации. Материалами для настоящих исследований послужили результаты проводимых авторами классификаций в задачах выбора принятия стратегических решений и районирования территорий и акваторий, а методами исследования – теория нечетких множеств и формальная логика. Задачами исследования являются обобщение материалов ранее проведенных авторами исследований с применением различных методов классификаций, анализ применения методов классификации и эталонов в различных областях и формирование на этой основе методологии их построения.

Методы построения эталонных объектов

Одним из главных вопросов при создании правил классификации является обоснование и выбор критериев и соответствующих им показателей. Как отметил нобелевский лауреат Конрад Лоренц по поводу одного понятия, напрямую связанного с классификацией объектов, «понятие “нормального” – одно из самых трудноопределимых во всей биологии; но в то же время оно, к сожалению, столь же необходимо, как и противоположное ему понятие “патологического”» [5, с. 293]. И это характерно не только для биологии, но также для многих отраслей науки, техники, экономики и социума.

Еще одной трудноразрешимой проблемой является дискретизация характеристик объекта. Поясним эту проблему на примере. Пусть имеется показатель плотности озерной сети – отношение площади данных водных объектов к общей площади территорий, на которых они находятся. Этот показатель сильно чувствителен к размерам ячейки сетки. Так, если ячейка слишком ве-

лика, влияние даже небольшого озера будет распространяться на нее целиком, и наоборот, озеро может не оказать влияния на прилегающую ячейку даже вблизи него самого, если находится в соседней достаточно малой ячейке. Аналогичная ситуация наблюдается и для одномерных (линейных) объектов. Поэтому дискретизация объектов должна производиться уже на конечном этапе решения задачи, с учетом его масштабов. Аналогией здесь могут служить сеточные методы в гидродинамике, где, например, принято утачать сетку вблизи границ тел для более точного их расчета. В различных науках существует правило, что на объект должно приходиться минимум три точки, так как они позволяют минимально характеризовать любую кривую, что можно распространить и на двумерное пространство.

Другим аспектом дискретизации является разбиение непрерывного или квазинепрерывного показателя на участки. Обычно

принимают требование, чтобы разбиваемые участки значений были примерно однородные. Но здесь возникает две проблемы: участков может оказаться слишком много или, наоборот, мало, и каким должен быть критерий для их разграничения. В первом случае участки можно объединять или дробить, чтобы их число было разумным – не более 10, как это принято в предложенной нами рангово-экспертной функции отклонений; вторая задача не имеет строгого решения, и интервалы устанавливаются либо на основании представлений о природе процесса [6], либо формально по нормативным документам или при помощи теории нечетких множеств [7]. От ответа на эти вопросы зависит «точность» составления эталона.

Рассмотрим способы составления эталона (табл. 1), первый из них эмпирический – из наиболее благоприятных значений показателей. При достаточном количестве информации этот метод наиболее простой.

Таблица 1

Методы построения эталонных объектов

№	Способ (методы)	Суть	Области применения (примеры)
1	Эмпирический	Из практики работы с объектом выбираются значения показателей (стоимость, расположение, цвет и др.), которые наиболее часто востребованы	– Параметры гидродинамических моделей, позволяющие рассчитывать динамические характеристики потоков, наиболее близкие к измеряемым
2	Статистический	При наличии статистически однородных данных для всех показателей рассчитываются устойчивые характеристики выборок, такие как медианы, интерквартильные расстояния и др.	– Средние концентрации тяжелых металлов в верхней части земной коры
3	Экспертный	При отсутствии требуемых для расчета данных значения показателей устанавливаются экспертами, исходя из их представлений об оптимальности объекта. Находятся путем экспертных опросов с последующим усреднением их результатов.	– Выбор альтернатив при построении опасных объектов на неосвоенных территориях, например нефтепроводов
4	Сценарный	Сценарии разрабатываются для изучения функционирования объекта при неких типовых ситуациях. Расчеты последствий производятся при помощи имитационных моделей, адаптированных применительно к данным случаям	– Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на объектах транспортной инфраструктуры. – Декларация безопасности промышленных объектов
5	Нормативный	Значения показателей устанавливаются на основании нормативных требований	– Категории чрезвычайных ситуаций. – Прimitивная оценка экологической ситуации и расчет ущерба экосистемам с использованием только предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ
6	Комплексный	Для различных характеристик объекта устанавливаются наиболее подходящие из перечисленных выше способами эталоны	– Геоэкологическое районирование территорий и акваторий

Статистический – из статистических характеристик показателей (включая усреднение по ансамблю моделей). Считается, что при достаточном размере выборки можно найти устойчивые статистические характеристики показателя и выбрать одну из них в качестве эталона, например среднее арифметическое или медиану. Такая гипотеза, что устойчивые характеристики будут оптимальными, часто используется в качестве базовой. Для получения исходных данных могут использоваться математические модели, с их помощью можно получить информацию об объекте и его частях в различных состояниях, вводя в модель соответствующую информацию. Выборки, полученные таким способом, затем подвергаются статистической обработке. Статистические характеристики во многих случаях существенно изменяются со временем: так, аварийность на магистральных трубопроводах в России с 2000 по 2017 г. снизилась в несколько раз [8]. При этом необходимо выбирать временной промежуток для расчета статистических характеристик, это может вызвать затруднения, так как необходимо оценивать поведение тренда в будущем.

Экспертный – устанавливаются экспертами. Необходимая информация в полном объеме имеется не всегда, или же она недоступна, тогда привлекаются эксперты – узкие специалисты в своих областях. Это особенно актуально для новых объектов, для которых не существует аналогов, например при создании абсолютно нового пищевого продукта или образца новейшей техники. Экспертам можно поставить задачу определить как границы классов, так и параметры их оптимального состояния.

Сценарный – составление сценариев функционирования объекта. Для анализа функционирования объекта и определения количества градаций можно использовать метод сценариев. При этом часто используются имитационные модели, особенно прогностические, то есть одним из параметров которых является время (но не обязательно). Сценарный метод часто применяется в экономике, политике, технике. Он тесно связан с экспертным, поскольку для разработки сценариев обычно привлекаются эксперты.

Нормативный – определяется нормативными требованиями. В качестве примера приведем классификацию чрезвычайных ситуаций (ЧС). Критерии ЧС были установлены положением «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техноген-

ного характера» и утверждены Постановлением Правительства РФ № 1094 от 13 сентября 1996 г., которое до настоящего времени неоднократно изменялось и дополнялось, но суть его не менялась, что дает нам возможность использовать его как весьма наглядную иллюстрацию. Согласно этому положению ЧС делятся на локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные и трансграничные. Для первых пяти установлены критерии и числовые показатели по ним: количество пострадавших (чел.), либо нарушение условий жизнедеятельности (чел.), либо материальный ущерб (минимальных размеров оплаты труда) и пределы охватываемой территории. Так, для региональной ЧС эти показатели соответственно равны 50–500, 500–1000, 500000–5000000 и затрагивают не менее двух субъектов федерации. Только для последней ЧС – трансграничной показатели не установлены: таковой считается ЧС, выходящая за границы РФ либо произошедшая за рубежом и затрагивающая территорию РФ. Здесь нет разрывов между градациями показателей ЧС, но так бывает далеко не всегда. Например, в методике «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия», утвержденной Министерством природных ресурсов РФ 30 ноября 1992 г., разработанной для оценки экологической обстановки территорий, для некоторых критериев этот принцип не соблюдается, что весьма затрудняет ее непосредственное применение для классификации объектов в случае промежуточных между двумя классами значений показателей. Нормативные требования становятся обязательными, когда классификации подлежат объекты, сформированные под установившиеся понятия, такие как «здоровье», «качество продуктов» и др. Это не исключает использование других подходов, но тогда произведенная с их применением классификация будет несопоставима с общепринятой. А в некоторых случаях использование нормативных критериев и показателей, таких как предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ или категории особо охраняемых природных территорий, просто обязательно.

Комплексный – для различных характеристик устанавливаются наиболее подходящие из перечисленных выше способов эталоны. Для сложных объектов трудно обойтись каким-нибудь одним методом. Тогда приходится в той или иной степени

использовать все рассмотренные выше подходы и их комбинации, что и имеет место на практике. Комплексными могут быть и сами показатели, когда их выражения содержат в себе измеряемые, моделируемые и качественные величины (в виде рангов).

Из изложенного естественным образом вытекает, что эталон не может быть постоянным: базы данных, характеризующие объект, постоянно пополняются, что влияет на эмпирические характеристики показателей объекта, модели совершенствуются, нормативы изменяются, а цели корректируются, поэтому эталоны должны постоянно уточняться.

Следует также отметить, что критерии могут быть как качественными, так и количественными, последние, в свою очередь, подразделяются на точечные и интервальные.

Области применения

При использовании эталонных состояний объектов для их классификации следует различать следующие основные случаи: объект имеет одно оптимальное в контексте рассматриваемой задачи состояние и некие оптимумы для каждого класса состояний.

Рассмотрим конкретный пример: построение оценочных ранговых шкал для задачи сравнительной оценки инфраструктурного потенциала объектов агропромышленного комплекса северного региона [9] – табл. 2. Обоснование выбора самих факторов изложено в цитируемой статье. Поэтому остановимся только на идентификации самих методов.

В результате получился комбинированный подход к формализации объекта, что обычно и бывает в таких случаях. Всего же авторы использовали четыре метода.

Приведем еще один, более сложный пример. Пусть требуется провести геоэко-

логическую оценку уязвимости территорий Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) к нефтяному загрязнению [10]. В данном случае объектом является участок территории со всеми его физико-географическими и геологическими особенностями, имеющими значение при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов и вероятности их возникновения. Формализовать объект такой сложности – весьма трудоемкая задача, так как необходимо учесть взаимодействие литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Поэтому здесь имеет место только комбинированный подход к выбору эталона. Для данного примера, относительно поставленной задачи, актуален как вариант выбора одного оптимального эталона – абстрактной территории, наименее уязвимой к разливу нефти, так и деление на классы уязвимости. Рассмотрим первый из них. В табл. 2 приведен список факторов и их показателей, использованных для решения этой задачи, а также метод выбора эталона для каждого из них.

Рассмотрим некоторые из них: эталон для свойств почв, выражаемых факторами 3.1, 3.3, и свойств нефти – фактор 6.1 предполагается определить статистическим методом путем осреднения ансамбля математических моделей. Они объединены по причине связи по балансу масс при процессах растекания, фильтрации в грунт и испарения. Так, при более интенсивном испарении увеличивается вязкость нефти, уменьшается площадь растекания и объем впитываемой грунтом нефти. В то время как при высоких фильтрационных свойствах процесс испарения не успевает значительно повлиять на объем и вязкость нефти, но также уменьшает площадь ее растекания.

Таблица 2

Методы построения сравнительной оценки инфраструктурного потенциала объектов агропромышленного комплекса северного региона

№	Фактор	Метод
1	Физический износ объекта	нормативный
2	Готовность объекта с учетом имеющегося незавершенного строительства	нормативный
3	Востребованность объекта как элемента хозяйственного комплекса	экспертный
4	Обеспеченность объекта транспортной инфраструктурой	эмпирический и нормативный
5	Обеспеченность объекта энергетической инфраструктурой	статистический
6	Обеспеченность объекта коммунальной инфраструктурой	эмпирический
7	Обеспеченность объекта трудовыми ресурсами	эмпирический и нормативный

Таблица 3

Факторы, их показатели и методы выбора эталона в задаче геоэкологической оценки уязвимости территорий АЗРФ к разливам нефти и нефтепродуктов

№	Факторы	Показатель	Метод выбора эталона
1	Климатические		
1.1	Увлажненность	Коэффициент увлажнения (отношение между количеством осадков и испарением за год)	Эмпирический («меньше – лучше»)
1.2	Циркуляция атмосферы	Интенсивность барических образований (циклонов и антициклонов за год)	Эмпирический («меньше – лучше»)
1.3	Температурный режим	Среднемесячная температура января и июля	Эмпирический («меньше – лучше»)
1.4	Снежный покров	Доля дней в году с наличием снежного покрова	Эмпирический («меньше – лучше»)
2	Гидрологические		
2.1	Плотность речной сети	Количество водотоков на единицу площади с учетом градации средние/крупные реки и малые реки/ручьи	Эмпирический («меньше – лучше»)
2.2	Плотность озерной сети	Отношение площади озер к площади территории	Эмпирический («меньше – лучше»)
2.3	Заболоченность	Процент заболоченности	Эмпирический («меньше – лучше»)
3	Географо-геологические		
3.1	Почвы	Типы почв с учетом их свойств и ранга	Статистический (усреднение по ансамблю моделей фильтрации нефти и нефтепродуктов в грунт)
3.2	Рельеф	Средний уклон	Эмпирический («меньше – лучше»)
3.3	Многолетнемерзлые породы	Средняя глубина сезонного протаивания	Статистический (усреднение по ансамблю моделей фильтрации нефти и нефтепродуктов в грунт)
3.4	Морские берега	Расстояние до берега моря с учетом масштабов пляжей/приливных осушек	Эмпирический («больше – лучше»)
4	Экологические		
4.1	Наличие ООПТ	Площадь ООПТ с учетом их ранга	Эмпирический («меньше – лучше»)
4.2	Загрязненность воздуха	ПЗА (потенциал загрязнения атмосферы)	Нормативный (значение индекса при отсутствии загрязнений)
4.3	Загрязненность водных объектов	Индекс загрязненности вод	Нормативный (значение индекса при отсутствии загрязнений)
4.4	Загрязненность почв и грунтов	Индекс загрязненности почв	Нормативный (значение индекса при отсутствии загрязнений)
4.5	Растительность	Биопродуктивность, ц/га	Статистический (среднее значение для данного климатического пояса)
4.6	Животный мир	Число видов наземных позвоночных	Статистический (среднее значение для данного климатического пояса)
5	Социально-экономические		
5.1	Население	Плотность населения	Эмпирический («меньше – лучше»)
5.2	Дорожная сеть	Плотность автомобильных и железных дорог	Эмпирический («больше – лучше»)
5.3	Месторождения нефти	Плотность месторождений	Эмпирический («меньше – лучше»)
5.4	Трубопроводы	Плотность нефтепроводов с учетом их типа	Эмпирический («меньше – лучше»)
5.5	Нефтеперевозки наземным транспортом	Объем нефтеперевозок автомобильным и железнодорожным транспортом	Эмпирический («меньше – лучше»)
6	Технические		
6.1	Сорт нефти	Средняя вязкость товарной нефти, добываемой/транспортируемой на данной территории	Статистический (усреднение по ансамблю моделей фильтрации в грунт и испарения нефти и нефтепродуктов)
6.2	Меры по ликвидации аварийных разливов (ЛАРН)	Близость места базирования средств и сил ЛАРН	Экспертный

При таких зависимостях чрезвычайно сложно ответить на вопрос, что делает территорию менее уязвимой: наличие высокой возможности к фильтрации нефти или, наоборот, к ее растеканию. С точки зрения ликвидации аварийных разливов в первом варианте необходимо рекультивировать больший объем почвы, а во второй – делать это на большей площади. Поэтому наиболее оптимальным методом выбора эталона для данных факторов является осреднение ансамбля математических моделей баланса масс в данных процессах.

При расчете эталонных показателей возникает еще одна проблема, разрешить которую не так просто. Если рассматривать эталонные значения как некие оптимумы, то встает вопрос об их совместимости. Это означает, что, если показатели факторов x , y , z и другие по отдельности приобретают некоторое оптимальное значение, это не означает, что все они будут иметь место одновременно, то есть в общем случае $f_{opt}(x, y, z, \dots) \neq f(x_{opt}, y_{opt}, z_{opt}, \dots)$. Такая возможность существует, но чем больше в задаче факторов, тем она менее вероятна.

Обратимся к табл. 3: оптимум увлажненности (фактор 1.1) может не совпадать по времени и пространству [11] с наступлением оптимального температурного режима (фактор 1.3), а растительность (фактор 4.5) – с животным миром (фактор 4.6). То же можно сказать и о сочетании биологических показателей с фактором 5.4. «Трубопроводы». Подобных сочетаний можно выявить множество практически в каждом объекте.

Это обстоятельство вносит самую большую неопределенность в нахождение значений, характеризующих состояние объекта в целом. Данный вопрос требует специального исследования. Одним из путей решения данной задачи может стать построение многомерных функций распределения значений показателей и расчет на их основе соответствующих статистических характеристик.

В первом приближении факторы можно рассматривать как статистически независимые, что часто и делается в прикладных задачах. Для многих классов задач такой подход вполне оправдан, например, когда разрабатываются прототипы нового оборудования. Также он вполне применим для оценки объектов, рассчитанных на длительное время, таких как транспортная инфраструктура. По этой причине нами и рекомендован сценарный подход, позволяющий создавать виртуальные ситуации.

Когда же классификация зависит от субъекта, например, при оценке климатической комфортности, где учитывается несколько факторов состояния атмосферы, а также сезонная их изменчивость [12], то для разных людей критерии оптимальности климатических характеристик будут сильно различаться: кому-то больше нравится жаркий климат, а кто-то предпочитает слегка теплую погоду, к ветру тоже может быть различное отношение. Здесь необходимо настраивать функцию близости индивидуально на каждого потребителя, что вполне возможно. Процедуры для получения необходимой для этого информации давно отработаны [13].

Заключение

Структура и содержание объекта-эталона целиком определяются целью классификации. Если цель классификации изменяется или же подлежит корректировке, необходимо пересмотреть систему показателей и их числовые значения.

Выбор метода построения эталона зависит от полноты и доступности информации. Для сложных объектов рекомендуется использовать несколько методов и их сочетания. При этом необходимо установить взаимозависимость числовых значений показателей, поскольку оптимальные значения для объекта-эталона не всегда могут иметь место одновременно.

Поскольку объемы информации постоянно изменяются, как и цели исследования, объекты-эталон должны периодически подвергаться пересмотру, а их числовые значения – пересчету. Это необходимо делать и по формальным причинам, таким как изменение законодательства.

Список литературы

1. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г., Лохов А.С. Рангово-экспертная функция отклонений для классификации сложных объектов // Проблемы управления. 2023. № 6. С. 56–65. DOI: 10.25728/ru.2023.6.5.
2. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis // Decision Analytics Journal. 2022. Vol. 2. Art. 100021. DOI: 10.1016/j.dajour.2021.100021.
3. Baccour L. Amended Fused TOPSIS-VIKOR for Classification (ATOVIC) Applied to Some UCI Data Sets // Expert Systems with Applications. 2018. Vol. 99. P. 115–125. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.01.025.
4. Коробов В.Б., Кочуров Б.И., Тутыгин А.Г. Методология районирования сложных географо-экологических объектов экспертно-статистическими методами // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 42–48.
5. Лоренц К. Агрессия, или так называемое зло. М.: АСТ, 2018. 416 с.
6. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение в Мировом океане. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 256 с.

7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
8. Идрисов Р.Х., Идрисова К.Р., Кормакова Д.С. Анализ аварийности магистральных трубопроводов России // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 2. С. 44–46.
9. Молодцова В.Н., Тутыгин А.Г., Чижова Л.А. Альтернативный подход к сравнительной оценке инфраструктурного потенциала объектов агропромышленного комплекса северного региона // Финансовый менеджмент. 2023. № 6–2. С. 141–155.
10. Коробов В.Б., Лохов А.С. Проблемы разработки методологии геоэкологической оценки нефтяного загрязнения побережья арктических морей // Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2 т. (Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 г.). Т. 1. Новочеркасск: ООО «Лик», 2023. С. 291–295.
11. Ткачук С.В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С. 223–245.
12. Андреев С.С. Оценка климатической комфортности прибрежной территории на примере города Туапсе // Вестник СПбГУ. 2015. Сер. 7. Вып. 4. С. 145–150.
13. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М.: Радио и связь, 1992. 200 с.

УДК 910:504.06

DOI 10.17513/use.38264

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ)

Маленёв А.И.

*ФГКВООУ ВПО «Военный учебно-научный центр «Военно-воздушная академия»
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж,
e-mail: aleksandr-malenyov@yandex.ru*

Данный материал охватывает вопросы совершенствования методов экологического контроля над состоянием атмосферы в непосредственной близости от аэропортовых комплексов. Чистый атмосферный воздух представляет собой ключевую составляющую благополучия личного состава, задействованного в обеспечении авиационной деятельности на объектах гражданской авиации. Критерии оценки атмосферного воздуха охватывают спектр параметров, которые напрямую подвержены влиянию атмосферных условий, причем их изменения зачастую диктуются характеристиками воздушных потоков, складывающимися в зонах активности источников загрязнения. Из-за повышенной интенсивности полетов наблюдается эмиссия множества вредных элементов, чьим источником служат в основном самолеты, объекты инфраструктуры и автотранспорт, что приводит к негативному воздействию на объекты окружающей среды. Среди выбрасываемых вредных примесей находятся такие химические соединения, как этилен, формальдегид, этил, ацетон, бутен, метан, различные углеводороды, а также оксиды углерода, азота и серы, которые представляют угрозу для здоровья людей. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью распространения токсикантов атмосферным воздухом с учетом рельефа местности, типа подстилающей поверхности и геометрии форм зданий и сооружений. Целью исследования является повышение качества экологического мониторинга путем учета дополнительных параметров распространения вредных примесей на приаэродромных территориях. При этом учитывались застройки различной плотности, физико-географические и климатические условия, а также особенности эксплуатации аэродрома. В статье представлены открытые для опубликования результаты экологического мониторинга приаэродромной территории типичного аэродрома государственной авиации. Отбор и анализ проб проводился сертифицированным центром лаборатории ФБУЗ центра гигиены и эпидемиологии. Рассчитана общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год при работе основных типов авиационных двигателей. Выделены наиболее экологически опасные зоны с повышенной концентрацией вредных примесей, с учетом которых рекомендуется располагать посты экологического мониторинга. Рассчитанные данные подтверждены экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: аэродром, вредные примеси, экологический риск, загрязняющие вещества

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING PARAMETERS (USING THE EXAMPLE OF THE TERRITORIES OF AIRFIELDS OF STATE AVIATION)

Malenev A.I.

*Military Training Scientific Center «Air Force Academy»
named after professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin, Voronezh,
e-mail: aleksandr-malenyov@yandex.ru*

This material covers issues of improving methods of environmental control over the state of the atmosphere in the immediate vicinity of airport complexes. Clean atmospheric air is a key component of the well-being of personnel involved in ensuring aviation activities at civil aviation facilities. The criteria for assessing atmospheric air cover a range of parameters that are directly affected by atmospheric conditions, and their changes are often dictated by the characteristics of air flows that develop in the zones of activity of pollution sources. Due to the increased intensity of flights, there is an emission of many harmful elements, the sources of which are mainly aircraft, infrastructure and vehicles, which leads to a negative impact on the environment. Among the harmful impurities emitted are chemical compounds such as ethylene, formaldehyde, ethyl, acetone, butene, methane, various hydrocarbons, as well as oxides of carbon, nitrogen and sulfur, which pose a threat to human health. The relevance of the study is due to insufficient knowledge of the distribution of toxicants by atmospheric air, taking into account the terrain, the type of underlying surface and the geometry of the shapes of buildings and structures. The purpose of the study is to improve the quality of environmental monitoring by taking into account additional parameters of the distribution of harmful impurities in the airfield areas. This took into account: buildings of varying densities, physical-geographical and climatic conditions, as well as the operating features of the airfield. The article presents the results of environmental monitoring of the airfield area of a typical state aviation airfield, open for publication. Sampling and analysis were carried out in a certified laboratory center of the Federal Budgetary Health Institution Center for Hygiene and Epidemiology. The total mass of emissions of harmful impurities in the surface layer of the atmosphere from aircraft per year during the operation of the main types of aircraft engines has been calculated. The most environmentally hazardous zones with a high concentration of harmful impurities have been identified, taking into account which it is recommended to locate environmental monitoring posts. The calculated data are confirmed by experimental studies.

Keywords: airfield, harmful impurities, environmental risk, pollutants

Аэродромы государственной авиации, окруженные типичными застройками различной степени плотности и располагающиеся неподалеку от населенных пунктов, являются одними из наиболее малоизученных источников экологической опасности. Сложность этой проблемы обусловлена тем, что в результате активного использования аэродромов государственной авиации происходит выброс в атмосферу значительных объемов токсичных загрязнителей. Источниками эмиссии служат не только воздушные суда, но и объекты инфраструктуры, а также автотранспорт, привлекаемый для обеспечения полетов государственной авиации [1, с. 42]. Среди выделяемых веществ находятся такие опасные, как этилен, формальдегид, этилбензол, ацетон, бутен, метан и различные углеводороды, включая оксиды углерода, азота, серы, что серьезно вредит здоровью персонала. Распространение этих веществ может охватывать обширные территории и осуществляется двумя основными способами: посредством диффузии и с помощью направленного переноса. Причем изменение концентрации вредных примесей в пространстве и во времени в существенной степени будет зависеть от места выброса, характера подстилающей поверхности, наличия препятствий и застроек, метеорологической обстановки в районе выброса. Учет этих факторов в моделях позволит заблаговременно выявить опасные зоны с высокой концентрацией вредных примесей при различных направлениях и скоростях ветра, а также обеспечить рациональный мониторинг экологического состояния района аэродрома и прилегающей местности [2, с. 38; 3, с. 76].

Целью исследования является повышение качества экологического мониторинга путем учета дополнительных параметров распространения вредных примесей на примере территорий аэродромов государственной авиации.

Материалы и методы исследования

В настоящее время мониторинг вредных примесей осуществляется различными способами: измерением, наблюдением, моделированием на основе данных измерений и т.д. Особые трудности вызывает изучение процессов воздействия на окружающую среду, происходящих над сложными ландшафтами с неравномерным рельефом и разнообразной застройкой, из-за проблем с их точным описанием и стандартизацией. Существенное влияние на экологию оказыва-

ет государственная авиация на всех этапах ее жизнедеятельности: это эксплуатация и ремонт как самого воздушного судна, так и обслуживающей его спецтехники.

При сгорании топлива в двигателях воздушных судов образуются выхлопные газы, которые содержат воздух, прошедший через двигатель, который практически не изменяет своего химического состава. В момент полного сгорания авиационного топлива образуются углекислый газ и водяной пар. Но так как авиационное топливо по ряду причин сгорает не полностью, образуются такие вещества, как углеводороды, СО, водород и копоть. Также в топливе содержится сера, а при сгорании образуются ее окислы. И другие химические элементы, входящие в состав камеры сгорания двигателя, и металлы, содержащиеся в топливе [4, с. 120].

Эти двигатели являются источниками большого выброса вредных примесей. В условиях отсутствия или при малых значениях ветра формируются зоны смога, в которых накапливаются вредные вещества, особенно в режимах взлетно-посадочного цикла, когда практически невозможно обеспечить благоприятные условия сгорания авиационного топлива [5, с. 131; 6, с. 94; 7, с. 677].

Отбор и анализ материалов вредных примесей (окись углерода СО, углеводороды СН, окислы азота NO_x, серы SO_x и частиц авиационного керосина) для исследования проводился по установленным стандартам и методикам сертифицированной лаборатории ФБУЗ центра гигиены и эпидемиологии г. Воронежа в период с 2019 по 2020 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Планируется разработать методику для выявления параметров загрязняющих веществ в окрестностях аэродромов государственной авиации.

Использование газотурбинных двигателей в режиме взлета и посадки летательного аппарата приводит к значительному загрязнению вредными веществами (рис. 1).

В ходе эксплуатации газотурбинных двигателей отработанные газы постепенно охлаждаются и конденсируются в ветровом потоке, в результате чего происходит каплеобразование неотработанных газов авиационного топлива. Радиус капель авиационного керосина может составлять от 50 до 700 мкм, а мелкодисперсные его частицы могут распространяться до 2500 м от точечного источника.

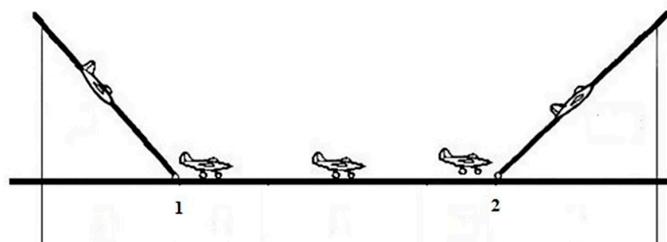


Рис. 1. Основные режимы цикла, влияющие на загрязнение приземного слоя в районе аэродрома:
1 – посадка, 2 – взлет

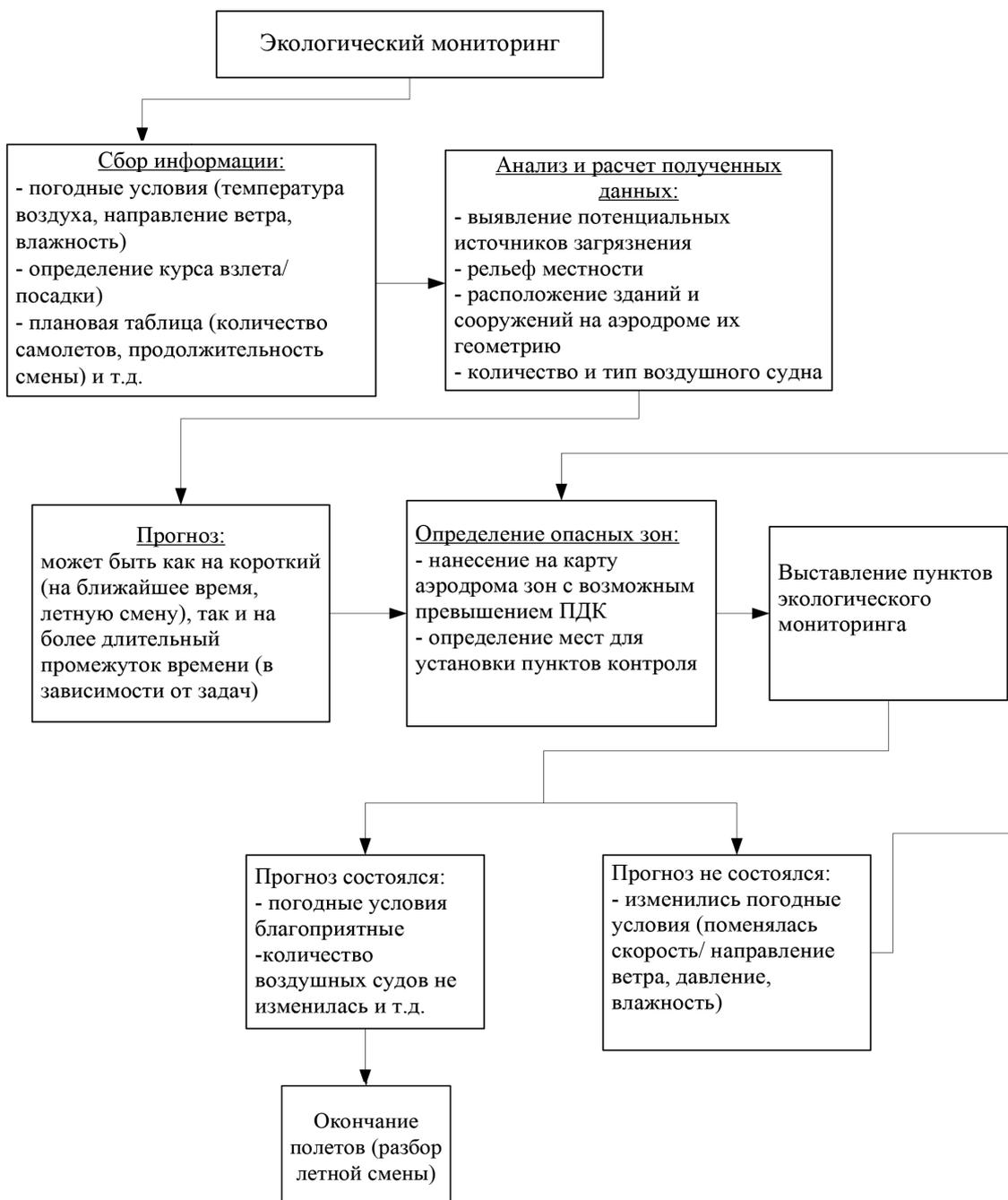


Рис. 2. Схема экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома с учетом особенностей источника загрязнения

На концентрацию вредных примесей влияет наличие ветра, рельеф местности, плотность аэродромных застроек, а также интенсивность использования аэродромов государственной авиации [8, с. 131; 9, с. 46]. На рис. 2 представлена схема экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома государственной авиации с учетом особенностей источника загрязнения.

Основные этапы экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома государственной авиации с учетом особенностей источника загрязнения заключаются в следующем:

На начальном этапе осуществляется всесторонний сбор информации и анализ участка исследования для выявления потенциальных источников загрязнений, а также изучаются особенности местности, включая конфигурацию рельефа, расположение зданий и других объектов, их геометрическую форму, удаленность от источника выброса вредных примесей и прочие элементы, необходимые для расчетов. Производится измерение температуры и относительной влажности воздуха с использованием сертифицированных гидрометеорологических приборов в приземном слое.

С использованием выражения (1) определим значение концентрации вредных примесей в приземном слое при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника:

$$C_{oi} = (4M_{iBП} t) / (\pi D^2 V_{e.n}), \quad (1)$$

где $M_{iBП}$ – масса выброса взлет (посадка), t – время работы двигателя в заданном режиме, D – диаметр сопла, $V_{e.n}$ – скорость ветрового потока.

$$C_0 = \sum C_{oi}. \quad (2)$$

В процессе всесторонней оценки уровня загрязнения применяется методика, основанная на преобразовании концентраций разнообразных вредных веществ к эквиваленту оксида углерода, согласно уравнению, представленному ниже:

$$\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n k_{npi} C_{CO}, \quad (3)$$

где k_{npi} – коэффициент, который используется для преобразования концентрации i -го загрязнителя к эквивалентной концентрации оксида углерода:

$$k_{npCO} = 1, k_{npNOx} = 41,2, k_{npCnHm} = 3,2.$$

Использование разработанного подхода для комплексного анализа экологических рисков аэропортов способствует точному определению уровня влияния авиационного загрязнения на природу.

Рассчитывается или измеряется начальная концентрация выброса. Определяется скорость и направление ветра в районе источника выброса, также рассчитывается поле скоростей и значение концентрации примесей для заданного района исследования с учетом особенностей рельефа, наличия растительности, геометрических характеристик.

Далее осуществляется прогноз, определяются зоны с концентрацией вредных веществ, превышающей ПДК для окиси углерода CO ($ПДК_{mp} = 5,0$ $ПДК_{cc} = 3,0$), углеводород CH ($ПДК_{mp} = 5,0$ $ПДК_{cc} = 1,5$), окислы азота NO_x ($ПДК_{mp} = 0,085$, $ПДК_{cc} = 0,04$), окислы серы SO_x ($ПДК_{mp} = 0,05$ $ПДК_{cc} = 0,5$).

На следующем этапе в наиболее вероятных зонах с превышением ПДК устанавливаются пункты контроля, производится серия измерений концентрации вредных веществ, значения которых сравниваются с расчетными. При небольших различиях в среднеквадратическом отклонении результатов (не более значения естественной изменчивости концентрации вредных веществ) замеров с данными модели принимается решение о доверии к данным.

Осуществляется прогноз на заданный срок скорость и направление ветра на высоте распространения примеси. В случае его отклонения от фактических значений производится перерасчет поля концентрации вредных веществ. При изменении направления ветра положения пунктов контроля корректируются.

При выявлении районов с превышением ПДК принимаются меры к снижению негативного влияния вредных веществ на личный состав. В таблице указана общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год в районе интенсивного использования типового аэродрома государственной авиации расположенного в Центральном федеральном округе.

Анализ таблицы показывает, что масса выбросов варьируется в диапазоне от 80 до 62244 кг в год. Такое количество вредных веществ, при их локализации в отдельных местах на аэродроме, может оказать значительный негативный эффект на состояние летного и обслуживающего персонала (рис. 3).

Общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы
от воздушных судов за год

Тип двигателя	Общая масса выбросов вредных примесей, $M_{\text{ВП}}$, в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год				
	Оксид углерода CO	Углеводороды CH	Оксиды азота NO _x	Оксиды серы SO _x	Частицы авиационного керосина
2ТРДФ АЛ-35	7470	1725	48975	693,75	2636,1
Д-30	9360	2190,24	62244	866,3	3464,7
Д-36	246	111	11826	80,61	322,6
Д-30КУ	5168,8	1260,96	22498,48	403,9	1615,5
Итого	22244,8	5287,2	145543,48	2044,56	8038,9

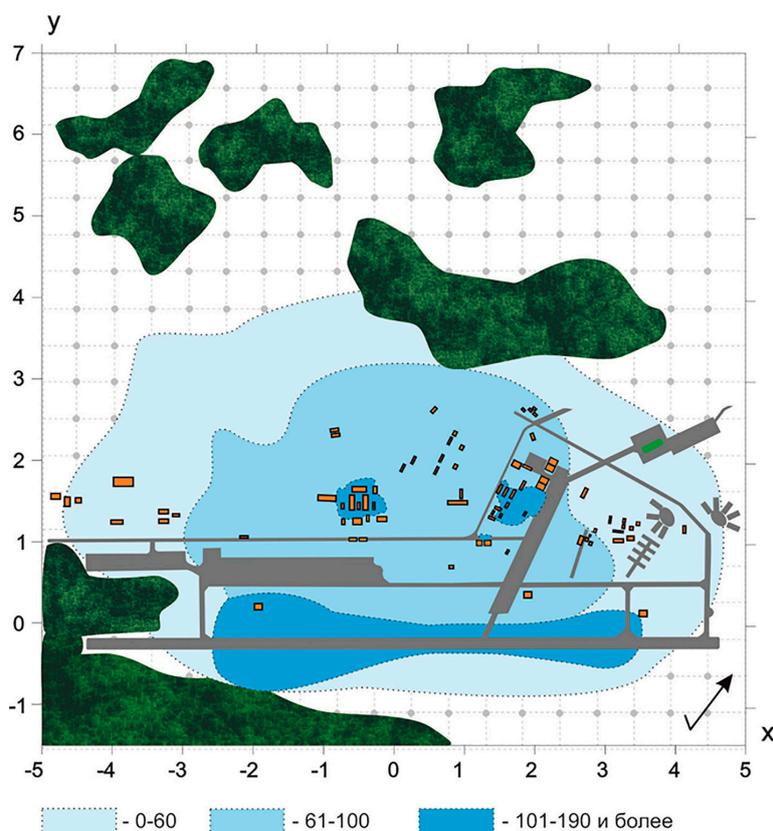


Рис. 3. Зоны с повышенными значениями вредных примесей за год в районе аэродрома

Для проведения оперативного экологического мониторинга необходимо предложить методику оценки возможного превышения ПДК в ожидаемых метеоусловиях для каждой зоны аэродрома. Такой подход также позволит рассчитать годовую нагрузку на исследуемую территорию и выявить наиболее опасные аэродромные зоны для разработки рекомендаций по минимизации нахождения в них персонала аэродрома.

Во время работы авиационных двигателей в приземном десятиметровом слое воз-

никают повышенные значения концентрации вредных веществ, что подтверждается многократными замерами проб воздуха в различных точках аэродрома. Для определения значения концентрации вредных веществ воспользуемся уравнением

$$C = Q \exp^{f_x f_y}, \quad (4)$$

где C – расчетные значения уровня концентраций загрязняющих элементов, Q – интенсивность эмиссий загрязняющих веществ от авиационного двигателя [10, с. 115],

$f_x f_y$ – коэффициент для описания процесса разбавления облака контаминантов при переносе его по оси абсцисс и координат в контрольных точках.

Мощность выброса вредных веществ воздушного судна определяется по формуле

$$Q = n \sum_{i=1}^N W_j t_j, \quad (5)$$

где n – количество двигателей, установленных на воздушное судно, W_j – скорость эмиссии, t_j – время работы двигателя в j -м режиме.

На рис. 4 показано распространение вредных примесей от точечных источников (самолета) при движении по взлетно-посадочной полосе с интервалом 10 м по оси X [11, с. 30].

Выбросы от точечных источников распространяются атмосферным воздухом, при этом на характер их распространения значительно влияет геометрия и плотность застройки на аэродроме.

Из рис. 5 очевидно, что архитектурная конфигурация и планировка зданий на типовом аэродроме государственной авиации, расположенном в Центральном федеральном округе, а также характеристики подстилающего ландшафта играют ключевую роль в процессе диффузии и концентрации загрязняющих веществ в районе аэродрома [12, с. 25]. В то время как здания и сооружения, расположенные на его территории, способствуют неоднородному распределению вредных примесей.

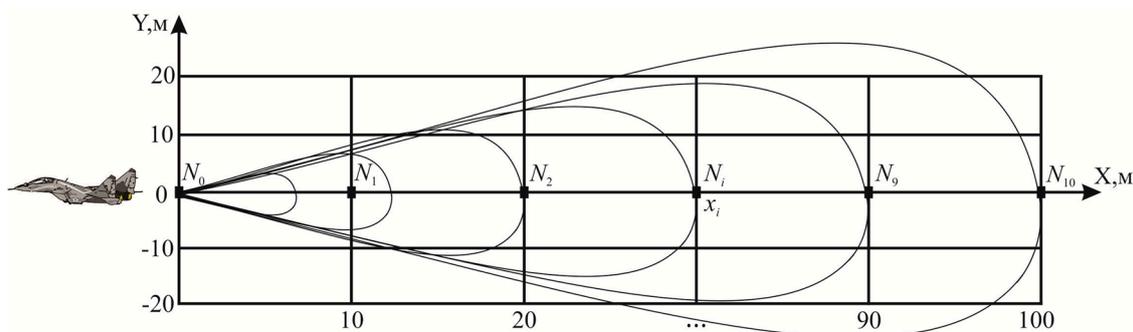


Рис. 4. Схема распространения вредных примесей при взлете (посадке) воздушного судна как совокупность точечных источников

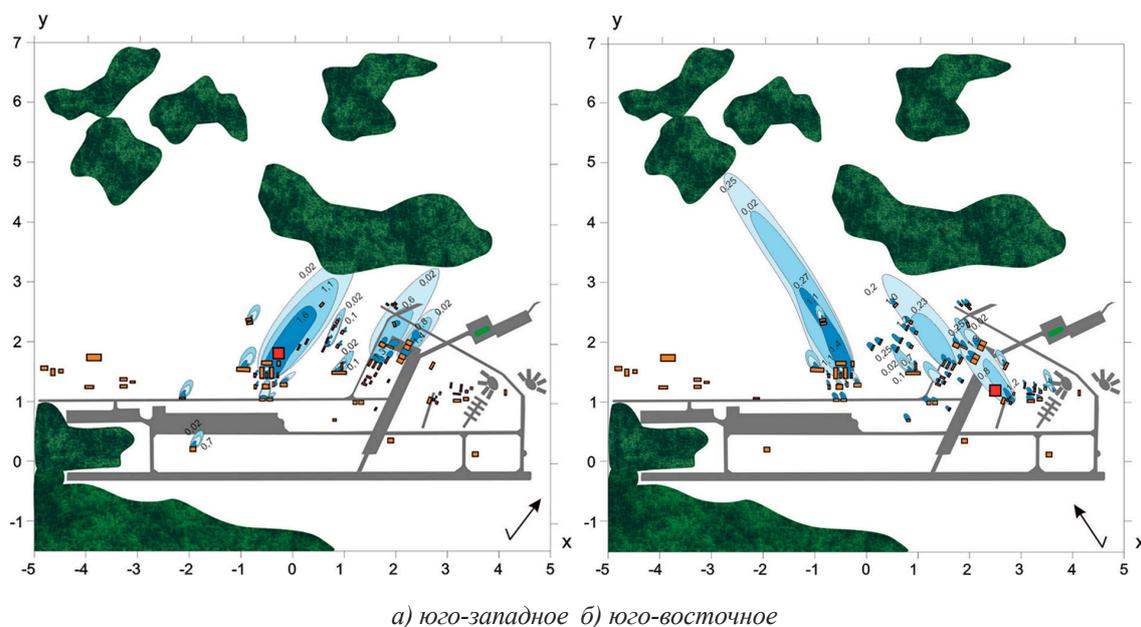


Рис. 5. Изолинии модуля вектора относительной скорости потока в сравнении с потоком при отсутствии зданий и лесных массивов при а) юго-западном, б) юго-восточном направлении ветра на высоте 10 м, где ■ – пункт контроля

Особенно высокие уровни загрязнения наблюдаются в зонах, где здания сгруппированы вплотную друг к другу, что способствует застою и повышенной концентрации вредных веществ.

В зоне лесопосадок скорость ветра снижается вследствие взаимодействия с растительностью, что приводит к уменьшению концентрации вредных веществ в воздухе. Анализируя данные, полученные в ходе численного моделирования с применением микромасштабных моделей, можно выявить увеличение интенсивности турбулентности у земной поверхности в ветровых потоках, особенно за строениями на их подветренной стороне и в районе насаждений.

Как видно из рисунка, форма, геометрия зданий и сооружений, характер подстилающей поверхности оказывают существенное влияние не только на перенос вредных примесей в районе аэродрома, но и на их концентрацию. Здания вносят существенный вклад в распределение вредных примесей. Причем максимальная концентрация образуется за зданиями, которые располагаются близко друг к другу.

Заключение

Таким образом, исследование позволяет определить характеристики распространения вредных примесей в районе расположения аэродрома государственной авиации, рассчитать динамику изменения концентраций как в непосредственной окрестности от источника вредных примесей, так и на удалении от него. Имея информацию о ветровых характеристиках, с учетом начальных и граничных условий, используя данный алгоритм, можем рассчитать изменение концентрации вредных примесей в различных точках пространства. Зная места расположения неблагоприятных экологических зон на территории аэродромов, появляется возможность точнее планировать расположение пунктов контроля для

повышения качества экологического мониторинга воздуха.

Список литературы

1. Косинова И.И., Фонова С.И., Базарский О.В., Плакшицкая И.П. Комплексная оценка геосферы жизнедеятельности населения Липецкого промрайона: монография. Воронеж: ВГАСУ, 2014. 175 с.
2. Косинова И.И., Фонова С.И. Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения веществ на городских магистралях // Инженерные изыскания. 2015. № 7. С. 24–27.
3. Базарский О.В., Косинова И.И., Фонова С.И. Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // Инженерные изыскания. 2015. № 5–6. С. 76–79.
4. Иванов В.И. Определение уровня загрязнения в районе аэродрома при работе авиадвигателей // Межвузовский сборник «Основные вопросы метеобеспечения гражданской авиации». Л.: ОЛАГА, 1982. С. 119–122.
5. Инструкция метеоподразделениям ВВС о порядке ведения радиационного и химического наблюдения, отбора проб атмосферных аэрозолей и подготовки метеорологических данных для оценки радиационной и химической обстановки. М.: Воениздат СССР, 1979. С. 15–17.
6. Старченко А.В., Данилкин Е.А., Нутерман Р.Б., Терентьева М.В. Применение микромасштабной метеорологической модели для исследования структуры течения над взлетно-посадочной полосой аэропорта // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 5. С. 91–100.
7. Исаев С.А., Белоусова Л.Ю., Баранов П.А. Численный анализ ветрового режима в окрестности аэропорта Пулково // Инженерно-физический журнал. 1999. Т. 72. № 4. С. 672–678.
8. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Маслова Н.В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда: монография. М.: Инфра-М, 2022. С. 130–134.
9. Рымаков А.Г. Рассеивание вредных примесей в воздухе приземного слоя: учебно-методическое пособие. М.: МИСИ-МГСУ, 2022. С. 41–49.
10. Маленёв А.И., Драбо А.И., Пигарев А.Е., Лебедев А.В. Математическое моделирование турбулентного ветрового потока // Успехи современной науки. 2017. Т. 9, № 3. С. 113–118.
11. Фонова С.С. Научно-методический аппарат оценки экологического риска загрязнения тяжелыми металлами в зоне дорог первой категории: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Воронеж, 2017. 36 с.
12. Маленёв А.И., Драбо А.И., Пигарев А.Е., Сотникова О.А., Мурашова Л.В. Математическое моделирование векторного поля ветра при обтекании искусственных сооружений // Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии. 2015. № 4. С. 22–30.

УДК 504.61
DOI 10.17513/use.38265

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ И АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ВЫБРОСОВ СВИНЦА И КАДМИЯ С ТЕРРИТОРИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ)

¹Туфанова О.П., ^{1,2}Котова Е.И.

¹ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: oksana.tufan@gmail.com;

²ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук,
Москва, e-mail: ecopp@yandex.ru

Данная работа была направлена на изучение динамики изменений и атмосферного переноса выбросов кадмия и свинца, поступающих от источников, расположенных на территориях трех месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Существенным является влияние нефтегазовой промышленности на окружающую природную среду, в том числе на загрязнение атмосферы. Особенно сильно это воздействие на окружающую среду северных регионов. В статье проанализированы данные о выбросах кадмия и свинца от источников загрязнения с территорий трех северных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского. Авторами проведен пространственно-временной анализ распространения кадмия и свинца атмосферными потоками, а также оседание этих загрязняющих веществ на подстилающую поверхность. Оценка потоков примесей из атмосферы выполнялась методом анализа статистики траекторий переноса воздушных масс и атмосферных примесей. Согласно полученным данным кадмий и свинец перемещаются воздушными массами с территорий месторождений в направлении севера и северо-востока. Также была рассмотрена динамика объемов выбросов кадмия и свинца от источников с территорий рассматриваемых месторождений, которая показала увеличение выбросов с Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений, а уменьшение – с Западно-Лекейягинского месторождения. Результаты исследования могут быть использованы для разработки мероприятий по охране окружающей среды при работе объектов нефтегазодобывающей промышленности Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Ключевые слова: выбросы, свинец, кадмий, трансграничный перенос, нефтегазовые месторождения

Исследование было проведено в рамках Проекта, поддержанного Российским научным фондом (№ 22-77-10074).

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF CHANGES AND ATMOSPHERIC TRANSPORT OF LEAD AND CADMIUM EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES (USING THE EXAMPLE OF DEPOSITS IN THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE)

¹Tufanova O.P., ^{1,2}Kotova E.I.

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: oksana.tufan@gmail.com;

²Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: ecopp@yandex.ru

This work was aimed at assessment of inter-annual changes and transfer through the atmosphere of cadmium and lead emissions from sources located in the territories of three fields in the north of the Timan-Pechora oil and gas province. The impact of the oil and gas industry on the environment, including atmospheric pollution, is significant. This impact on the environment of the northern regions is especially strong. The article analyzes data on cadmium and lead emissions from pollution sources from the territories of three northern fields of the Timan-Pechora oil and gas bearing province: Yuzhno-Khylchuyuskoye, Zapadno-Lekeyaginskoye and Ardalinskoye. The authors analyzed spatial and temporal distribution of cadmium and lead by atmospheric flows, as well as the deposition of these pollutants on the underlying surface. The assessment of the fluxes of impurities from the atmosphere was performed by analyzing the statistics of air mass transport trajectories and atmospheric impurities. According to the data obtained, cadmium and lead are transported by air masses from the territories of the deposits in the direction of the north and northeast. The dynamics of cadmium and lead emissions from sources from the territories of the considered fields was also considered, which showed an increase in emissions from Yuzhno-Khylchuy and Ardalinskoye fields, and a decrease – from Zapadno-Lakeyaginskoye field. The results of the research can be applied to the elaboration of environmental protection measures during the operation of oil and gas production facilities in the Timan-Pechora oil and gas province.

Keywords: emissions, plumbum, cadmium, transboundary transport, oil and gas fields

The study was conducted within the framework of a Project supported by the Russian Science Foundation (No. 22-77-10074).

Одной из причин загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами является попадание токсичных химических элементов в окружающую среду северного региона, вызванное сжиганием попутного газа и выбросами двигателей внутреннего сгорания транспорта.

Воздействие загрязняющих веществ на природную среду северных регионов особенно сильно из-за низкой интенсивности производственно-биоэнергетических процессов, а также ограниченности возможности арктических экосистем к быстрому восстановлению и самоочищению в сложных климатических условиях [1, с. 20–21].

Загрязнение атмосферы оказывает негативное влияние как на биосферу в целом, так и на здоровье человека как ее части. Основное влияние тяжелых металлов газопылевых выбросов при нахождении человека в условиях хронически загрязненной воздушной среды испытывают органы дыхания. Так, хроническое попадание меди, кадмия, хрома и никеля в органы дыхания может вызвать дефекты и структурное нарушение перегородки носа. Входящий в состав нефти свинец попадает в человеческий организм через пищевые цепи, накапливаясь со временем, он может вызывать серьезные проблемы со здоровьем. Свинец – кумулятивный яд, накопление которого увеличивает риск заболеваемости раком почек, мочевого пузыря, легких, желудка. Кадмий – один из самых токсичных тяжелых металлов, вызывающий рак легких [2].

Загрязнение поверхности земли вредными веществами происходит в том числе и в результате осаждения антропогенных примесей из атмосферных осадков, которые могут переноситься воздушными массами на значительные расстояния от источника их возникновения, то есть от объектов или территорий промышленной деятельности человека. Интенсивность атмосферных процессов оседания и вымывания веществ напрямую зависит в первую очередь от объемов выбросов. Большую роль в этих процессах играют структура рельефа местности и характер подстилающих поверхностей, а также турбулентность воздушных масс. Многолетний экологический мониторинг показывает, что трансграничные перемещения атмосферных примесей в меридиональном направлении происходят медленнее, чем в широтном [3, с. 306].

Промышленное освоение Арктики и строительство здесь мощных промышленных комплексов в совокупности с вышеука-

занными естественными процессами перемещения антропогенных примесей на значительные расстояния оказывают серьезное влияние на природу Севера.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха во многом зависит от метеорологических и природно-климатических условий в отдельном регионе и может значительно различаться без изменений в объеме и составе выбросов от промышленных предприятий и транспорта из-за воздействия [4, с. 21]. Метеорологические условия, влияющие на вертикальное и горизонтальное перемещение выбросов воздушными массами, такие как температура воздуха, осадки, направление и скорость ветра, устойчивость атмосферы, оказывают значительное влияние на распространение загрязняющих веществ за пределы мест их выброса [5, с. 92]. В условиях Арктики из-за слабого солнечного облучения и низких температур примеси могут задерживаться в воздухе на длительное время (особенно зимой – до 10 суток и более) и распространяться в атмосфере на расстояние до 10 тыс. км [6, с. 475–476].

Причины изменения значений выбросов кадмия и свинца могут быть связаны с работой нефтеперерабатывающих предприятий, а также используемого на месторождениях автотранспорта. На нефтегазовых месторождениях кадмий и свинец попадают в атмосферу вместе с выбросами газов и пыли во время высокотемпературных технологических процессов сжигания различных видов топлива, таких как нефть, газ, бензин, дизельное топливо, уголь, а также из-за металлургических операций и обжига цемента [2].

Кроме того, при добыче нефти попутный газ часто утилизируется простейшим образом – сжигается на месторождениях в специальных факельных установках, что приводит к значительным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу.

Целью исследования является оценка динамики изменений выбросов в атмосферу и атмосферного переноса выбросов свинца и кадмия с территорий объектов нефтегазодобывающей промышленности на примере трех месторождений северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений. Для этого были проанализированы объемы выбросов указанных веществ на территории каждого из рассматриваемых месторождений за 2015–2020 гг., а также

построены и проанализированы картосхемы атмосферных потоков свинца и кадмия от Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений.

Материалы и методы исследования

Южно-Хыльчуйское и Западно-Лекейягинское нефтегазовые месторождения, а также нефтяное Ардалинское месторождение находятся в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, северная часть которой расположена на территории Ненецкого автономного округа.

Южно-Хыльчуйское месторождение, расположенное в северной части Колвинского мегавала и открытое в 1981 г., относится к категории крупных как по балансовым запасам, так и по извлекаемым объемам нефти. Промышленная эксплуатация месторождения оператором «Нарьян-марнефтегаз» началась в 2008 г., объемы добычи нефти в разные годы составляли от 2,15 до 6,99 млн т [7].

Западно-Лекейягинское НГМ также относится к категории крупных по величине извлекаемых запасов нефти. Открыто месторождение было в 1988 г., в 2011 г. введено в эксплуатацию.

Размер Ардалинского месторождения классифицируется как мелкое, общий подтвержденный запас нефти оценивается в 16,4 млн т [8]. Месторождение открыто в 1988 г. Промышленная эксплуатация ведется оператором СП «Полярное сияние» с 1994 г.

Данные, отражающие показатели объемов выброса в атмосферу кадмия и свинца с территорий рассматриваемых месторождений, были получены в процессе работы с информацией, размещенной на сайте Центра по кадастрам и прогнозам выбросов (CEIP) ЕМЕР, который доступен для свободного использования через сеть Интернет [9].

Использование данных ЕМЕР об эмиссиях рассматриваемых металлов в атмосферу с определенных территорий позволяет более полно учитывать источники загрязнения, так как CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections) собирает данные о выбросах подкисляющих загрязнителей воздуха, тяжелых металлов, твердых частиц и фотохимических окислителей от стран – участниц Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и готовит на их основе базы данных, которые используются как исходные для моделей дальнего переноса загрязнителей.

Данные ЕМЕР о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу представлены в виде суммарных эмиссий за год на градусной сетке. В рамках исследования были проанализированы данные о выбросах кадмия и свинца с территории Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений за период с 2015 по 2020 г.

В работе был проведен анализ распространения загрязняющих веществ при переносе их воздушными массами от предполагаемых источников выброса с использованием метода статистики траекторий переноса воздушных масс. Основа метода описана в [10, 11]. Расчеты проводились на градусной сетке размером $1^\circ \times 1^\circ$. Исследование основных направлений переноса загрязняющих веществ от источника выбросов и характера движения воздушных масс было проведено на основе анализа построенных авторами картосхем за 2015–2020 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Для рассматриваемых месторождений характерны особенности климатических условий северных регионов России, такие как продолжительные суровые зимы, короткие летние периоды, слабо выраженные переходные сезоны, низкая солнечная активность зимой (количество солнечной радиации), значительная облачность, метели и туманы, наличие многолетнемерзлых пород. Снежный покров на этих территориях сохраняется примерно 7–8 месяцев в году. Эти геоклиматические особенности являются причиной повышенной чувствительности северной экосистемы к внешним воздействиям.

Наименьшее среднее значение выбросов кадмия и свинца в год за 2015–2020 гг. было получено от источников, расположенных на территории Западно-Лекейягинского месторождения, а наибольшее – от источников Ардалинского месторождения (рис. 1–3).

Полученные данные показывают, что средние значения выбросов свинца в атмосферу от источников загрязнения с территорий Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений после 2018 г. увеличиваются (рис. 2).

В то же время средние значения выбросов свинца в атмосферный воздух от источников с территории Западно-Лекейягинского месторождения после 2018 г. значительно уменьшаются (рис. 1).

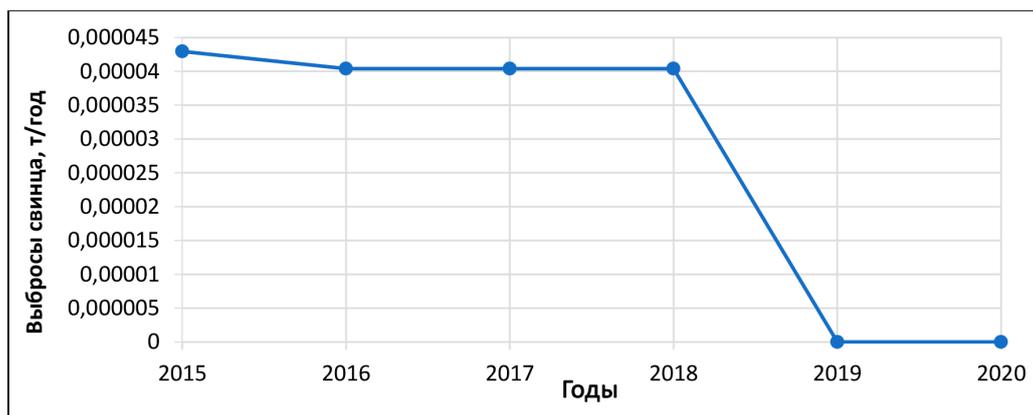


Рис. 1. Изменение количества выбросов свинца с территории Западно-Лекейягинского месторождения со временем (построена авторами по данным СЕИР)

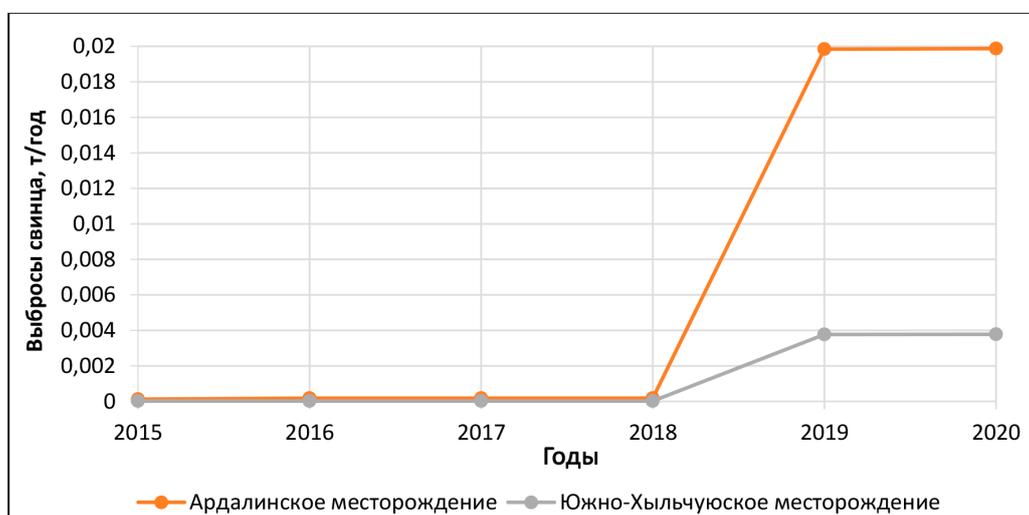


Рис. 2. Изменение количества выбросов свинца с территорий Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений со временем (построена авторами по данным СЕИР)

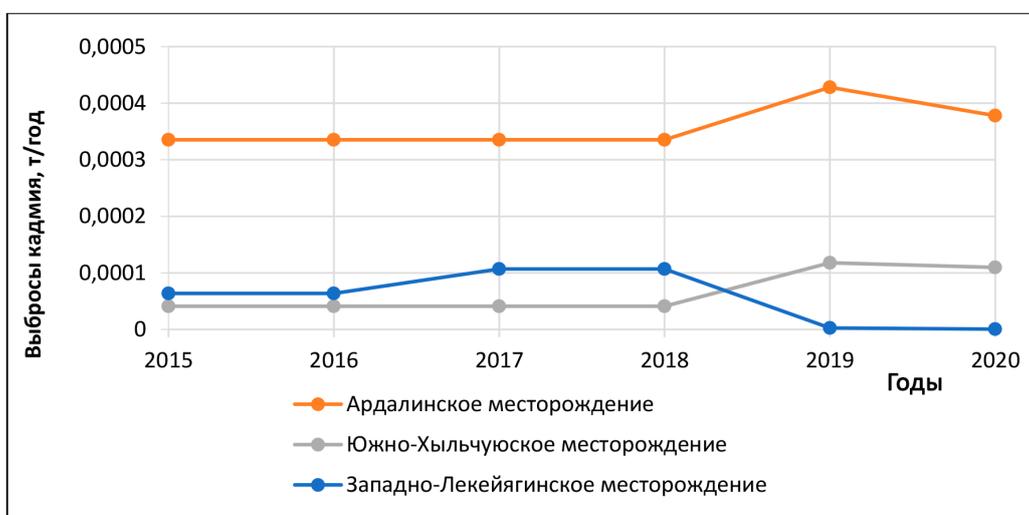


Рис. 3. Изменение количества выбросов кадмия с территорий трех рассматриваемых месторождений со временем (построена авторами по данным СЕИР)

Та же сходная динамика характерна и для выбросов кадмия, но есть некоторые отличия. От источников загрязнения на территории Южно-Хыльчуйского месторождения выбросы кадмия в атмосферный воздух после 2018 г. увеличиваются. Средние значения выбросов кадмия в атмосферный воздух от источников с территории Ардалинского месторождения после 2018 г. увеличиваются, однако в 2020 г. снижаются. Средние значения выбросов кадмия в атмосферный воздух от источников с территории Западно-Лекейгинского месторождения после 2016 г. увеличиваются, однако после 2018 г. объемы выбросов кадмия значительно снижаются (рис. 3).

Значение среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК) для свинца и кадмия в атмосферном воздухе составля-

ет $0,3 \text{ мкг/м}^3$. Расчетные значения среднесуточных концентраций кадмия и свинца в пределах рассматриваемых месторождений были ниже 1 нг/м^3 . Вместе с тем расчетные концентрации свинца и кадмия в воздухе в пределах Ардалинского месторождения были на порядок выше, чем для территорий Южно-Хыльчуйского и Западно-Лекейгинского месторождений.

Результаты расчетов модельных потоков свинца и кадмия с территории рассматриваемых месторождений были представлены в виде картосхемы пространственного изменения потоков кадмия и свинца из атмосферы вследствие выбросов от источников загрязнения с территорий Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений за 2015–2020 гг.

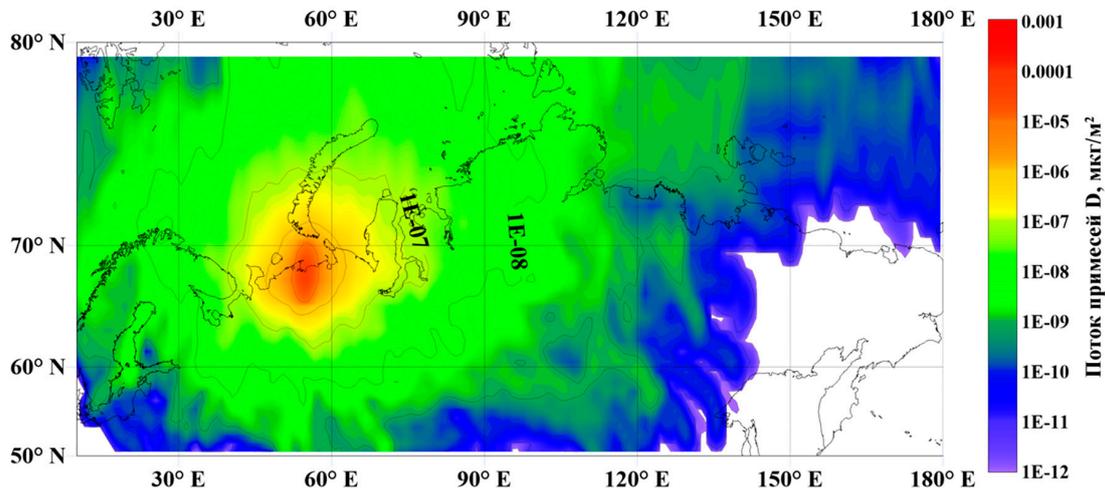


Рис. 4. Картосхема распространения потоков свинца от источников на территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2015–2020 гг.

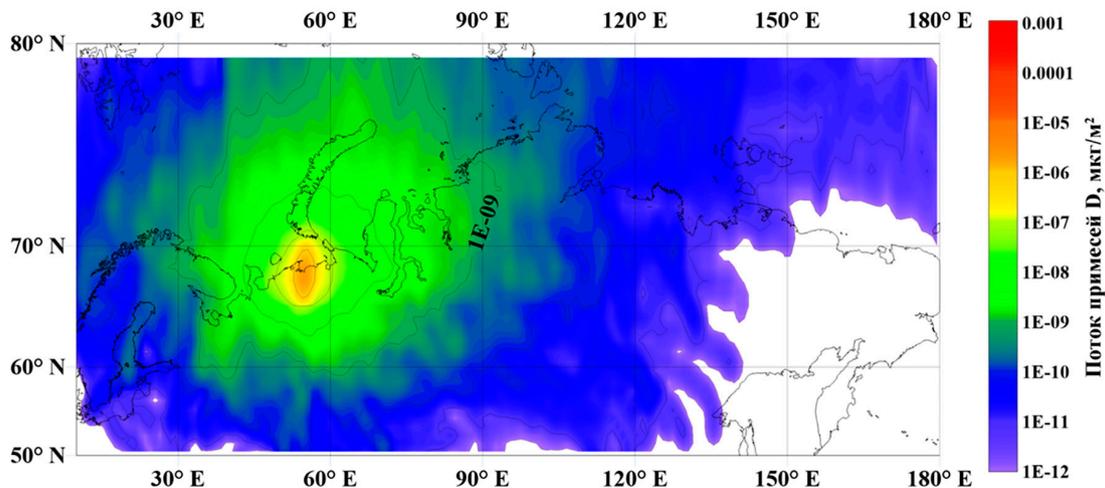


Рис. 5. Картосхема распространения потоков кадмия от источников на территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2015–2020 гг.

Картосхемы характера атмосферного переноса кадмия и свинца с территорий Южно-Хыльчуйского месторождения за рассматриваемые годы представлены на рис. 4 и 5. Для Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений картосхемы схожи с теми, что представлены.

Проведенные расчеты показали, что наибольшее распространение загрязняющих веществ, исходящих от месторождений, происходит в северном и северо-восточном направлении (рис. 4), то есть на акватории морей Северного Ледовитого океана в основном в меридиональном направлении.

На характер распространения загрязняющих атмосферу веществ существенное влияние оказывают сезонные изменения характера движения воздушных масс. В холодное время года примеси переносятся атмосферными потоками преимущественно в направлении севера и северо-востока на значительно большие территории (рис. 4), чем в теплое (рис. 5).

Это обуславливается тем, что в условиях Арктики, где преобладают низкие температуры и слабая инсоляция воздуха, загрязняющие вещества могут оставаться в воздухе на протяжении длительного времени – зимой до 10 дней и более [6, с. 475]. Зимой на севере европейской территории России содержание свинца и кадмия в воздухе выше, чем летом, из-за увеличения «времени жизни» тяжелых металлов в атмосфере при низких температурах. В летний период российские источники выбросов вносят основной вклад в загрязнение свинцом и кадмием окружающей среды на севере европейской территории России [10].

Заключение

Анализируя динамику выбросов свинца и кадмия согласно данным CEIP от источников Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений, видно, что в период 2015–2020 гг. выбросы этих двух тяжелых металлов увеличиваются. Динамика выбросов свинца и кадмия Западно-Лекейгинского месторождения показывает, что со временем выбросы свинца и кадмия от рассматриваемого месторождения сокращаются.

Примеси, выбрасываемые в атмосферу из источников загрязнения на территориях Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений, в основном распространяются на север и северо-

восток. Удаленность распространения примесей от эпицентра в период преобладания низких температур значительно больше, чем в теплое время года.

В некоторые годы и сезоны вклад выбросов загрязняющих веществ от нефтегазовых источников может быть значителен, но в целом концентрации выбросов и формируемые потоки свинца и кадмия от Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений имеют малые значения.

Полученные результаты могут быть полезны при разработке мероприятий по охране окружающей среды для объектов нефтегазодобывающей промышленности Тимано-Печорской нефтегазодобывающей провинции.

Список литературы

1. Туфанова О.П., Котова Е.И. Оценка степени загрязненности поверхностных вод при освоении нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 1 (310). С. 20–26.
2. Диагностика загрязнения почв тяжелыми металлами, происходящими через газопылевые выбросы. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/prombezopasnost/544956-diagnosticska-zagryazneniya-pochv-tyazhelymi-metallami-proiskhodyashchimi-cherez-gazopylevyevyubrosy/> (дата обращения: 08.03.2024).
3. Стрельников В.В., Мельченко А.И. Экологический мониторинг: учебник. М.: ИНФРА-М, 2023. 372 с. DOI: 10.12737/1019057.
4. Алексеев Д.К. Конспект лекций. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха. СПб.: РГМУ, 2021. 27 с.
5. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
6. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Арктические районы России (1986–2010 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
7. Южно-Хыльчуйское месторождение. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141630-yuzhno-khylchuyuskoe-mestorozhdenie/> (дата обращения: 06.03.2024).
8. Ардалинское месторождение. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/oil-gas-field/ardalinskoe> (дата обращения: 07.03.2024).
9. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections: Web site. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions/bc> (дата обращения: 07.03.2024).
10. Виноградова А.А., Котова Е.И. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России // Живые и биокосные системы. 2018. № 23.; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-23/article-2> (дата обращения: 06.03.2024). DOI: 10.18522/2308-9709-2018-23-2.
11. Котова Е.И., Туфанова О.П. Выбросы сажи с территории Южно-Хыльчуйского месторождения // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 78–82. DOI: 10.17513/use.38146.

СТАТЬИ

УДК 553.048

DOI 10.17513/use.38266

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ
ДЕКЛАСТЕРИЗАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ****Вяльцев А.С.***ТОО «Бай Тау Минералс», Алматы, e-mail: andrey.vyaltsev@baitauminerals.com*

Для корректной оценки минерализации достигнутая разведочная сеть, по которой отбирались пробы, должна быть равномерной во всех трех измерениях. Однако на практике описанная ситуация встречается крайне редко. Значительно более частой является ситуация, при которой в распоряжении геолога есть либо сети разных стадий разведки, либо участки сгущения в наиболее «интересных» местах. В результате наличия такой неравномерности использовать исходные пробы без дополнительных манипуляций становится невозможным, поскольку пробы характеризуют резко различные объемы недр. Подобная неприятная особенность пространственных данных называется кластеризацией. В данной статье рассматриваются такие процедуры устранения кластеризации, как частичное разрежение сети и введение поправочных коэффициентов, которые позволяют учесть неравномерность сети и при расчете статистических характеристик используются для присвоения весов исходным данным опробования. Также в сданной статье рассматриваются достоинства и недостатки каждого метода декластеризации. Даются рекомендации по выбору оптимальной сети декластеризации для двух случаев кластерных данных: когда требуется декластеризация для компенсации влияния кластеризации в области высоких содержаний и когда требуется декластеризация для компенсации влияния кластеризации в области низких содержаний.

Ключевые слова: кластеризация, декластеризация, взвешивание, неравномерность, представительность, разрежение, сеть

**METHODOLOGY FOR DETERMINING THE OPTIMAL CELL
DECLUSTERING FOR MINERAL RESOURCE ESTIMATION****Vyaltsev A.S.***LLP “Baj Tau Minerals”, Almaty, e-mail: andrey.vyaltsev@baitauminerals.com*

For a correct estimation of mineralization, the achieved drilling grid, along which the samples were taken, should be uniform in all three dimensions. In practice, however, the situation described above is extremely rare. Much more common is the situation in which the geologist has at his disposal either grid of different stages of exploration, or areas of densification in the most «interesting» places. As a result of such unevenness, it becomes impossible to use the original samples without additional manipulations, because the samples characterize sharply different volumes of the deposit. Such an unpleasant feature of spatial data is called clustering. This article considers such procedures of elimination of clustering as partial cell declustering and introduction of correction factors, which allow to consider the unevenness of the grid and in the calculation of statistical characteristics are used to assign weights to the original sampling data. Also, in the given article advantages and disadvantages of each method of cell declustering are considered. Recommendations are given on the choice of the optimal declustering grid for two cases of cluster data: when declustering is required to compensate for the influence of clustering in the high-grade area and when declustering is required to compensate for the influence of clustering in the low-grade area.

Keywords: clustering, declustering, weighting, uncertainty, representativeness, sparsity, grid

В статистике существует такое понятие, как «представительность (репрезентативность)». Это свойство выборки, которое показывает, насколько хорошо данная выборка характеризует объект «в целом». Для того чтобы выборка была представительной, необходимо, помимо прочего, чтобы каждая проба, входящая в выборку, освещала приблизительно одинаковый объем недр [1, с. 38–43]. Следовательно, нужно, как минимум, чтобы разведочная сеть, по которой отбирались пробы, была бы равномерной во всех трех измерениях [2, с. 37–39]. Однако жизненный опыт геолога подсказывает, что описанная ситуация встречается крайне редко. На практике значительно более частой является ситуация, при которой в рас-

поряжении геолога есть либо сети разных стадий разведки (например, сеть детальной разведки и сеть эксплуатационной разведки), либо участки сгущения в наиболее «интересных» местах. В результате наличия такой неравномерности использовать выборку «как есть» становится невозможным, поскольку пробы, составляющие выборку, характеризуют резко различные объемы недр. Подобная неприятная особенность пространственных данных называется кластеризацией [3]. Кластером обычно называют группу сближенных объектов. В данном случае такими объектами являются пробы, более подробно характеризующие участок, который по какой-либо причине показался геологу более интересным. Часто причиной

повышенного интереса являются повышенные содержания в том или ином участке месторождения. В результате проявления подобного интереса в выборку попадает большее количество относительно богатых проб, что на гистограмме проявляется в виде искусственной полимодальности, обусловленной исключительно неравномерностью сети.

Наличие неравномерной сети опробования встречается на практике гораздо чаще, чем наличие равномерной регулярной сети. Но, учитывая необходимость использования данных и понимание невозможности их использования «как есть», возникает вопрос: что делать при наличии таких кластерных данных?

Целями исследования в данной статье являются рассмотрение действующих общепринятых вариантов решения проблемы кластерных данных и формирование единого и обоснованного подхода к выбору оптимальной сети декластеризации.

Материал и методы исследования

В качестве метода исследования были выбраны рассмотрение и сопоставление действующих общепринятых вариантов декластеризации данных, а также рассмотрение их преимуществ и недостатков.

Общепринятыми методами устранения кластеризации являются следующие подходы [4, p. 448]:

1) изменение выборки таким образом, чтобы она стала выборкой, отобранной по регулярной сети;

2) введение индивидуальных поправочных коэффициентов для каждой пробы, учитывающих неравномерность сети.

Оба предлагаемых способа подготовки данных к использованию носят название процедуры декластеризации, то есть являются тем действием, которое должно устранить кластеризацию.

Частичное разрежение сети

Первый путь – путь частичного разрежения сети, т.е., по сути, исключения части данных таким образом, чтобы получаемая выборка уже могла считаться выборкой, отобранной по равномерной сети. Проще всего это сделать, создав модель идеальной сети, а потом подогнать существующие данные под идеал. Например, можно создать геометрически правильную сеть из прямоугольных ячеек одинакового размера, а затем выбрать существующие данные либо:

- ближе всего к центрам полученных прямоугольных ячеек;

- случайным образом выбрав по одной пробе из ячейки.

Следовательно:

1) на существующую сеть данных накладывается сеть ячеек одинакового размера;

2) из имеющихся данных выбираются:

- либо только те, которые оказались ближе всего к центрам ячеек регулярной сети, а пробы, отстоящие от центра дальше, чем выбранная, исключаются из выборки;

- либо в каждой ячейке регулярной сети случайным образом выбирается проба, а остальные пробы исключаются из рассмотрения.

В итоге выполнения подобной декластеризации получается почти регулярная сеть данных, но возникает вопрос: а зачем тогда были потрачены деньги и время на сгущение сети, если потом все равно эти данные выброшены? Именно по причине исключения части данных, которые могут нести очень ценную информацию, подобный подход не рекомендуется к применению [5].

Введение поправочных коэффициентов

Второй путь – введение поправочных коэффициентов. Данные коэффициенты позволяют учесть неравномерность сети (кластеризацию) и при расчете статистических характеристик используются для взвешивания. Эти коэффициенты принято называть весами декластеризации. Использование весов является наиболее широко применимым способом учета неравномерности сети [6]. Декластеризация с помощью взвешивания обычно выполняется одним из двух наиболее часто употребляемых способов:

- 1) полигональная декластеризация;
- 2) присвоение весов пробам.

Полигональная декластеризация

При использовании этого метода каждая проба взвешивается на объем области, которую она освещает. Для этого необходимо геометривать эту самую область. Разберем алгоритм для двумерного случая. Пусть у нас есть проба, для которой необходимо геометривать область пространства, освещенную ею. Алгоритм полигональной декластеризации:

- для данной пробы находят ближайшие соседи;
- отрезки, соединяющие эту пробу с ближайшими, делятся пополам;
- для всех отрезков строятся серединные перпендикуляры;
- через точки пересечения серединных перпендикуляров проводится контур той

области пространства, которая характеризуется данной пробой.

В результате выполнения описанной операции каждая проба оказывается в центре некоторого многоугольника в двумерном случае или многогранника – в трехмерном. И это как раз и будет та область пространства, которая освещается данной пробой. Любая точка внутри данной области ближе к «центральной» пробе этой области, чем к любой другой пробе выборки. Весом каждой пробы в таком случае будет являться площадь этого многоугольника в двумерном варианте или объем – в трехмерном. Данные области называются полигонами Вороного.

У подобной декластеризации есть одна неприятная особенность: пробы на краю изученного пространства оказываются окружены слишком большой областью (просто потому, что за пределами опробованного участка нет проб, которые ограничат многоугольник) [7]. В результате пробы на краю исследованной области приобретают непропорционально большой вес (рис. 1).

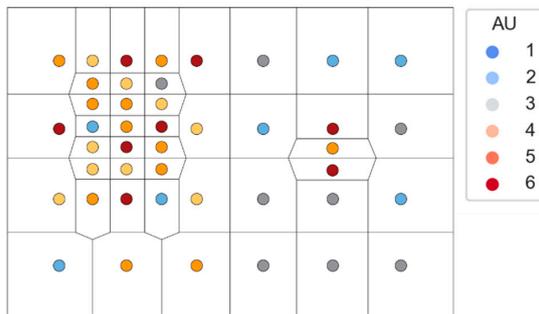


Рис. 1. Краевой эффект. Большая площадь полигонов на краях и, как следствие, некорректные веса у данных проб

Для минимизации краевого эффекта в программном обеспечении, в котором реализован этот алгоритм декластеризации, обычно пользователю предлагают ограничить максимальное расстояние, на которое растягиваются получаемые полигоны. Это могут быть контуры границ, каркасы рудных тел или просто предельное расстояние, задаваемое вручную. Необходимо заметить, что это ограничение, задаваемое вручную, несет в себе ощутимую долю волюнтаризма: на какое предельное расстояние тянуть полигон при отсутствии ограничений? 50 м? 100? 500?

Присвоение весов пробам

Рассмотрим также второй способ декластеризации, при которой вес пробе при-

сваивается на основании количества проб в пределах ячейки регулярной сети. При таком варианте декластеризации в пределах изученной области создается идеальная модель равномерной регулярной сети [8]. Делается это, как и в предыдущих случаях, путем накладывания сети из ячеек одинакового размера прямоугольной формы (в двумерном случае) или ячеек в форме параллелепипеда (в трехмерном случае) на опробованную область. После этой операции в пределах каждой «идеальной ячейки» сети подсчитывают количество проб. Предполагается, что вес каждого прямоугольника или параллелепипеда равен 1. Тогда вес каждой пробы будет обратно пропорционален количеству проб в пределах данной «идеальной» ячейки. Следовательно, если в пределах ячейки оказывается две пробы, то вес каждой – 1/2, если 3 – 1/3 и т.д. При наличии одной пробы в ячейке вес у нее будет равен 1.

В результате каждой пробе придается некий вес, а статистические характеристики рассчитываются с учетом взвешивания. К сожалению, в данном варианте декластеризации тоже есть свои минусы.

- При наличии неровных контуров исследуемой области (а они почти всегда такие) вес проб на краях опробованного пространства будет выше, чем в центре, даже при равномерной регулярной сети, потому что плотность та же, а опробованная область закончилась раньше, чем ячейка идеальной сети (рис. 2).

- Вес проб зависит от выбора начала отсчета «идеальной сети». Например, для ситуации, изображенной на рисунке 2, для отдельных краевых проб можно получить вес, равный 1, просто слегка сместив контуры «идеальных прямоугольников».

Чтобы исключить влияние этого фактора, в некоторых случаях проводят несколько шагов декластеризации, вводя систематическое смещение начала сетки. Веса, полученные после каждого шага смещения, нормируются на единицу, и результаты суммируются. Обычно бывает достаточно 5–10 смещений. По окончании манипуляций веса всех точек снова должны быть отнормированы так, чтобы их сумма была равна единице.

При выполнении такой декластеризации необходимо решить вопрос о размерах ячейки «идеальной сети». При этом «слишком большая» и «слишком маленькая» ячейки приведут к одинаковому результату, а именно – к выравниванию весов проб.

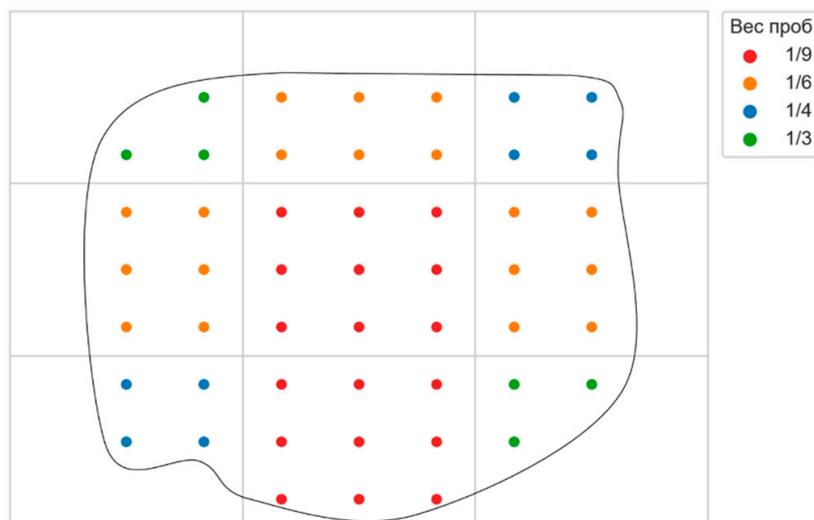


Рис. 2. Влияние контура рудного тела на веса проб

В случае слишком большой ячейкой все пробы попадают в одну из них, и вес каждой пробы в этом случае будет равен $1/N$, где N – количество проб. Соответственно, декластеризованное среднее содержание будет равняться исходному среднему содержанию в пробах.

В случае слишком мелкой ячейки каждая проба занимает одну ячейку и вес каждой пробы равен 1, т.е. веса всех проб тоже одинаковы. Соответственно, декластеризованное среднее содержание, так же как и при варианте с одной ячейкой на всю рассматриваемую площадь, будет рав-

няться исходному среднему содержанию в пробах.

Выбор оптимального размера ячейки декластеризации

Вопрос о выборе размера ячейки «идеальной сети» зависит от типа кластеризации.

Если данные кластеризованы случайным образом (есть области скопления проб, никак не связанных с их содержаниями), размер ячейки выбирается так, чтобы в областях с низкой плотностью опробования на одну ячейку приходилось приблизительно по одной пробе.



Рис. 3. Зависимость среднего содержания золота от размера ячейки сети декластеризации
Четко видно минимальное взвешенное среднее содержание

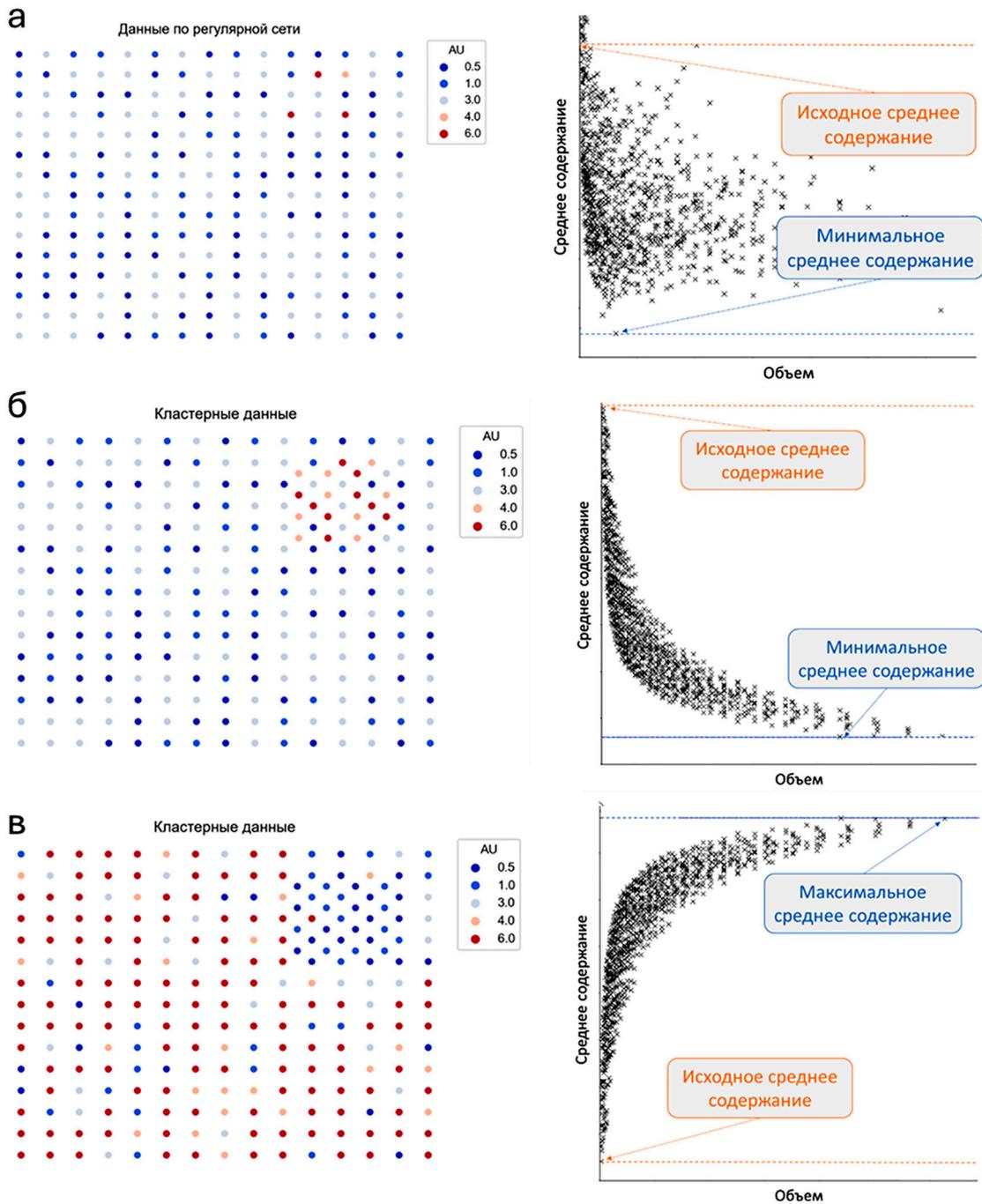


Рис. 4. а – зависимость между объемом ячейки и средневзвешенным значением не просматривается. Вероятнее всего, декластеризация не нужна; б – при увеличении объема ячейки происходит закономерное снижение средневзвешенного значения. Требуется декластеризация для компенсации влияния кластеризации в области высоких содержаний; в – при увеличении объема ячейки происходит закономерное повышение средневзвешенного содержания. Требуется декластеризация для компенсации влияния кластеризации в области низких содержаний

В случае же подозрения на наличие связи между содержанием и плотностью сети выполняется взвешивание по нескольким вариантам, задаваемым пользователем.

Для этого производится построение графика зависимости среднего содержания от различных вариантов размера ячейки. На рисунке 3 представлен самый простой

вариант, при котором анализируемые размеры ячеек сети декластеризации по всем трем осям одинаковы.

Обратите внимание, что первые два варианта размера ячеек приводят к одному и тому же результату, поскольку и при ячейке 1x1x1 м, и при ячейке 2x2x2 м внутри каждой из них попадает только 1 проба. Соответственно, вес у всех проб будет равен единице, и взвешенное среднее содержание будет равно исходному среднему содержанию. Далее можно заметить, что при размере ячейки сети декластеризации 7x7x7 м достигается минимальное взвешенное среднее содержание. После данного значения взвешенное среднее содержание начинает стремиться к исходному среднему содержанию и достигает его при наличии только лишь одной ячейки на всю рассматриваемую площадь, т.е. 1000x1000x1000 м.

Рекомендуется не ограничиваться выбором единых размеров ячеек по всем трем осям, а анализировать все возможные варианты. В таком случае по оси X на данном графике следует отображать не размер ячейки декластеризации, а объем ячейки декластеризации, т.е. размер по оси X * размер по оси Y * размер по оси Z.

В результате серии взвешиваний в распоряжении геолога оказывается набор данных, которые можно представить как пары «объем ячейки декластеризации / взвешенное среднее содержание» [9, с. 98–114]. График, построенный в этих двух осях, может быть близким к одному из вариантов, представленных на рисунке 4.

Результаты исследования и их обсуждение

После принятия решения о необходимости декластеризации требуется определить размер ячейки, которая будет использоваться для декластеризации. Предлагается два подхода к определению такого размера.

1. По соответствующей зависимости выбирается размер ячейки, при котором взвешенное среднее минимально (в случае наличия области высоких содержаний) или максимально (в случае наличия области низких содержаний). Если вернуться к первому, самому простому, случаю, то оптимальная ячейка декластеризации там составит 7x7x7 м. Если же наблюдается два и более минимальных взвешенных средних содержания, то выбирается наименьший размер ячейки декластеризации, при котором наблюдается минимальное взвешенное среднее содержание.

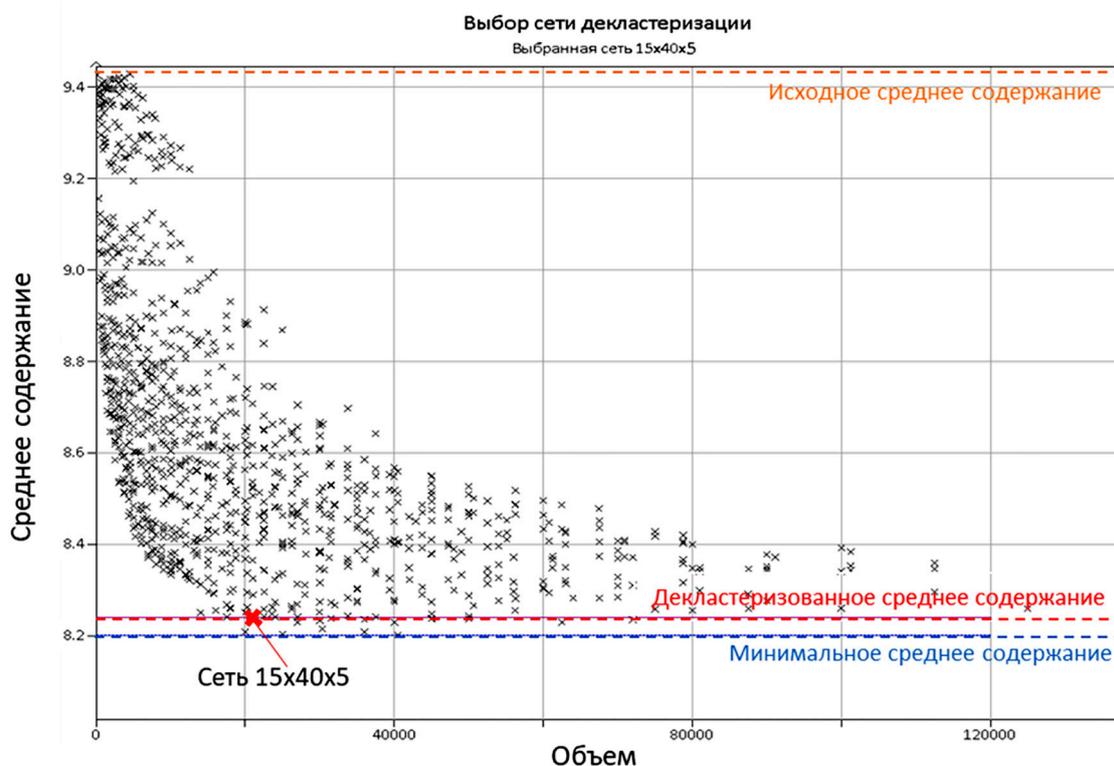


Рис. 5. Выбор оптимальной сети декластеризации, при котором среднее содержание «стабилизируется», т.е. график начинает выполаживаться

2. По соответствующей зависимости выбирается размер ячейки, при котором взвешенное среднее содержание стабилизируется (график начинает выполаживаться) (рис. 5).

Какой бы метод декластеризации ни использовался, обязательным условием является проверка качества проведенного процесса. Наилучшие способы – это визуальный анализ весов проб и сопоставление гистограмм.

Заключение

Исследование исходных данных опробования на кластерность является первоочередной задачей ресурсного геолога. Если в результате исследования кластерность данных подтверждается, то дальнейшая обработка исходных данных опробования без предварительной декластеризации приведет к смещенной оценке содержаний полезных ископаемых в модели минерализации.

Список литературы

1. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика. Теория и практика / под ред. Р.В. Арутюняна. М.: Наука, 2010. 327 с.
2. Капутин Ю.Е. Моделирование месторождений и оценка минеральных ресурсов (с использованием СТУДИИ 3). СПб., 2007. 188 с.
3. Coombes J. I'D like to be OK with MİK. A Critique of Mineral Resource Estimation Techniques // Coombes Capability. 2016. P. 245–261.
4. Pyrcz M.J., Deutsch C.V. Geostatistical reservoir modeling. New York: Oxford University Press, 2014. 496 p.
5. Coombes J. The Art and Science of Resource Estimation: A Practical Guide for Geologists and Engineers // Coombes Capability. 2016. P. 77–84.
6. Kent M., Catto B., Doyle M., Gibbs D., Matheson M., Singer R., Kendall B. Vann J. Tropicana Gold Mine, Western Australia – A Case Study of Non-Linear Mineral Resource Estimation. Mineral resource and ore reserve estimation // The AusIMM guide to good practice. Australia. 2014. P. 301-309.
7. Rondon O., Trueman A. A Practitioner's Guide to Recoverable Resource Estimation Using Localised Uniform Conditioning. Mineral resource and ore reserve estimation // The AusIMM guide to good practice. Australia. 2014. P. 387-394.
8. Stewart M., de Lacey J., Hodkiewicz P.F., Lane R. Grade Estimation from Radial Basis Functions – How Does it Compare with Conventional Geostatistical Estimation // Ninth International Mining Geology Conference. Adelaide. 2014. Vol. 129. P. 139.
9. Вяльцев А.С., Кирьяков Г.А. Базовая Оценка минерализации. М.: Издательские решения, 2024. 388 с.

УДК 551.311.234:[574.42+58.009+631.412]
DOI 10.17513/use.38267

СУКЦЕССИИ И ПЕРВИЧНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ГЛИНЯНЫХ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

Мануйлов А.А.

Федеральное государственное научное учреждение «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», Белгород, e-mail: inf152@yandex.ru

В работе представлены результаты исследований процессов формирования растительных сообществ и почвенного покрова на территории отработанных карьеров по добыче глин и суглинков. Объекты исследования находятся в разных административных районах на территории Белгородской области в условиях лесостепной зоны. Целью исследования является изучение процессов первичного почвообразования и сукцессий растительности на глинистых субстратах, нарушенных разработкой полезных ископаемых земель. В результате исследований было выявлено, что процессы сукцессии растительности протекают направленно от стадии пионерного растительного сообщества, с небольшим количеством одно-двухлетних видов и низким проективным покрытием, к стадии сформированного растительного сообщества, с более высоким видовым разнообразием, проективным покрытием и преобладанием многолетних видов в структуре фитоценоза. В результате формируется фитоценоз, обеспечивающий сплошное покрытие поверхности субстрата зеленой биомассой и мортмассой. Процессы первичного почвообразования протекают с постепенным накоплением органических веществ от растительного и микробного сообщества, изменением водородного показателя pH, структурированием почвенного профиля, постепенным формированием иллювиального горизонта и улучшением эдафических условий в целом для последующего протекания растительной сукцессии. В процессе почвообразования соотношение C:N в условиях пионерного сообщества в большинстве объектов уже, чем в условиях развитого сообщества.

Ключевые слова: нарушенные земли, глиняные карьеры, естественное зарастание, фитоценозы, начальное почвообразование, новообразованные почвы

PLANT SUCCESSION AND LANDSCAPE SOIL FORMATION ON THE TERRITORY OF POST-TECHNOGENIC CLAY QUARRIES IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE

Manuilov A.A.

Federal State Scientific Institution "Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Belgorod, e-mail: inf152@yandex.ru

The paper presents the results of studies of the processes of formation of plant communities and soil cover on the territory of spent quarries for the extraction of clays and loams. The objects of the study are located in different administrative districts on the territory of the Belgorod region in the conditions of the forest-steppe zone. The purpose of the study is to study the processes of primary soil formation and vegetation successions on clay substrates disturbed by the development of mineral lands. As a result of the research, it was revealed that the processes of vegetation succession proceed directionally from the stage of a pioneer plant community with a small number of one- to two-year-old species and low projective cover to the stage of a formed plant community with higher species diversity, projective cover and the predominance of perennial species in the structure of phytocenosis. As a result, a phytocenosis is formed, which provides a continuous coating of the substrate surface with green biomass and mortmass. The processes of primary soil formation proceed with a gradual accumulation of organic substances from the plant and microbial community, a change in the hydrogen pH index, structuring of the soil profile, gradual formation of the illuvial horizon and improvement of edaphic conditions in general for the subsequent course of plant succession. In the process of soil formation, the C:N ratio in the conditions of the pioneer community is narrower in most objects than in the conditions of the developed community.

Keywords: disturbed lands, clay quarries, natural overgrowth, phytocenoses, initial soil formation, newly formed soils

Нарушения почвенного покрова являются одними из самых ранних антропогенных негативных воздействий на состояние окружающей среды. Погребение почв под объектами капитального строительства, деградация земель в результате ведения интенсивного сельского хозяйства, добыча полезных ископаемых и т.д. – это всё воздействия, которые на протяжении тысячелетий приводят к снижению продуктивности земель или же их полному выводу из биоло-

гического круговорота. Интенсификация хозяйственного освоения природных ресурсов для целей экономического развития также формирует устойчивый тренд на увеличение количества техногенно деградированных ландшафтов. Данный факт подтверждается государственным докладом о состоянии окружающей среды [1], согласно которому на конец 2022 года площадь нарушенных земель увеличилась на 4,9 тыс. га в сравнении с 2021 годом, и общее их ко-

личество составило 1096,8 тыс. га и продолжает увеличиваться. Земли промышленности в категории нарушенных земель занимают большую часть, и их количество составляет 455,9 тыс. га. По данным Федеральной службы регистрации, кадастра и картографии, общая площадь земель промышленности на территории России составляет 2416,5 тыс. га [2], таким образом, можно утверждать, что 18,86% земель промышленности являются нарушенными.

Одним из характерных ландшафтов для земель промышленности, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых, является карьерно-отвальный тип ландшафта [3], для которого характерно серьезное нарушение естественных процессов функционирования природных геосистем [4; 5].

Данные земли за счет технологических особенностей выемки и складирования вскрышных горных пород на длительные промежутки времени оказываются оторгнутыми от биологического круговорота, и за счет критических нарушений связей между компонентами исходного природно-территориального комплекса восстановление нарушенных геосистем занимает довольно длительные промежутки времени [6].

Количество земель, техногенно нарушенных добычей полезных ископаемых, неуклонно и стремительно растет, а темпы рекультивации таковы, что количество рекультивированных земель данной категории меньше темпов роста, вследствие чего на данный момент большое количество нарушенных земель остается под процессами самоорганизации нарушенных компонентов ПТК [1; 7]. Также существует проблема стоимости проведения мероприятий по рекультивации, и по данной причине сроки работ по экологической реабилитации нарушенных земель постоянно сдвигаются, в то время как техногенные нарушения подвергаются естественным процессам зарастания и почвообразования [8].

Стоит отметить, что в Белгородской области техногенные нарушения почво-растительного покрова, возникшие в результате добычи ОПИ, являются одними из самых распространенных нарушений. По данным схемы территориального планирования [9], на территории Белгородской области разведано 222 месторождения полезных ископаемых, среди которых на данный момент [10] разрабатываются по лицензии 51 карьер и 146 несанкционированно. Наиболее распространенные – это карьеры по добыче глин, суглинков и песков, поскольку нали-

чие данных полезных ископаемых является обязательным условием для всех видов строительства. Они сопровождают каждый населенный пункт и формируются вследствие дорожного, жилищного строительства, при формировании дамб, прудов и т.д.

Вышеизложенные факторы дают понимание, что для поиска эффективных и рентабельных решений по экологической реабилитации нарушенных геосистем необходимо проведение исследований их естественного регенерационного потенциала, который может быть искусственно стимулирован.

Целью данной работы явилось изучение естественных регенеративных способностей компонентов нарушенной геосистемы на примере отработанных карьеров по добыче глин и суглинков.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступили отработанные карьеры по добыче глин и суглинков, находящиеся в стадии самозарастания. Располагаются объекты в различных районах Белгородской области, но имеют сходную литологию. Поверхности карьерно-отвальных комплексов имеют различный возраст, от нескольких лет до нескольких десятков лет, что связано с формированием технологических контуров. Выбор места описания растительности и почв определялся по состоянию растительности: были выбраны участки пионерного зарастания и участки развитых растительных группировок. Определение стадии сукцессии производилось по таким признакам, как проективное покрытие, видовой состав, высота травостоя.

Определение видового состава и принадлежности видов к определенным экологическим нишам производилось в соответствии с полевым атласом [11].

На каждом объекте исследования были отобраны почвенные образцы в соответствии с выделяемыми генетическими горизонтами почвенного профиля и было проведено ботаническое описание растительности в местах закладки разрезов.

Почвенные образцы анализировались в аналитической лаборатории ФГНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук» по стандартным методикам, по следующему перечню показателей:

- рН водной суспензии – потенциометрическим методом по ГОСТ 26423-85;
- содержание нитратов – ионометрическим методом по ГОСТ 26951-86;

- нитрификационная способность почв по Кравкову С.П.;

- подвижные соединения фосфора и калия – методом Мачигина по ГОСТ 26205-91;

- содержание карбонатов – ацидиметрическим методом по ГОСТ 34467-2018;

- органическое вещество и содержание органического углерода – методом Тюрина по ГОСТ 26213-91;

- общее содержание азота – методом индофенольной зелени по ГОСТ 58596-2019;

- емкость катионного обмена – методом Бобко – Аскинази в модификации ЦИНАО по ГОСТ 17.4.4.01-84.

*Участок исследования сукцессии
и первичного почвообразования
на отработанном карьере
по добыче глин в с. Ракитное*

Отработанный карьер по добыче глин и суглинков находится в юго-восточной части поселка Ракитное, Ракитянского района Белгородской области. Площадь карьера 0,046 км², высота над уровнем моря – 200 метров, глубина залегания грунтовых вод – 9 метров. Участок отработанного карьера выположенный, равномерный с на-

личием положительных и отрицательных мезоформ рельефа, формирующих в совокупности с растительностью пустошный карьерно-отвалный тип ландшафта (рис. 1, 2).

Координаты места отбора проб участка сформированного растительного сообщества – N 50.821914, E 35.858800. Координаты участка отбора проб участка пионерного зарастания – N 50.821949, E 35.858285.

*Участок исследования сукцессии
и первичного почвообразования
на территории отработанного карьера
по добыче глин и суглинков в г. Шебекино*

Отработанный карьер по добыче глин и суглинков находится в восточной части города Шебекино, в 6 км от государственной границы Российской Федерации. Представляет собой одноступенчатый заброшенный карьер по добыче глин в активной стадии растительной сукцессии техногенного нарушения общей площадью 0.077 км². Высота над уровнем моря 125 метров, глубина залегания грунтовых вод – 3 метра. Высота уступа – 3 метра, днище карьера – выположенное (рис. 2, табл. 3, 4).



А)



Б)

Рис. 1. Почвенные разрезы на местах отбора почвенных проб на отработанном карьере по добыче глин и суглинков в с. Ракитное: А – разрез на участке сформированного растительного сообщества; Б – разрез на участке пионерного зарастания



А)

Б)

Рис. 2. Разрезы на местах отбора проб на территории заброшенного карьера по добыче глин и суглинков в г. Шебекино: А – фото разреза на участке сформированного растительного сообщества; Б – фото на участке пионерного зарастания



А)

Б)

Рис. 3. Почвенные разрезы на территории карьера по добыче глин в г. Короча: А – участок сформированного растительного сообщества; Б – участок пионерного зарастания

Координаты места отбора проб на участке сформированного растительного сообщества – N 50.403760, E 36.967368, координаты участка отбора проб на месте пионерного зарастания – N 50.403053, E 36.968089.

Участок исследования сукцессии и первичного почвообразования на территории отработанного участка на карьере по добыче глин и суглинков в г. Короча

Карьер по добыче глин и суглинков находится в Корочанском районе Белгородской области в 6 км юго-восточнее города Короча. Представляет собой действующий карьер по добыче глины с наличием участков активной разработки и участками, на которых происходит растительная сукцессия. Общая площадь разработки – 0,271 км², высота над уровнем моря – 244 метра, глубина залегания грунтовых вод – около 100 метров (рассчитано от уровня водного зеркала

реки Короча, как самого ближайшего водного объекта). На месторождении сформирован пустошный карьерно-отвалный тип ландшафта, карьер имеет три уступа по 3 м (рис. 3, табл. 5, 6).

Координаты участка отбора проб на месте сформированного растительного сообщества – N 50.784065, E 37.269037. Координаты места отбора проб на участке пионерного зарастания – N 50.784102, E 37.268884.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно классификации, предложенной Андрохановым В.А., Кулягиной Е.Д. и Курачевой В.М., представленные типы почв относятся к эмбриоземам аккумулятивным [12]. По классификации почв России, предложенной Шишковым Л.Л., Тонконовым В.Д., Лебедевой И.И. и др. [13], представленные объекты исследования относятся к отделу слабозрелых почв, тип пелозёмов.

Таблица 1

Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на отработанном карьере по добыче глин и суглинков в с. Ракитное

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений, обилие
Сформированное сообщество	90	16	<i>Fragaria viridis (soc.)</i> , <i>Poa pratensis (soc.)</i> , <i>Festuca valesiaca (soc.)</i> , <i>Medicago falcata (cop.2)</i> , <i>Senecio jacobaea (cop.2)</i> , <i>Achillea millefolium (cop.1)</i> , <i>Vicia cracca (cop.3)</i> , <i>Daucus carota (cop.2)</i> , <i>Trifolium irgate (sp.)</i> , <i>Euphorbia irgate (sp.)</i> , <i>Galium verum (sp.)</i> , <i>Consolida regalis (sol.)</i> , <i>Pastinaca sativa (sol.)</i> , <i>Lythrum intermedia (cop.2)</i> , <i>Cichorium intybus (sol.)</i> , <i>Acer negundo (un.)</i>
Пионерное сообщество	30	10	<i>Melilotus officinalis (soc.)</i> , <i>Cirsium arvense (soc.)</i> , <i>Vicia cracca (cop.3)</i> , <i>Euphorbia virgate (cop.1)</i> , <i>Agrimonia eupatoria (cop.1)</i> , <i>Lactuca serriola (sp.)</i> , <i>Equisetum arvense (sp.)</i> , <i>Galium (sp.)</i> , <i>Artemisia absinthium (sp.)</i> , <i>Acer negundo (un.)</i>

Таблица 2

Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в с. Ракитное

Вариант	Глубина слоя, см	pHвод	N-NO ₃ , мг/кг	Нитрификационная способность, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	MeCO ₃ , %	Гумус, %	Сорг, %	Общий N, %	ЕКО мМ в 100 г	Соотношение Сорг./Нобщ.
Сформированное сообщество	0-2	7,78	1,18	5,45	8,57	6,50	1,31	0,75	0,063	6	12,06
	7-10	7,83	1,17	2,41	0,99	4,00	0,85	0,49	0,058	4	8,50
	>10	7,84	1,05	2,61	3,13	2,50	0,51	0,29	0,045	6	6,57
Пионерное сообщество	0-2	7,78	3,65	19,15	15,51	5,50	2,37	1,37	0,073	10	18,83
	>2	7,81	1,04	0,74	10,20	3,00	0,59	0,34	0,048	8	7,12

Таблица 3

Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на карьере по добыче глин и суглинков в г. Шебекино

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений, обилие
Сформированное сообщество	>80	9	<i>Calamagrostis epigejos (soc.)</i> , <i>Achillea nobilis (cop.)</i> , <i>Trifolium hybridum (cop.2)</i> , <i>Sonchus arvensis (un.)</i> , <i>Cirsium ciliatum (un.)</i> , <i>Anthemis arvensis (un.)</i> , <i>Cirsium palustre (un.)</i> , <i>Artemisia absinthium (un.)</i> , <i>Daucus carota (un.)</i>
Пионерное сообщество	<10	5	<i>Sonchus arvensis (soc.)</i> , <i>Cirsium vulgare (un.)</i> , <i>Daucus carota (un.)</i> , <i>Trifolium hybridum (un.)</i> , <i>Calamagrostis epigejos (un.)</i>

Таблица 4

Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в г. Шебекино

Вариант	Глубина слоя, см	pHвод	N-NO ₃ , мг/кг	Нитрификационная способность, мг/кг	P ₂ O ₃ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	MeCO ₃ , %	Гумус, %	Сорг, %	Общий N, %	ЕКО мМ в 100 г	Соотношение Сорг./Нобщ.
Сформированное сообщество	0-2	7,10	4,47	0,02	18,41	252	5,67	1,74	1,00	0,063	15,12	16,02
	2-5	7,30	2,98	0,01	13,73	199	4,64	1,12	0,64	0,078	15,12	8,32
	>5	7,31	2,64	0,41	13,42	170	4,12	1,07	0,62	0,063	12,96	9,85
Пионерное сообщество	0-2	7,36	3,34	5,39	14,55	164	12,7	1,11	0,64	0,070	15,12	9,19
	>2	7,29	2,92	0,71	9,79	164	12,5	1,61	0,93	0,059	14,04	15,82

Таблица 5

Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на карьере по добыче глин и суглинков в г. Короча

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений, обилие
Сформированное сообщество	>90	14	<i>Trifolium pratense (cop3)</i> , <i>Artemisia campestris (cop3)</i> , <i>Daucus Carota (sp.)</i> , <i>Artemisia absinthium (sp)</i> , <i>Vicia lutea (sp.)</i> , <i>Bromopsis inermis (sp)</i> , <i>Matricaria inodora (sol)</i> , <i>Cichorium intybus (sol)</i> , <i>Cirsium arvense (sol)</i> , <i>Reseda lutea (sol)</i> , <i>Echium vulgare (sol)</i> , <i>Festuca pratensis (sol)</i> , <i>Calamagrostis epigeos (sol)</i> , <i>Achillea nobilis (un)</i> ,
Пионерное сообщество	30	3	<i>Lactuca serriola (sp)</i> , <i>Trifolium hybridum (sp)</i> , <i>Daucus Carota (sp)</i> , <i>Artemisia campestris (un)</i>

Таблица 6

Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в г. Короча

Вариант	Глубина слоя, см	pHвод	N-NO ₃ , мг/кг	Нитрификационная способность, мг/кг	P ₂ O ₃ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	MeCO ₃ , %	Гумус, %	Сорг, %	Общий N, %	ЕКО мМ в 100г	Соотношение Сорг./Нобщ.
Сформированное сообщество	0-1	7,05	3,56	12,04	29,24	447	0	1,32	0,76	0,08	24,96	9,57
	1-5	7,50	2,73	0,88	7,56	218	0,15	0,68	0,39	0,04	16,64	9,86
	>5	7,59	2,37	0,21	1,1	147	0,09	0,37	0,21	0,025	24,96	8,58
Пионерное сообщество	0-2	7,03	2,07	0,07	0,54	165	0	0,29	0,16	0,023	20,8	7,31
	>2	6,89	1,96	0	0,09	53,0	0,1	0,1	0,05	0,013	24,96	4,46

*Характеристика сукцессии
растительности на участках зарастания
техногенно нарушенных земель*

Начальные этапы растительной сукцессии на территории оработанного карьера по добыче глин в с. Ракитное протекают с преобладанием в составе растительного сообщества двухлетнего *Melilotus officinalis* и многолетнего *Cirsium arvense*. В целом пионерную растительную группировку данного карьера можно охарактеризовать как донниково-бодячное растительное сообщество. В структуре пионерной группировки присутствует много многолетних видов травянистой растительности, а также единственный представитель *Acer negundo*. По совокупности разнообразия видового состава, наличия многолетних видов, проективного покрытия и наличия древесного вида можно сделать вывод о том, что карьер в поселке Ракитное уже довольно продолжительное время находится в стадии зарастания.

Выделение сформированного растительного сообщества на территории оработанного карьера по добыче глин в Ракитном происходит на основе намного большего видового покрытия (>90%), большего видового разнообразия и наличия эдификаторов среди формирующих фон сообщества видов. Сформированное сообщество можно охарактеризовать как землянично-мятликово-типчаковое. В структуре фитоценоза в наличии и степные виды, и луговые, но более вероятен тренд на формирование лугового сообщества.

Пионерное зарастание на территории оработанного карьера по добыче глин в г. Шебекино проходит с большим присутствием сорных видов-патентов (*Sonchus arvensis*, *Cirsium vulgare*), однако, даже несмотря на начальную стадию зарастания, в сообществе пионеров также уже присутствуют представители видов-эдификаторов (*Trifolium hybridum*, *Calamagrostis epigejos*), которые впоследствии дадут возможность видам-виолентам участвовать в сукцессии. Растительную группировку пионерного фитоценоза можно охарактеризовать как осото-бодяковое растительное сообщество.

Сформированное растительное сообщество на территории оработанного карьера по добыче глин в г. Шебекино можно охарактеризовать как вейниково-разнотравное сообщество. В структуре фитоценоза большую часть видов занимают растения-многолетники. Несмотря на то что выделяемый фитоценоз является относительно

молодым (по количеству представленных видов), можно сделать предположение, что развитие его будет направленным в сторону формирования лугового сообщества.

Пионерное растительное сообщество на карьере по добыче глин и суглинков в г. Короча представлено относительно бедным видовым разнообразием с преобладанием однолетних видов в структуре фитоценоза. Это свидетельствует о том, что участок пионерного зарастания на карьере в г. Короча – самый молодой среди остальных участков начального зарастания.

Сформированное растительное сообщество на карьере по добыче глин в г. Короча представлено развитым фитоценозом с большим процентом проективного покрытия. Сообщество может быть охарактеризовано как клеверно-полынно-разнотравная группировка. В структуре фитоценоза большая часть видов представлена многолетниками, особенно выделяется ассоциация азотфиксаторов (*Trifolium pratense*, *Vicia lutea*). Присутствуют также злаковые (*Calamagrostis epigeos*, *Bromopsis inermis*). Заметен тренд на формирование лугового сообщества.

*Эдафическая характеристика участков
почвообразования на представленных
объектах исследования*

На участке пионерного зарастания и начального почвообразования в с. Ракитное заметно, что почвообразовательный процесс находится в стадии интенсивного накопления органических веществ. В горизонте 0-2 см, относительно горизонта более 2 см (присущего С горизонту) снизился водородный показатель pH, накоплен определенный запас водорастворимых форм азота и фосфора, зафиксирована большая часть органического углерода. Особенно хочется привлечь внимание к нитрификационной способности верхнего горизонта участка пионерного зарастания: в стадии пионерного зарастания происходит заселение и сукцессия не только растительных форм жизни, но и бактериальных. В свободной экологической нише пионерного зарастания и почвообразования, в условии хорошего аэрирования верхнего горизонта, достигается очень высокая продуктивность бактерий азотфиксаторов, что является очень хорошим фактором успешности последующего зарастания территории.

На участке сформированного растительного сообщества в с. Ракитное, в условиях развитого фитоценоза, можно заметить, что

количество органогенных макроэлементов питания становится меньше, чем на стадии пионерного зарастания в верхнем горизонте (А). Происходит это по причине того, что устоявшееся растительное сообщество изымает определенную часть макроэлементов питания почвы в собственную биомассу и баланс органогенных элементов снова сместится в сторону накопления ближе к концу сезона вегетации с поступлением опада.

При этом интересно отметить, что на стадии начального почвообразования на участке пионерного зарастания формируется поверхностный слой сравнительно продуктивного горизонта с большим количеством накопленной органики. И далее водорастворимые соединения не накапливаются (АС горизонт). К тому же в условиях почвообразовательного процесса развитого растительного сообщества наблюдается, что водорастворимые соединения и органические продукты функционирования экосистемы равномерно распределяются по почвенному профилю. Происходит так благодаря тому, что в процессе почвообразования также происходит оструктурирование молодой почвы. Формирование ризосферы, проникание воды, воздуха и распределение тепла создают условия, при которых материнская порода суглинка выступает уже не таким резким геохимическим барьером, как на начальной стадии почвообразования.

По соотношению С:N можно отметить, что на обоих участках (сформированного и пионерного зарастания) идет активный процесс гумификации органических остатков. Учитывая преобладание органического углерода в верхних горизонтах исследуемых участков над количеством общего азота, можно сделать вывод о том, что больший вклад в формирование гумусовых веществ в условиях активного почвообразования привнесит детрит и более насыщенные азотом формы органических веществ находятся глубже, где интенсивность влияния растительных остатков снижается.

На участке пионерного зарастания глиняного карьера в г. Шебекино присутствует определенная схожесть с участком пионерного зарастания карьера в с. Ракитное. Так же происходит активное накопление макроэлементов питания растений (подвижных форм фосфора, калия, азота) в верхнем горизонте (слой до 2 см). Мобилизационная способность к накоплению азота нитратной формы так же намного выше в условиях пионерного зарастания, чем в условиях сформированного сообщества. При этом

содержание общего азота на участке пионерного зарастания больше, чем его содержание на участке сформированном в одних и тех же горизонтах. Такие результаты анализа могут говорить о том, что в структуре круговорота азота на начальном этапе зарастания находится большее количество азота в минеральной форме. Анализ на общее содержание азота учитывает и органический азот, и его минеральную форму. Вследствие этого, учитывая, что содержание гумуса и органического углерода на участке сформированного сообщества выше, можно сделать вывод о том, что в процессе зарастания происходит постепенное замещение минеральных форм азота на органическую форму, а на начальных этапах происходит активный круговорот минеральных форм, который и дал высокие показатели содержания общего азота на участке пионерного зарастания.

Относительно участка сформированного растительного сообщества в г. Шебекино можно утверждать то же самое, что и по поводу участка сформированного сообщества в с. Ракитное. Так же происходит улучшение эдафических условий в процессе растительной сукцессии, происходит структурирование почвенного профиля, накопление макроэлементов питания, увеличение количества органических форм азота и углерода, развитие ризосферы, а вместе с ней и улучшение физических свойств почвы.

По соотношению С:N на исследуемых участках заброшенного карьера в г. Шебекино можно отметить, что на участке сформированного растительного сообщества, так же как и на объекте исследования в с. Ракитное, большой вклад оказывает растительный опад, который за счет привнесения в подстилку углерода отмерших частей растений формирует преобладание углерода в структуре гумуса. Однако стоит отметить, что сужение данного соотношения на участке пионерного зарастания указывает не на зрелость гумуса, а на преобладание в структуре органического вещества остатков белковых веществ микробных сообществ. Зарастание пионерного участка находится в начальной стадии, растительное сообщество представлено разрозненными группами или индивидуальными представителями растений, поэтому большую роль в формировании гумусовых веществ играют белки отмирающих микроорганизмов, а не растительные остатки.

Участок пионерного зарастания нарушенных земель на территории глиняного карьера в г. Короча сильно выделяется сре-

ди других аналогичных объектов исследования. Данный участок весьма беден по содержанию макроэлементов питания растений как в органической, так и в минеральной форме. Также среди остальных участков пионерного зарастания его выделяет крайне низкая способность к мобилизации азота. Скорее всего, это происходит по той причине, что данное пионерное сообщество (представленное самым низким видовым разнообразием среди остальных пионеров других глиняных карьеров) является самым молодым. Вероятных причин того, что данный субстрат обладает крайне низкой нитрификационной способностью, может быть две: либо почвообразовательный процесс только зарождается на данном участке и свободную экологическую нишу еще не успели занять бактерии-азотфиксаторы, либо на данном участке присутствуют определенные факторы, которые ограничивают развитие микробного сообщества.

Участок сформированного растительного сообщества и активного почвообразования в г. Короча обладает теми же качествами, что и аналогичные объекты исследования в других районах. На данном участке наблюдается структурированное распределение макроэлементов питания по почвенному профилю от горизонта-продуцента, с постепенным снижением содержания продуктов функционирования растительного сообщества вниз по профилю.

Соотношение C:N на участках почвообразования в г. Короча примерно одинаковое для участка сформированного растительного сообщества и для участка пионерного зарастания. Так происходит ввиду того, что на участке сформированного сообщества, помимо интенсивного растительного опада, наблюдается сильная нитрификационная способность, что характерно для развитой бактериальной группировки, которая привносит в структуру гумусовых веществ определенную часть белковых соединений. На участке пионерного зарастания данное соотношение обусловлено тем фактором, что в условиях пионерного зарастания растительного опада мало относительно существующих белковых соединений микробиологического сообщества.

Заключение

Естественное зарастание и почвообразование на территории отработанных глиняных карьеров подчиняется тем же самым трендам, что и зарастание, и первичное почвообразование в условиях других подсти-

лающих пород. Начальные этапы развития растительной сукцессии и почвообразования в условиях подстилающих глинистых пород протекают с высокой интенсивностью накопления элементов минерального питания растений, постепенно улучшаются эдафические условия. Изменения эдафических условий протекают в тесной взаимосвязи с процессом растительной сукцессии. В процессе зарастания территории растительная группировка захватывает свободную экологическую нишу видами-патентами, преимущественно однолетними видами. Они обеспечивают первичную трансформацию почвенных условий, производят первичное накопление органических веществ в симбиозе с бактериальными группировками. Далее растительное сообщество усложняется, укрупняется, формирует сплошное покрытие поверхности субстрата зеленой биомассой и мортмассой. На этапе сформировавшегося растительного сообщества в почвенной среде наблюдается тренд уже не на активный рост количества биогенных элементов, а на их запасание в почвенном профиле. Начинает постепенно формироваться иллювиальный горизонт на стыке органогенного верхнего и материнской породы.

Разница в зарастании и почвообразовании между различными литологическими типами материнских пород заключается в разности физико-химических свойств представленных пород. При этом в условиях зарастания и почвообразования глиняных и суглинков отмечено, что распределение продуктов жизнедеятельности экосистемы происходит равномерно вглубь по профилю, поскольку глины и суглинки обладают более благоприятными физическими свойствами для почвообразования.

Список источников

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2022 году». Официальный интернет портал правовой информации. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2022/ (дата обращения: 24.02.2024).
2. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии «Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году». Официальный интернет-портал правовой информации. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc_Nation_report_2022_dop.pdf (дата обращения: 24.02.2024).
3. Петрищев В.П., Чибилев А.А. Закономерности формирования современной ландшафтной структуры горно-технических комплексов медноколчеданных месторождений

Оренбургской области // Проблемы региональной экологии. 2010. № 2. С. 89-94.

4. Hancock G.R., Martin Duque J.F., Willgoose G.R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands // Ecological Engineering. 2020. № 155. P. 105836. DOI:10.1016/j.ecoleng.2020.105836.

5. Корнилов А.Г., Петин А.Н., Сергеев С.В., Погорелов Ю.С., Тохтарь В.К., Присный А.В., Мартынова Н.А., Дроздова Е.А. Геоэкологические проблемы оптимизации и биорекультивации отвалов вскрышных пород железорудных месторождений КМА: монография / под общ. ред. А.Г. Корнилова. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. 124 с.

6. Голесов П.В. Антропогенное нарушение и самоорганизация природных геосистем // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Белгород: Политерра, 2015. С. 32-35.

7. Галайда К.П., Тальгамер Б.Л. Оценка самозаращения горных выработок на карьере известняков в г. Инкерман Крымского полуострова // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. № 7. С. 75-84.

8. Татаркина Ю.А., Слюсарь Н.Н. Применение временных рекультивационных покрытий на объектах захоронения отходов // Химия. Экология. Урбанистика. 2018. С. 150-154.

9. Схема территориального планирования Белгородской области: постановление Правительства Белгородской области от 31 октября 2011 года № 399-пп (ред. от 28.08.2023). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/469026598?ysclid=lmz83b7dps890670337> (дата обращения: 26.03.2024).

10. Рагулина О.П., Селоков А.О. Незаконная добыча общераспространенных полезных ископаемых на территории Белгородской области // Региональные геосистемы. 2023. № 4. С. 539-549. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-539-549.

11. Шанцер И.А. Растения средней полосы Европейской России. Полевой атлас. 6-е изд. М.: Т-во научных изданий КМК, 2020. 461 с.

12. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.

13. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

УДК 55:549.08:622.276.5
DOI 10.17513/use.38268

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВЯЗИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ КОМПОЗИЦИИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ И КВАРЦА

Песков А.В., Песков И.А.

*ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара,
e-mail: rednakel@yandex.ru*

В настоящей статье исследовалась фильтрация газа через насыпные образцы, заполненные композициями фракций кварца и глинистых минералов, таких как каолинит, монтмориллонит, хлорит и мусковит. Исследования проводились на отечественной установке «Дарсиметр» в диапазонах перепада давлений от 0,3 до 1,6 атм. Исследовались смеси фракций кварца размером 40, 63, 75, 150, 250 мкм и глинистых минералов при содержании 13, 25, 34, 50%. Для каждой композиции определен степенной закон зависимости расхода от перепада давления. Основой для полученной зависимости выбрана эмпирическая связь, которую использовали при фильтрации флюида через образцы песка. Также исследовались композиции одного и того же состава, представленные двумя образцами. В одном компоненте перемешаны хаотически, а в другом представлены слоями, в каждом из которых присутствует компонент или смесь. Для ряда образцов с большим содержанием глинистых минералов построены графики Клинкенберга для определения истинной проницаемости. Для смесей каолинита с кварцем возрастание содержания каолинита в 2–3 раза приводит к такому же снижению коэффициентов проницаемости и пропорциональности и показателя степени. Коэффициенты проницаемости и пропорциональности в смесях для кварца и монтмориллонита ориентировочно в два раза больше, чем для смесей каолинита и кварца. Исследования на образцах одинакового состава разных фракций с хаотическим распределением частиц и слоистым показали, что в образцах со слоистым расположением коэффициенты пропорциональности и проницаемости приближенно в 2 раза меньше, чем для хаотического. По ряду образцов с большой долей глины определены истинные коэффициенты проницаемости.

Ключевые слова: коэффициент пропорциональности, проницаемость, нелинейные зависимости, зерно, кварц, глинистые минералы, фракции

NONLINEAR DEPENDENCES IN GAS FILTRATION THROUGH COMPOSITIONS OF CLAY MINERALS AND QUARTZ

Peskov A.V., Peskov I.A.

Samara State Technical University, Samara, e-mail: rednakel@yandex.ru

In this article, gas filtration through bulk samples filled with compositions of quartz fractions and clay minerals such as kaolinite, montmorillonite, chlorite and muscovite was investigated. The research was carried out on the domestic Darsimeter installation in the pressure drop ranges from 0.3 to 1.6 atm. Mixtures of quartz fractions of 40 microns, 63 microns, 75 microns, 150 microns, 250 microns and clay minerals with a content of 13%, 25%, 34%, 50%. For each composition, a power law of dependence of the flow rate on the pressure drop is determined. The basis for the obtained dependence is an empirical relationship, which was used when filtering fluid through sand samples. Compositions of the same composition presented by 2 samples were also studied. In one, the components are mixed chaotically, and in the other they are represented by layers in each of which there is a component or mixture. For a number of samples with a high content of clay minerals, Klinkenberg graphs were constructed to determine the true permeability. For mixtures of kaolinite with quartz, an increase in the content of kaolinite by 2–3 times leads to the same decrease in permeability coefficients and proportionality and degree index. The coefficients of permeability and proportionality in mixtures for quartz and montmorillonite are approximately twice as large as for mixtures of kaolinite and quartz. Studies on samples of the same composition of different fractions with a chaotic particle distribution and a layered one have shown that in samples with a layered arrangement, the coefficients of proportionality and permeability are approximately 2 times less than for a chaotic one. True permeability coefficients have been determined for a number of samples with a large proportion of clays.

Keywords: proportionality coefficient, permeability, nonlinear dependencies, grain, quartz, clay minerals, fractions

Фильтрационно-емкостные свойства и многие другие физические свойства терригенных пород коллекторов нефти и газа главным образом зависят от содержания в породе глинистых минералов, их состава, свойств и распределения в объеме породы. Изучение газопроницаемости пород коллекторов остается актуальной задачей, так как этот важный параметр используется для построения гидродинамических моделей залежи углеводородов. В настоящее время имеются интересные и основательные ис-

следования газопроницаемости пород с глинистыми составляющими [1, 2]. Глинистые минералы – это сложные объекты, обладающие широкими вариациями изоморфных замещений, структурными дефектами и большим разнообразием политипных модификаций. Разновидности глинистых минералов с присущими им кристаллохимическими свойствами характерны для конкретного месторождения. Газопроницаемость пород с глинистой составляющей зависит от размера и укладки глинистых частиц

в агрегаты между собой, а также от размера и распределения зерен основного компонента-кварца. Одним из лучших методов лабораторной оценки надежности и экранирующих свойств пород-покрышек является измерение их газопроницаемости [3].

Цель исследования – определить вид степенной зависимости между расходом газа и перепадом давления на композициях фракций зерен кварца и глинистых минералов: каолинита, монтмориллонита, хлорита, мусковита при определенном их содержании. Также провести исследования для смесей одинакового состава при хаотическом и слоистом распределении компонентов. Оценить, как будут различаться параметры фильтрации газа при хаотическом распределении компонентов и слоистом. Для ряда образцов с большим содержанием глинистых минералов определить истинную проницаемость с учетом скольжения газа при использовании графика Клинкенберга.

Материалы и методы исследования

В данной работе используются искусственные образцы зерна с заданным содержанием и размером частиц кварца и глинистых минералов, позволяющих установить изменение фильтрационных свойств при изменении перепада давления. Зерна кварца представляют собой частицы оваловидной или полигональной формы, имеющие разный размер по длинной и короткой оси. Под глинистостью пород понимают наличие в породе минералов размером менее 10 мкм. В этой фракции находятся частицы глинистых минералов (алюмосиликатов), кварц, полевой шпат, карбонаты, сульфаты. Размер частиц глины меняется от 0,1 до 4 мкм. Содержание глинистых минералов варьирует от 13 до 50% в смеси. Проницаемость пород с глинистыми компонентами может зависеть от агрегатной текстуры компонентов. В исследовании образцы глинистых минералов были представлены диоктаэдрическим монтмориллонитом $(\text{Na,Ca})_{0,33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, клинохлором $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$, мусковитом $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, каолинитом. Зависимости между расходом газа и перепадом давления могут быть представлены линейным законом Дарси или нелинейными законами Форхгеймера и Барри-Конвея [4]. В данном исследовании определялись степенные связи $Q = k_c \Delta p^n$, где n может принимать значение в пределах от 1 до 0,5 [5, 6], Q – расход газа, Δp – перепад давления.

Исследования проводили с использованием установки «Дарсиметр».

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование проведено в текущий год. Диапазон изменения проницаемости от самой максимальной к минимальной варьирует от 0,03 до 2,41. Минимальной проницаемостью обладают образцы кварца фракции 10 мкм, 20 мкм, смеси кварца фракции 20 мкм и каолинита образцов № 21, 22. В работе рассчитывался коэффициент проницаемости и число Рейнольдса для образцов, заполненных частицами размером 63 мкм. Коэффициент проницаемости составил $2,8-3,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. Число Рейнольдса по Щелкачеву варьировало от 3 до 8. Тогда как критическое значение числа Рейнольдса [6] изменяется от 1 до 12. Для данного размера частиц показатель числа Рейнольдса находится на границе, когда возможно использовать линейный закон Дарси с учетом определенной погрешности либо применять нелинейный закон. Степенной закон связи расхода газа от перепада давления имел вид $6 \cdot 10^{-10} x^{0,905}$. Для ряда изучаемых образцов с диаметром зерен 63, 75, 150, 250 мкм показатели степени зависимости расхода газа от перепада давления варьируют от 0,45 до 1,1. Это обусловлено как размером частиц основного компонента кварца, так и количеством глинистой составляющей и ее видом: каолинитом, монтмориллонитом, хлоритом-клинохлором и мусковитом. Для образца смеси кварца размером частиц 250–300 мкм и 13% каолинита степенная зависимость имела вид $17,1 x^{0,52}$. Показатель степени этой зависимости близок к показателю для образца кварца с таким же размером зерен без примеси каолинита [7]. С увеличением содержания каолинита с 13 до 30% в смесях каолинита и кварца фракции 63 мкм показатель степени зависимости снижается от 0,82 до 0,25. Коэффициент проницаемости снижается от 0,38 до 0,1 Д. Далее исследовались смеси кварца фракции 63 мкм и монтмориллонита при его содержаниях: 13, 20, 30, 50%. В смесях использовались две кристаллохимические разновидности монтмориллонита: монтмориллонит 1 и монтмориллонит 2. С увеличением содержания монтмориллонита 1 от 13 до 50% показатель степенной зависимости снижается от 0,75 до 0,45, коэффициент пропорциональности k_c уменьшается с 6,4 до 1,9, а коэффициент проницаемости снижается с 0,58 до 0,18 Д.

Таблица 1

Параметры фильтрационных зависимостей образцов, состоящих из смеси фракции кварца и глинистой компоненты

№	Описание смеси	$Q = k_c(\Delta p)^n$	Коэффициент проницаемости k , м ² при $P = 1$ атм
1	87% 63 мкм кварца + 13% каолинита	$4,2x^{0,74}$	0,38
2	87% 63 мкм кварца + 13% каолинита	$3,9x^{0,83}$	0,35
3	63 мкм кварц	$17,1x^{0,77}$	2,41
4	75% 63 мкм кварц + 25% каолинита	$1,84x^{0,49}$	0,16
5	70% 63 мкм кварца + 30% каолинита	$1,2x^{0,25}$	0,1
6	87% 150 мкм кварца + 13% каолинита	$5,9x^{1,09}$	0,86
7	87% 250-300 мкм кварца + 13% каолинита	$17,1x^{0,52}$	1,65
8	87% 63 мкм кварца + 13% монтмориллонита 1	$6,4x^{0,75}$	0,58
9	87% 63 мкм кварца + 13% монтмориллонита 2	$12,54x^{0,83}$	1,2
10	80% 63 мкм кварц + 20% монтмориллонит 2	$4,2x^{0,8}$	0,42
11	70% 63 мкм кварца + 30% монтмориллонита	$3,4x^{0,67}$	0,31
12	Смесь 50% кварца – 75 мкм + 50% монтмориллонита 1	$1,9x^{0,45}$	0,18
13	87% кварца 75 мкм + 13% клинохлора	$16,1x^{0,84}$	1,51
14	70% кварца 75 мкм + 30% клинохлора	$11,1x^{0,72}$	1,04
15	70% 63 мкм кварц + 30% доломита	$3,2x^{0,64}$	0,30
16	87% 63 мкм кварца + 13% доломита	$8,97x^{0,82}$	0,76
17	75% мкм кварц + 25% доломита	$3,89x^{1,033}$	0,37
18	100% монтмориллонит	$0,91x^{-0,179}$	0,07
19	50% каолинит + 50% 75 мкм кварц	$0,95x^{-0,179}$	0,1
20	25% каолинит + 75% 75 мкм кварц	$1,27x^{0,0047}$	0,1
21	20 мкм кварц	$1,055x^{-0,088}$	0,03
22	10 мкм кварц	$1,01x^{-0,122}$	0,03
23	более 20 мкм кварц	$2,91x^{0,55}$	0,01
24	9 мкм Al_2O_3	$0,957x^{-0,167}$	0,08
25	66% 20 мкм кварц + 34% каолинита	$0,98x^{-0,18}$	0,03
26	80% кварца 40 мкм + 20% каолинита	$1,04x^{-0,143}$	0,1
27	87% кварца 40 мкм + 13% каолинита	$1,4x^{0,175}$	0,11

Таблица 2

Параметры фильтрационных зависимостей образцов со слоистыми компонентами

№	Описание	$Q = k_c(\Delta p)^n$	Коэффициент проницаемости, м ² при 1 атм
28	Слой смеси (75% 63 мкм кварца + 25% монтмориллонита) и слой 35% монтмориллонита	$1,35x^{0,13}$	0,13
29	Слой 34% кварца 75 мкм и слой 66% монтмориллонита – (толщиной 13 мм)	$1,77x^{0,33}$	0,16
30	Слой 65% кварца 75 мкм + слой 35% кварца 5 мкм	$1,66x^{0,26}$	0,14
31	Состав тот же, что и в образце 30 – фракции 5 мкм и 75 мкм кварца перемешаны	$2,77x^{0,55}$	0,24
32	Слой смеси из 63% кварца 63 мкм и 37% каолинита и слой 10% каолинита	$3,2x^{-0,74}$	0,44
33	Слой смеси (63% кварца 63 мкм + 37% каолинита) и слой 30% каолинита	$1,01x^{-0,126}$	0,15
34	Слой 75% кварца 75 мкм + слой 25% мусковита	$3,79x^{0,75}$	0,34
35	Состав тот же, что в образце 34. Фракции кварца и мусковита перемешаны	$7,6x^{0,85}$	0,7

Таблица 3

Линейные зависимости, полученные при аппроксимации кривых Клинкенберга, и истинная проницаемость К

№ образца	Линейная зависимость $k = f(1/\Delta P_{cp})$	К – истинная проницаемость
Эталон корунда 5 мд	$0,63x+4,57$	4,573
3	$1,99x+0,33$	0,328
5	$0,55x+0,086$	0,087
21	$0,0232x+0,0368$	0,368
22	$0,022x+0,037$	0,369
25	$0,02x+0,038$	0,038

В сравнении со смесью кварца и каолинита смесь с монтмориллонитом обладает большими значениями коэффициента проницаемости и пропорциональности – приблизительно в 3 раза большими. В смесях кварца фракции 63 мкм с доломитом 13, 25, 30% также наблюдается снижение величин коэффициента проницаемости и коэффициента пропорциональности. При увеличении содержания доломита показатель степени зависимости расхода газа от перепада давления снижается с 1 до 0,64. Изучалось влияние диаметра частиц кварца в смесях с одинаковым содержанием каолинита 13%. При изменении диаметра зерен от 63 к 150 мкм и далее до 250 мкм коэффициент проницаемости повышается от 0,38 до 1,65 Д. Коэффициент пропорциональности k_c в степенной зависимости $Q = k_c p^n$ (табл. 1) повышается от 3,9 до 17,1. Для образца 1 определялась относительная погрешность коэффициента проницаемости, которая составила не более 10% для семи повторных исследований. Далее были проведены опыты на образцах со значительной долей глинистой компоненты. Для образцов, представленных 100% содержанием монтмориллонита – образец 18 и смесью 50% каолинита и кварца 75 мкм – образец 19 коэффициенты пропорциональности k_c близки соответственно 0,95 и 0,91, коэффициенты проницаемости 0,07 и 0,1 Д имеют низкие значения. Показатель степени в зависимости расхода газа от перепада давления для обоих образцов имеет значение -0,179. Близкие значения коэффициента пропорциональности и показателя степени имеет образец 25 смеси кварца фракции 20 мкм и каолинита. Для образцов кварца 10 и 20 мкм показатель степени в зависимости имеет значение -0,122 и -0,088, а коэффициент пропорциональности 1,05 и 1,01 при коэффициенте проницаемости 0,03 Д. Далее

проводились исследования по определению проницаемости в образцах имеющих двухслойное строение с прослоем тонкодисперсного материала – каолинита, монтмориллонита, гидрослюды, тонкодисперсного кварца и слоя кварца фракций 63–75 мкм. Так, образец 32 состоит из двух слоев: из каолинитового толщиной 6 мм и слоя смеси кварца фракции 63 мкм и каолинита. В образце 33 каолинитовый слой имеет толщину в 3 раза большую, чем слой в образце 32. Поэтому коэффициенты пропорциональности и проницаемости образца 33 в 3 раза меньше, чем для образца 32, а показатель степени изменяется от -0,74 до -0,126. Образцы 34 и 35 представлены одинаковым составом веществ 25% мусковита и кварцем. В образце 35 эти составляющие равномерно перемешаны, а в образце 34 имеются два слоя – с чистым кварцем и с мусковитом. Коэффициент проницаемости и пропорциональности образца 34 со слоистым расположением веществ в 2 раза ниже, чем для образца 35. В образцах 28 и 29 имеются прослой с монтмориллонитом, и в образце 29 этот слой в 2 раза больше, чем в 28 образце. Слой в 29 образце состоит из чистого кварца, а в 28 образце в слое кварца присутствует 25% монтмориллонита. Коэффициенты пропорциональности и проницаемости для 28 образца на 25% меньше, чем для образца 29. В образцах 30 и 31 содержатся две фракции кварца размером частиц 5 мкм при содержании 35% и фракция кварца 75 мкм. Однако в образце 31 обе фракции равномерно распределены друг относительно друга, а в образце 30 имеются два отдельных слоя, состоящих из фракции 5 мкм и фракции 75 мкм. Коэффициенты пропорциональности и проницаемости образца 31 с хаотическим распределением фракций в 1,7 раза больше, чем для образца 30 со слоистым распределением фракций.

Показатель степени в зависимости расхода газа от перепада давления в образце 31 больше, чем в образце 30, в 2,1 раза. Для ряда образцов с большой долей глинистого вещества находилась истинная проницаемость по графикам Клинкенберга [7]. Графики Клинкенберга – это зависимости кажущейся проницаемости от обратной величины среднего давления (табл. 3). Полученные значения истинной проницаемости сопоставимы с данными, полученными при перепаде давления 1 атм.

Заключение

Изучена газопроницаемость композитных смесей, состоящих из фракции кварца 63, 75, 150, 300 мкм и глинистых минералов. С увеличением содержания глинистых минералов в смеси с кварцем фильтрационные параметры: коэффициенты проницаемости, пропорциональности и показатель степени – снижаются в зависимости от перепада давления. В частности, для смесей каолинита с кварцем возрастание содержания каолинита в 3 раза приводит к такому же снижению коэффициентов проницаемости и пропорциональности. Коэффициенты проницаемости и пропорциональности в смесях для кварца и монтмориллонита ориентировочно в 2 раза выше, чем для смесей каолинита и кварца. Для образцов смесей хлорита и кварца коэффициенты проницаемости и пропорциональности ориентировочно в 4 раза выше, чем для смесей каолинита и кварца. Данные фильтрационные показатели получены для конкретных глинистых минералов в данном исследовании. С увеличением размера зерен кварца в определенное число раз в смеси

с каолинитом приближенно увеличиваются во столько же раз коэффициенты пропорциональности и проницаемости. Показатель степени для последних зависимостей расхода газа от перепада давления снижается. Опыты на образцах одинакового состава разных фракций с хаотическим и слоистым распределением частиц показали, что в образцах со слоистым расположением коэффициенты пропорциональности и проницаемости приближенно в 2 раза меньше, чем для хаотического. По ряду образцов с большой долей глин определены истинные коэффициенты проницаемости.

Список литературы

1. Михалкина О.Г., Семёнов Е.О., Коновалов В.А. Влияние глинистых минералов на газопроницаемость пород-коллекторов дагинской свиты Охотской нефтегазоносной провинции (шельф о. Сахалин) // Вести газовой науки. 2018. № 5 (37). С. 72–80.
2. Чувилин Е.М., Гребенкин С.И., Жмаев М.В. Влияние гидрато- и льдообразования на газопроницаемость песчаных пород // Вести газовой науки. 2018. № 3 (35). С. 264–270.
3. Троицкий В.М., Рассохин С.Г., Соколов А.Ф., Мизин А.В., Ваньков В.П., Рассохин А.С. О результатах исследования фильтрационных свойств пористых сред с ультранизкой газопроницаемостью // Вести газовой науки. 2021. № 2 (47). С. 118–124.
4. Толпаев В.А., Ахмедов К.С., Гоголева С.А. Нелинейные законы фильтрации при больших скоростях потока // Нефть и газ. 2015. № 5. С. 83–89.
5. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 736 с.
6. Песков А.В. Нелинейные зависимости при фильтрации газа через образцы расклинивающего материала // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 118–123. DOI: 10.17513/use.37938.
7. Песков А.В. Особенности измерения абсолютной проницаемости горных пород // Вестник Самарского государственного технического университета. 2020. Т. 28, № 2. С. 73–81.

УДК 550.42
DOI 10.17513/use.38269

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕТАНОЛА В НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

Румянцев И.С., Губайдуллин М.Г.

ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: iv.rumiantseff2017@yandex.ru, m.gubaidulin@narfu.ru

В статье рассмотрены вариант проекта по производству метанола в Ненецком автономном округе и возможное негативное воздействие на компоненты верхней части геологической среды при его реализации. Данный проект планируется реализовать на базе разработки Кумжинского и Коровинского газоконденсатных месторождений. Проект включает в себя буровые (бурение скважин) и строительные работы (строительство скважин, строительство газопровода, строительство вахтового жилого комплекса, строительство газохимического комплекса, строительство морского терминала, строительство автомобильной дороги). Все эти работы наносят непоправимый вред окружающей среде. Воздействие происходит на все геосферы Земли: атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу. В верхней части литосферы (земной коре) есть область, которая подвергается хозяйственной деятельности человека (строительным, буровым работам). Эта область называется геологической средой. Геологическая среда состоит из таких компонентов, как почвы, подземные и поверхностные воды, грунты, почвенно-растительный покров и объекты антропогенного происхождения (антропогенные ландшафты, терриконы и др.) При реализации данного проекта, как и при реализации любого другого углеводородного проекта, будет происходить негативное воздействие на окружающую среду, в том числе на геологическую среду.

Ключевые слова: Ненецкий автономный округ, газоконденсатные месторождения, многолетнемерзлые породы, геологическая среда, скважины, газопроводы, газохимический комплекс, морской терминал

ANALYSIS OF POSSIBLE GEOECOLOGICAL IMPACT ON COMPONENTS OF THE TOP GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE REALISATION OF THE METANOL PRODUCTION PROJECT IN THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Rumyantsev I.S., Gubaydullin M.G.

M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk,
e-mail: iv.rumiantseff2017@yandex.ru, m.gubaidulin@narfu.ru

The article considers a variant of the project for methanol production in the Nenets Autonomous District and possible negative impact on the components of the upper part of the geological environment during its implementation. This project is planned to be realised on the basis of development of Kumzhinskoye and Korovinskoye gas condensate fields. The project includes drilling (drilling of wells) and construction works (construction of wells, construction of a gas pipeline, construction of a shift accommodation complex, construction of a gas chemical complex, construction of a marine terminal, and construction of a motorway). All these works cause irreparable damage to the environment. All geospheres of the Earth, i.e. the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and biosphere are affected. In the upper part of the lithosphere (Earth's crust) there is an area that is subjected to human economic activity (construction, drilling). This area is called the geological environment. The geological environment consists of such components as soils, underground and surface water, soils, soil and vegetation cover and objects of anthropogenic origin (anthropogenic landscapes, spoil heaps, etc.). The implementation of this project, as well as any other hydrocarbon project, will have a negative impact on the environment, including the geological environment.

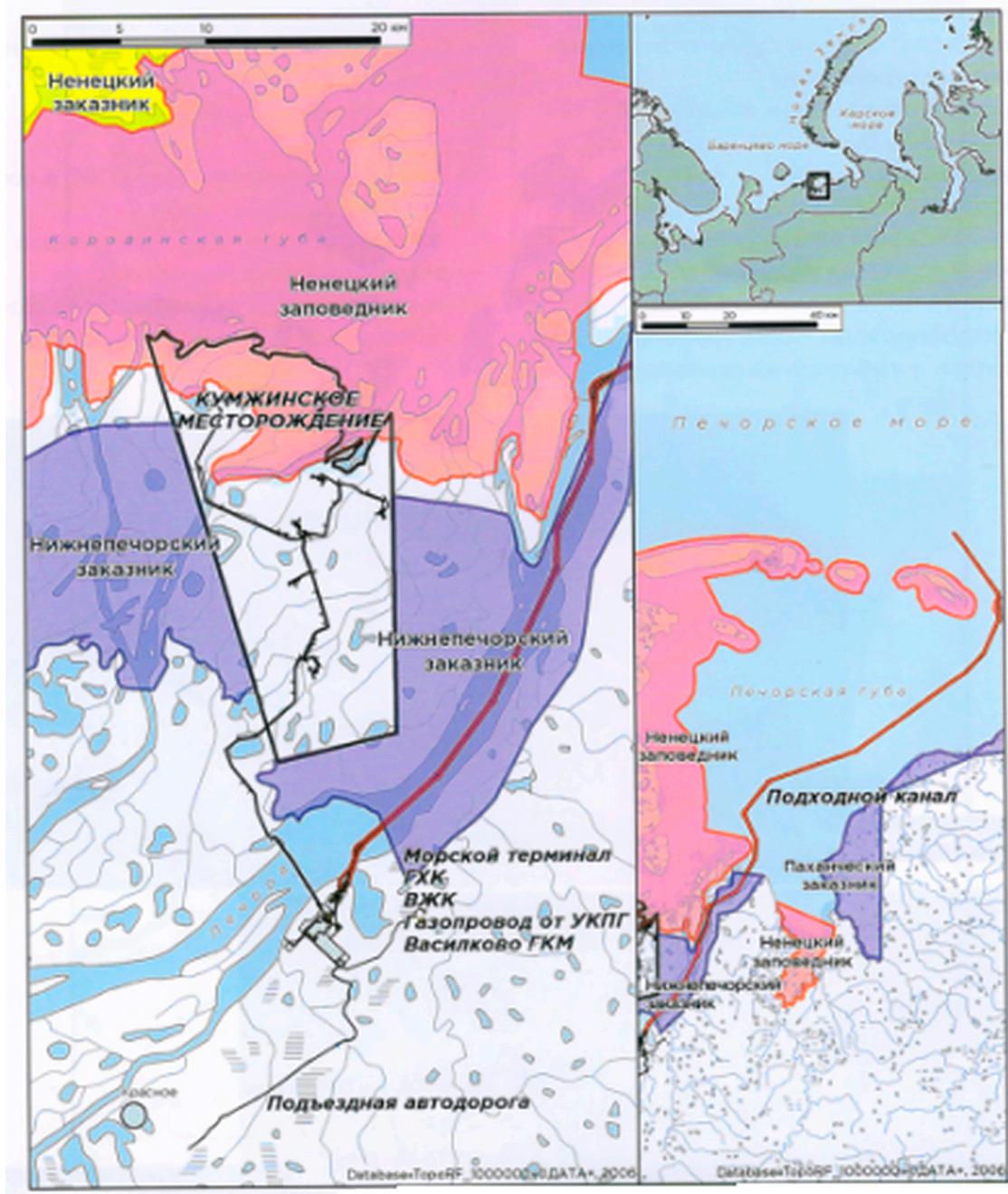
Keywords: Nenets autonomous okrug, gas condensate fields, permafrost, geological environment, wells, gas pipelines, gas-chemical complex, sea terminal

Реализация проекта по производству метанола в Ненецком автономном округе на сегодняшний день в перспективе. Важность проекта заключается в том, что выходным продуктом будет метанол, который используется в различных отраслях промышленности. Метанол используется в автомобильной промышленности, в энергетической промышленности, в химической промышленности, в производстве уксусной кислоты, в газовой промышленности (ингибитор гидратообразования).

Целью данной статьи является анализ влияния работ, связанных с реализацией проекта по производству метанола в Ненецком автономном округе, на геологическую среду.

Материалы и методы исследования

Материалы для анализа – это уже имеющиеся данные проекта по производству метанола в Ненецком автономном округе (НАО). Проект принадлежит компании «РусХим».



Ситуационный план объектов [3]

Данный проект предусматривает строительство газохимического комплекса по переработке природного газа на базе Кумжинского и Коровинского месторождений (рисунок) [1].

Основным продуктом производства станет метанол. Кроме него будет производиться стабильный газовый конденсат и гранулированная сера, востребованные в химической промышленности и энергетическом секторе [2].

Проект включает в себя следующие объекты:

- Кумжинское и Коровинское газоконденсатные месторождения;
- газопроводы (включая газопровод-отвод);
- газохимический комплекс и установка предварительной подготовки газа (УППГ);
- морской терминал (МТ);
- вахтовый жилой комплекс (ВЖК);
- автодорога на п. Красное.

Участок проектирования газохимического комплекса и морского терминала расположен в 18 км к северо-востоку от п. Красное, в 43 км от г. Нарьян-Мар (рисунок).

В ходе исследования был выполнен анализ возможного негативного воздействия на геологическую среду при проведении газопромысловых работ на примере реализации проекта по производству метанола в НАО.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из основных компонентов окружающей среды, который подвергается отрицательному влиянию со стороны антропогенной деятельности, является геологическая среда.

Геологическая среда – это многокомпонентная природная подсистема, в которой в результате воздействия природных и антропогенных факторов происходят изменения первоначальных и появление новых инженерно-геологических условий [4].

Для геологической среды характерно взаимодействие объектов человеческой деятельности с природными объектами. То есть любое инженерное сооружение не только влияет на геологическую среду, но и само подвергается процессам природного происхождения. Геологическая среда взаимодействует с атмосферой. При загрязнении геологической среды может произойти и загрязнение атмосферы. Например, выход газа из скважины, произошедший в результате аварии, загрязняет атмосферный воздух, увеличивая в нем предельно допустимые концентрации (ПДК) метана.

Компонентами геологической среды являются:

- почва;
- почвенно-растительный покров;
- поверхностные и подземные воды;
- грунты;
- многолетнемерзлые породы;
- ландшафты;
- частично биосфера;
- объекты антропогенного происхождения, такие как, например, терриконы, искусственные водоемы, рекультивированные земли.

При проведении любых работ, связанных с реализацией проекта производства метанола в НАО, будет происходить отрицательное воздействие на геологическую среду.

Рассмотрим такие работы, как:

- бурение и строительство скважин;
- эксплуатация скважин;

- строительство газопровода;
- эксплуатация газопровода;
- строительство газохимического комплекса;
- строительство морского терминала;
- строительство вахтового жилого комплекса;
- строительство автодороги от завода до п. Красное.

При бурении скважин основными источниками загрязнения геологической среды являются: буровой шлам, буровой раствор; химические реагенты, применяемые для приготовления бурового раствора; буровые сточные воды [5]. При строительстве скважин основным отходом является цемент, который применяется для приготовления цементного раствора, необходимого для заливки межколонного пространства в скважине. Особенно острой эта проблема является для Кумжинского месторождения, так как его территория состоит из множества проток, ручьев, озер. Попадая в воду, эти вещества делают ее непригодной для питья и разрушают речную и морскую биоту, так как рядом Печорское море. В целях минимизации негативного воздействия на геологическую среду следует буровой шлам вывозить в специальные шламоотвалы, буровые сточные воды обезвреживать, а отходы цемента можно применять для приготовления следующего цементного раствора.

При эксплуатации газовых скважин основными источниками загрязнения геологической среды являются газ и газовый конденсат. Наиболее опасной экологической проблемой является аварийный выход газа и конденсата на поверхность, как, например, авария в 1980 г. на Кумжинском месторождении, на устранение которой ушло 7 лет [6]. Но последствия этой аварии сохраняются и на сегодняшний день в виде выходов газа из грифонов. Также добыча газа негативно сказывается на состоянии подземных вод. При добыче газа может произойти загрязнение подземных вод химическими реагентами, используемыми для улучшения газоотдачи. Чтобы снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций в скважинах, необходимо вести наблюдение за пластовым давлением специальными манометрами.

Строительство газопровода сопровождается земляными работами, такими как вскрытие траншеи и установка труб. В результате этих работ происходят изменения почвы и грунтовых вод. Данные работы приводят к переуплотнению почв, пере-

увлажнению и заболачиванию территории и дальнейшему затруднению естественных геологических процессов, таких как дренаж и образование новых пор. Кроме того, строительство газопровода приводит к загрязнению подземных вод, окислению почв [7]. Также при строительстве газопроводов может происходить тепловое воздействие на многолетнемерзлые породы и образование таких геокриологических процессов, как термокарст и термоэрозия [8]. В целях снижения воздействия на многолетнемерзлые породы необходимо вести геокриологический мониторинг. Геокриологический мониторинг включает в себя наблюдения за следующими показателями горных пород [9]:

- глубиной протаивания;
- влажностью образования сезонно-тающего слоя;
- температурой пород;
- уровнем грунтовых (надмерзлотных) вод;
- снежным покровом (сроками установления и схода, высотой и плотностью).

При эксплуатации газопровода воздействие геологической среды будет значительно ниже, чем при строительстве, но будет носить постоянный характер. К основным видам воздействия можно отнести:

- химическое загрязнение атмосферы;
- термическое воздействие газопровода;
- образование отходов при различных ремонтных работах.

Химическое загрязнение атмосферы обусловлено утечками газа через негерметичные соединения трубопровода, а также в случае аварии на газопроводе. Газопровод имеет положительную температуру и оказывает тепловое воздействие на ММП, что может привести к их оттаиванию.

При длительной эксплуатации газопровода не исключено проведение ремонтных работ. Основными отходами при ремонте трубопровода являются [10]:

- смазка (солидол или литол);
- смесь песка, глины, оксидов железа, тяжелых фракций углеводородов;
- куски и крошка битумно-резиновой изоляции;
- стружка и габаритный лом черных металлов;
- огарки электродов;
- отработанное масло и др.

Чтобы снизить воздействие на геологическую среду при эксплуатации газопровода, необходимо вести геокриологический мониторинг, все отходы ремонтных работ необходимо отвозить на переработку.

Газохимический комплекс включает в себя УППГ и непосредственно сам завод по производству метанола. В связи с тем, что проектируемые объекты расположены в зоне многолетней мерзлоты, при их строительстве следует особое внимание уделять геокриологическому мониторингу.

Строительство вахтового жилого комплекса включает в себя следующие объекты:

- строительство социально-бытового комплекса;
- строительство нежилых зданий;
- строительство системы водоснабжения и канализации;
- строительство очистных сооружений.

Социально-бытовой комплекс будет включать в себя общежитие, столовую. Нежилые здания – это котельная, здравпункт.

При строительстве вахтового жилого комплекса, как и при строительстве газохимического комплекса, будет происходить воздействие на многолетнемерзлые породы, поэтому необходимо также вести геокриологический мониторинг.

Строительство морского терминала включает в себя следующие виды работ:

- дноуглубительные работы;
- строительство причала.

Наибольшее воздействие на геологическую среду будут оказывать дноуглубительные работы. При их выполнении возможно взмучивание донных отложений, вынос загрязняющих веществ, находящихся в толще донных отложений, их перенос течениями, осаждение и загрязнение поверхностного слоя осадков на прилегающей акватории дна. Но так как река имеет свойство самоочищаться, то на данном этапе работ воздействие на верхнюю часть геологической среды можно назвать незначительным.

Строительство автодороги приводит к нарушению почвенного покрова (снятие почвы), к появлению техногенного рельефа (насыпи, искусственные овраги) и к нарушению поверхностного стока (дренажа) [11]. Кроме того, в условиях НАО автодорожное строительство воздействует на ММП и может привести к их оттаиванию, поэтому на этом этапе реализации проекта необходимо также проводить мероприятия по геокриологическому мониторингу.

Заключение

Проведенные аналитические исследования показали, что при проведении всех работ, связанных с реализацией проекта по производству метанола в НАО, неиз-

бежно воздействие на верхнюю часть – геологическую среду. Наиболее значительное воздействие будет происходить во время скважинных работ (бурения, строительства, эксплуатации), так как в их процессе происходит не только разрушение горных пород, но и загрязнение подземных вод химическими реагентами, используемыми при бурении и эксплуатации скважин. Наиболее уязвимый компонент верхней части геологической среды, который будет подвергаться влиянию производственных работ – это многолетнемерзлые породы, поэтому, как уже было выше изложено, необходимо проводить геокриологический мониторинг в местах строительства и эксплуатации объектов газового промысла.

Список литературы

1. Строительство в Ненецком автономном округе газохимического комплекса по переработке природного газа на базе Кумжинского и Коровинского газоконденсатных месторождений. Материалы Комплексной оценки воздействия на окружающую среду (резюме нетехнического характера). М., 2022. 46 с.
2. Холикова С.Д., Исмагуллаев Х.М., Исмаилова Л.А. Перспективные пути применения метанола // *Universum: химия и биология*. 2021. № 5 (83). С. 22–26.
3. Строительство в Ненецком автономном округе газохимического комплекса по переработке природного газа на базе Кумжинского и Коровинского газоконденсатных месторождений. Комплексная программа экологического мониторинга и сохранения биологического разнообразия. М. – Нарьян-Мар, 2023. 21 с.
4. Кононов Е.Е. Геологическая среда и вопросы терминологического понимания // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН*. 2015. № 1 (50). С. 76–85.
5. Булатов В.И., Игенбаева Н.О., Нанишвили О.А. Отходы нефтегазового комплекса как технологический индикатор геозоологического состояния регионов России // *Бюллетень науки и практики*. 2021. Т. 7, № 8. С. 46–55.
6. Богоявленский В.И., Перекалин С.О., Бойчук В.М., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий // *Арктика: экология и экономика*. 2017. № 1 (25). С. 32–46.
7. Кичигин А.Н., Поляков М.М. Северо-Европейский газопровод: влияние на окружающую среду // *Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз*. 2005. № 2 (9). С. 45–51.
8. Губайдуллин М.Г., Крайнев В.Г., Садовой В.А. Современные геокриологические процессы и явления при обустройстве месторождений нефти и газа в НАО // *Актуальные проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (Архангельск, 22–23 октября 2021 г.)* / Отв. ред. проф. М.Г. Губайдуллин и доц. О.В. Крайнева. Архангельск: САФУ, 2021. Вып. 4. С. 17–25.
9. Крайнева О.В., Губайдуллин М.Г. Мониторинг состояния многолетней мерзлоты на Ардалинском нефтегазовом промысле в Ненецком автономном округе // *Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: материалы III Международной молодежной научно-практической конференции (26–28 апреля 2022 г.)*. Архангельск, 2022. Вып. 3. С. 322–326.
10. СТО Газпром 12-2005. Каталог отходов производства и потребления дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром». М., 2005. 132 с.
11. Скобелев В.А., Ларионов М.В. Воздействие объектов автотранспортной инфраструктуры на природную среду и ресурсный потенциал ландшафтных компонентов // *International Agricultural Journal*. 2023. Т. 66, № 3. С. 636–646.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОРЕМЕДИАЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ, И ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

¹Тавадзе Б.Д., ²Белокурова Е.В.

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Нижневартовский филиал,
Нижневартовск, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет», Нижневартовск,
e-mail: e.belokurova@mail.ru

В условиях севера естественные самоочищающие процессы почвенной среды из-за вечной мерзлоты проходят слишком медленно. При разливе нефти деградация углеводородного сырья продолжается почти 15–20 лет. Поэтому необходимо проводить рекультивационные мероприятия. В последнее время для восстановления почвенного баланса все чаще применяют метод биоремедиации. Биоремедиация – использование биодеструкторов (биопрепаратов) для полной деградации загрязняющих веществ или для снижения их концентрации в почвенной и водной среде. Основной целью данной работы было определение влияния биодеструкторов в процессе деградации нефтяного состава, оценка их роли совместно с аборигенными микроорганизмами в процессе восстановления почвенного профиля и доказательство эффективности применения адсорбентов при проведении рекультивационных мероприятий. В данной научной работе были использованы деструкторы: Экойл, Экосейл, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro и адсорбент (Spill-sorb), а также исследуемая почва с различных месторождений города Нижневартовска, в частности Тюменское м/р, Нефтепровод Стрежевой, Нефтепровод Советское, Нефтепровод Нижневартовское, Узунское м/р. Исследования проводились в лабораторных условиях, где были созданы специальные условия для проведения опыта. Процентное содержание нефти в анализируемых пробах определяли методом ИК-спектрометрии на анализаторе «Концентратомер КН-3». На первых стадиях исследования процентное содержание нефти определяли с применением адсорбента (Spill-sorb) и без него. Затем адсорбент был удален, и исследования проводились на пробах с учетом применения адсорбента и без него. В работе представлены результаты трех месяцев исследования. В итоге исследования полученные данные доказали целесообразность и экономическую выгоду применения адсорбентов перед применением биодеструкторов, а также доказали синергическую связь между биодеструкторами и местными аборигенными микроорганизмами. Полученные результаты также доказали, что с помощью адсорбента срок применения биодеструкторов можно сократить с трех лет до двух. Экономическая эффективность при этом составит 124500 руб. на 1000 м² в течение трех сезонов.

Ключевые слова: биоремедиация, бактерий, загрязнители, биодеструкторы, почва, адсорбент

APPLICATION OF BIOREMEDIATION IN LABORATORY CONDITIONS FOR CLEANING SOILS CONTAMINATED WITH PETROLEUM PRODUCTS AND ITS ECONOMIC EFFECTIVENESS

¹Tavadze B.D., ²Belokurova E.V.

¹Industrial University of Tyumen, branch in Nizhnevarтовsk, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru;

²Nizhnevarтовsk State University, Nizhnevarтовsk, e-mail: e.belokurova@mail.ru

In northern conditions, the natural self-cleaning processes of the soil environment, due to permafrost, are too slow. During an oil spill, the degradation of hydrocarbons continues for almost 15–20 years. Therefore, it is necessary to carry out reclamation measures. Recently, to restore soil balance, the bioremediation method is increasingly being used. Bioremediation – the use of biodestructors (biological products) for the complete degradation of pollutants, or to reduce their concentration in the soil and water environment. The main goal of this work was to determine the influence of biodestructors in the process of degradation of the petroleum composition, to evaluate their role together with native microorganisms in the process of restoring the soil profile, and to prove the effectiveness of the use of adsorbents when carrying out reclamation measures. In this scientific work, destructors were used: Ecoil, Ecosail, Bionetik, Lenoil, Microbe-hidro and adsorbent (Spill-sorb) as well as the studied soil from various fields of the city of Nizhnevarтовsk in particular: Tyumenskoe field, Strezhevoy Oil Pipeline, Sovetskoye Oil Pipeline, Oil Pipeline Nizhnevarтовskoe, Uzunskoe field. The studies were carried out in laboratory conditions, where special conditions were created for conducting the experiment. The percentage of oil in the analyzed samples was determined by IR spectrometry using a KN-3 Concentrator analyzer. At the first stages of the study, the percentage of oil was determined with and without the use of an adsorbent (Spill-sorb). Then the adsorbent was removed and studies were carried out on samples with and without the use of adsorbent. The paper presents the results of three months of research. As a result, the research data obtained proved the feasibility and economic benefit of using adsorbents before using biodestructors, and also proved the synergistic relationship between biodestructors and local indigenous microorganisms. The results obtained also proved that with the help of an adsorbent, the period of use of biodestructors can be reduced from three years to two. The economic efficiency will be 124,500 rubles per 1000m² for three seasons.

Keywords: bioremediation, bacteria, pollutants, biodegradants, soil, adsorbent

Нефть (от тур. *neft*, через перс. «нефт»; восходит к аккадскому «напатум» – вспыхивать, воспламенять) – ископаемое, которое относится к осадочным породам, к таким как песок, известняк, каменный уголь и т.д. Нефть обычно образуется на глубине 1,2–2 км. Вблизи к поверхности и на поверхности земли нефть превращается в густую массу (асфальт, битум), в более глубоких слоях нефть насыщена нефтяными газами. Данный ресурс обладает определенными свойствами – гореть и выделять тепловую энергию, что делает его незаменимым на производстве и в промышленности.

Так же как и все горючие ископаемые, нефть относится к определенному семейству – каустобиолитам – это греческое слово, что означает «каустос» – горючий, «биос» – жизнь, «литос» – камень (горючий живой камень).

Нефть – комплексное соединение, и в основном это углеводородные и углеродные вещества. Так как нефть является сложной смесью, то при определении состава нефти отдельно выделяют химические элементы, которые входят в состав данного сырья и отдельно выделяют составные части. В составе нефти из химических элементов присутствует углерод 84–87%, водород 12–14%, кислород, азот, сера 1–2%. Из составных частей в нефти выделяют углеводородную, асфальто-смолистую, порфирины, серу и золу [1].

В последнее время в нефти также выделили хемофоссилии, вещества явно биогенного происхождения, они присутствуют или целиком, или в виде фрагментов. Присутствие последних утвердило мнение биогенной парадигмы ученых о том, что нефть имеет органическое происхождение, хотя многие ученые доказали то, что нефть также может иметь и абиогенное происхождение.

Если рассматривать нефть как загрязнитель окружающей среды, можно сказать следующее: в тех местах, где залегают нефть, то есть под землей, она не является загрязнителем и не наносит никакого вреда окружающей среде. Если происходит естественный выход нефти на поверхность земли или разлив нефти при авариях, это становится серьезной проблемой. Доказано, что данный вид загрязнителя обладает не только прямым воздействием на окружающую среду, но и косвенным, которое может продолжаться десятилетиями, тем более в условиях севера. При разливе нефти она начинает проникать в более глубокие слои почвы, мощность битуминизированного слоя иногда может достигать 40–50 см [2]. Впослед-

ствии разлива постепенно начинается испарение низкокипящих фракций, гумусовая часть земли приобретает смолисто-черную окраску, верхние частицы почвы склеиваются, что препятствует доступу кислорода.

В составе почвенного воздуха скапливаются легкие канцерогенные фракции нефти. Нехватка кислорода способствует созданию анаэробных условий, что нарушает окислительно-восстановительные процессы почвенной среды. Склеивающиеся частицы также не проводят воду. Таким образом, нарушается воздушный, водный, температурный баланс почвы. Присутствие нефтепродуктов в пределах распространения живых организмов подавляет процессы аммонификации и нитрификации, впоследствии резко снижается самоочищающаяся способность почвы. Постепенно начинают погибать продуценты, консументы и редуценты, живущие как на поверхности земли, так и под ней. Самоочищающийся процесс в почвенной среде происходит постоянно, а особенно быстро в условиях теплого климата, под влиянием огромного количества микроорганизмов, которые населяют эти территории. В условиях севера самоочищающиеся процессы, из-за вечной мерзлоты, проходят слишком медленно, нефть может подвергаться деградации в течение 15–20 лет [2]. Процесс самоочищения все-таки идет, и проходит он в три этапа. Первый этап длится 1,5–2 года, за этот период содержание нефти снижается почти на 40–50%. Второй этап длится 3–4 года, за этот период нефть разлагается под влиянием местных аборигенных микроорганизмов, при этом разрушаются метано-нафтеневые токсичные фракции, которые оказывают особое негативное влияние на геобиоты и геофлору. Третий этап продолжается почти 4–4,5 года. За это время с помощью микроорганизмов разрушаются почти все токсичные соединения, в том числе образованные на поверхности почвы, так называемые кыры (жесткие корочки), которые не дают возможность растениям свободно расти. Таким образом с течением времени почва очищается, продукты разложения постепенно включаются в почвенный гумус, частично растворяются и удаляются из почвенного профиля. Данный процесс, как уже было сказано выше, длится слишком долго, поэтому необходимо проводить рекультивационные мероприятия.

Для восстановления земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, чаще всего применяют биоремедиацию [3–5]. Сущ-

ность данного метода заключается в том, что с помощью искусственно созданных микроорганизмов происходит очистка загрязненного почвенного профиля. При правильном подборе биодеструкторов (микроорганизмов) процесс рекультивации занимает не более трех лет.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые было исследовано влияние биодеструкторов: Экойл, Экосейв, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro на рекультивационные процессы, с применением адсорбента и без него.

Определить влияние биодеструкторов в процессе деградации нефтяного состава, оценить их роль совместно с аборигенными микроорганизмами в процессе восстановления почвенного профиля и доказать эффективность применения адсорбентов при проведении рекультивационных мероприятий.

Задачи исследования:

1. Изучить биодеструкторы, используемые в России для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.
2. С помощью лабораторных методов выявить более продуктивные штаммы бактерий.
3. Доказать взаимосвязь между местными (аборигенными) микроорганизмами (микрофлорой) и биодеструкторами.
4. С помощью сравнительного метода определить целесообразность применения адсорбентов перед внесением биодеструкторов.
5. Определить экономическую эффективность применения адсорбентов до внесения биодеструкторов.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования авторы использовали биопрепараты (биодеструкторы): Экойл, Экосейл, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro, незагрязненную почву (стандарт). Почва, загрязненная нефтепродуктами, авторам была предоставлена специалистами, работающими на разных месторождениях г. Нижневартовска. В частности, Тюменское м/р, Нефтепровод Стрежевой, Нефтепровод Советское, Нефтепровод Нижневартовское, Узунское м/р. Исследования проводили в лаборатории химии и экологии филиала Тюменского индустриального университета в г. Нижневартовске, где были созданы условия для проведения опыта. Температура среды варьировалась в пределах 19–22 °С, влажность 40–60%, что соответствует стандарту микроклимата производственной среды в зимний период.

Процентное содержание нефти в анализируемых пробах определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе «Концентратомер КН-3» [6]. Результат определения содержания нефтепродуктов в почве $X_{изм.}$ (мг/кг) рассчитывали по формуле

$$X_{изм.} = \frac{C_{изм.} \cdot V \cdot V_2 \cdot V_{элюат}}{M \cdot V_1 \cdot V_{ал}}$$

где $C_{изм.}$ – показания прибора, мг/дм³;

M – масса навески образца для анализа, мг;

V – суммарный объем экстракта, см³;

V_1 – объем экстракта, взятый для разбавления, см³;

V_2 – объем экстракта, полученный после разбавления, см³;

$V_{ал}$ – объем аликвоты экстракта, введенной в хроматографическую колонку, см³;

$V_{элюат}$ – объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку, см³.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения исследования авторы взяли загрязненную почву с месторождений, почву (стандарт), которую искусственно насытили нефтепродуктами и поместили в пластмассовые контейнеры. Затем взяв предварительно по 100 г почвы, определили в них процентное содержание нефтепродуктов с помощью анализатора «Концентратомер КН-3». Через два дня на поверхности исследуемых проб разместили адсорбент (Spill-sorb) и оставили на одну неделю. По необходимости производили незначительный полив, рыхление проб и следили за состоянием микроклимата. Спустя одну неделю с поверхности проб авторы удалили используемый адсорбент и повторно определили остаточное количество нефтепродуктов (табл. 1). Затем в исследуемые пробы внесли биодеструкторы [7]. В течение одного месяца авторы проводили необходимые манипуляции для соблюдения нормального прохождения исследования. По истечении одного месяца с помощью «Концентратомер КН-3» опять определили процентное содержание нефтепродуктов, результаты представлены в табл. 2.

По истечении двух месяцев авторы с помощью «Концентратомер КН-3» снова определили процентное содержание нефтепродуктов, результаты представлены в табл. 3.

Экономическая эффективность применения адсорбентов до и после внесения биодеструкторов представлена в табл. 4 и 5.

Таблица 1

Содержание нефтепродуктов в исследуемых пробах

Содержание нефтепродуктов с адсорбентом			Содержание нефтепродуктов после применения адсорбента	
Место отбора проб	Содержание н/пр. мг/кг	Содержание н/пр. в %	Содержание н/пр. мг/кг	Содержание н/пр. в %
Проба с нефтью (стандарт)	329346,0	32,9	31692,39	3,17
Нефтепровод Стрежевой	98188,2	9,2	9615,84	0,96
Нефтепровод Советское	106137,9	10,6	11208,88	1,12
Тюменское м/р	57671,5	5,8	5996,24	0,60
Узунское м/р	173420,8	17,3	16710,09	1,67
Нефтепровод Нижневартовское	14000,0	14,0	1513,20	1,51

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
1	Стандарт б/а (Экойл)	21209,8	2,1
2	Стандарт с адсор. (Экойл)	10088,0	1,0
3	Стандарт б/а (Экосейв)	11900	1,2
4	Стандарт с адсор. (Экосейв)	9240,0	1,0
5	Стандарт б/а (Бионетик)	163224,0	1,6
6	Стандарт с адсор. (Бионетик)	10010,0	1,0
7	Стандарт б/а (Microbe-hidro)	12420,0	1,2
8	Стандарт с адсор. (Microbe-hidro)	12028,5	1,2
9	Стандарт б/а (Ленойл)	10206,0	1,0
10	Стандарт с адсор. (Ленойл)	9018,0	0,8
11	Нефтепровод Стрежевой б/а (Экосейв)	9624,8	0,96
12	Нефтепровод Стрежевой с адсор. (Экосейв)	8371,8	0,8
13	Нефтепровод Советское б/а (Ленойл)	6551,5	0,66
14	Нефтепровод Советское с адсор. (Ленойл)	1184,0	0,4
15	Тюменское м/р, б/а (Microbe-hidro)	3897,1	0,3
16	Тюменское м/р, с адсор. (Microbe-hidro)	2921,2	0,12
17	Узунское м/р, б/а (Экойл)	8550,3	0,86
18	Узунское м/р, с адсор. (Экойл)	6281,0	0,6
19	Нефтепровод Нижневартовское б/а (Бионетик)	14288,4	1,4
20	Нефтепровод Нижневартовское с адсор. (Бионетик)	12830,4	1,3

Таблица 3

Содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
1	Стандарт б/а (Экойл)	16777,6	1,7
2	Стандарт с адсор. (Экойл)	8445,6	0,8
3	Стандарт б/а (Экосейв)	9018,0	0,8
4	Стандарт с адсор. (Экосейв)	2296,0	0,2
5	Стандарт б/а (Бионетик)	11856,0	1,2

Окончание табл. 3

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
6	Стандарт с адсор. (Бионетик)	7692,3	0,8
7	Стандарт б/а (Microbe-hidro)	12174,6	1,2
8	Стандарт с адсор. (Microbe-hidro)	3843,2	0,4
9	Стандарт б/а (Ленойл)	7692,3	0,8
10	Стандарт с адсор. (Ленойл)	6551,5	0,66
11	Нефтепровод Стрежевой б/а (Экосейв)	7486,8,8	0,75
12	Нефтепровод Стрежевой с адсор. (Экосейв)	6551,5	0,66
13	Нефтепровод Советское б/а (Ленойл)	6551,5	0,66
14	Нефтепровод Советское с адсор. (Ленойл)	1184,0	0,4
15	Тюменское м/р, б/а (Microbe-hidro)	3897,1	0,3
16	Тюменское м/р, с адсор. (Microbe-hidro)	2921,2	0,12
17	Узунское м/р. б/а (Экойл)	8550,3	0,86
18	Узунское м/р. с адсор. (Экойл)	6281,0	0,6
19	Нефтепровод Нижневартовское б/а (Бионетик)	3934,6	0,4
20	Нефтепровод Нижневартовское с адсор. (Бионетик)	2919,6	0,3

Таблица 4

Экономическая эффективность применения адсорбентов
до внесения биодеструкторов

	Цена (1 кг)	Расход на 1000 м ² (в кг)	Расход за сезон (руб.)
Сорбент (Spill-Sorb)	264	125	33000
Экойл	4500	35	157500
Ленойл	4000	35	140000
Microbe-hidro	5067	35	177345
Бионетик	5000	35	175000
Экосейв	5000	35	175000

Таблица 5

Сравнение затрат на примере применения Сорбента (Spill-Sorb) и Экойл

	Затраты 1-й год, руб.	Затраты 2-й год, Экойл адсор., руб.	Затраты 3-й год, Экойл адсор., руб.	Итого
Сорбент (Spill-Sorb)	33000	157500	157500	348000
Экойл	157500	157500	157500	472500
Экономия			124500	

Выводы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Полученные данные доказали целесообразность и экономическую выгоду применения адсорбентов перед применением биодеструкторов.

2. Результаты по содержанию нефтепродуктов при применении биодеструкторов

с местными загрязненными пробами значительно превосходят результаты со стандартом. Можно предположить, что аборигенные микроорганизмы вместе с биодеструкторами дают значительно лучшие результаты. Это говорит о том, что между ними устанавливается синергическая связь, положительно влияющая на рекультивационные процессы.

3. Все биодеструкторы показали положительные результаты. Примечательно то,

что результаты почти не разнятся между собой, кроме Бионетика.

4. Полученные результаты доказали, что с помощью адсорбента срок применения биодеструкторов можно сократить с трех лет до двух. Экономическая эффективность при этом составит 124500 руб. на 1000 м² в течение трех сезонов.

Список литературы

1. Костромин Р.Н. Химический состав нефти: учебное пособие. Казань: Издательство КНИТУ, 2018. 160 с.
2. Руденко Е.Ю. Исследование влияния нефти на биологическую активность черноземной почвы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. № 10 (4). С. 719–727.
3. Николаева А.В., Трошин М.А., Мещеряков С.В., Остах О.С., Остах С.В. Идентификация и прогнозирование

результативности применения наилучших доступных технологий обезвреживания нефтесодержащих отходов // Экологический вестник России. 2017. № 2. С. 14–18.

4. Tavadze B.D., Valieva A.F. Comparative analysis of biodestructors used in bioremediation at land reclamation contaminated with. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. P. 1010012008.

5. Вельков В.В. Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. 1995. № 3–4. С. 20–27.

6. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии, ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 от 10 ноября 1998 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293831/4293831615.htm> (дата обращения: 01.04.2024).

7. Тавадзе Б.Д. Влияние биодеструкторов в процессе детоксикации поллютантов на загрязненных почвах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 4. С. 29–35. DOI: 10.17513/mjpf.13527.

СТАТЬИ

УДК 622.7:622.343

DOI 10.17513/use.38271

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТЬ
МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД****Каллаев И.Т., Кухтина А.А., Кухтина П.А., Николаева Н.В.***ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,**e-mail: kallaev1996@mail.ru, arisha362@mail.ru, pkuhtina@gmail.com, Nikolaeva_nv@pers.spmi.ru*

Снижение качества минерального сырья, содержащего цветные металлы, привело к необходимости поиска способов интенсификации процессов рудоподготовки, обогащения и переработки. Одним из возможных способов интенсификации процессов рудоподготовки является использование ультразвукового воздействия. В работе изучено влияние использования ультразвука на измельчаемость медно-молибденовых руд. Исследования проводились на оборудовании Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II. Для изучения влияния ультразвука на измельчение комплексных медных руд с позиции увеличения выхода готового класса были проведены исследования по обработке исходных проб перед измельчением в течение различного времени. Результаты проведенных исследований показали, что при обработке ультразвуком происходит повышение температуры за счет выделения энергии, часть которой может быть использована для разрушения минеральных агрегатов. На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований было сделано предположение, что на этапе обработки УЗ в минеральном сырье происходит понижение прочности сырья. Также проведенные исследования позволили установить положительный эффект ультразвукового воздействия при измельчении комплексного медного минерального сырья: использование ультразвуковой обработки перед измельчением позволило увеличить выход готового класса до 82,4%. Таким образом, использование ультразвукового воздействия позволит повысить эффективность процессов рудоподготовки при снижении энергетических затрат.

Ключевые слова: дезинтеграция, медно-молибденовые руды, измельчаемость, ультразвук, рудоподготовка

**IMPACT OF ULTRASOUND ON GRINDABILITY
OF COPPER-MOLYBDENUM ORES****Kallaev I.T., Kukhtina A.A., Kukhtina P.A., Nikolaeva N.V.***Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg,**e-mail: kallaev1996@mail.ru, arisha362@mail.ru, pkuhtina@gmail.com, Nikolaeva_nv@pers.spmi.ru*

Decrease in the quality of mineral raw materials containing non-ferrous metals has led to the need to search for ways to intensify the processes of ore preparation, beneficiation and processing. One of the possible ways of intensification of ore preparation processes is the use of ultrasonic influence. In this work we studied the effect of ultrasound on the grindability of copper-molybdenum ores. The research was carried out on the equipment of the St. Petersburg Mining University. To study the effect of ultrasound on the grinding of complex copper ores from the position of increasing the yield of the finished grade, studies were conducted on the treatment of initial samples before grinding for different times. The results of the conducted studies showed that ultrasonic treatment increases the temperature due to the release of energy, part of which can be used to destroy mineral aggregates. On the basis of the conducted experimental and theoretical studies it was made an assumption that at the stage of ultrasonic treatment in mineral raw materials there is a decrease in the strength of raw materials. Also the conducted researches have allowed to establish a positive effect of ultrasonic influence at grinding of complex copper mineral raw material: use of ultrasonic treatment before grinding has allowed to increase the yield of finished grade up to 82,4%. Thus, the use of ultrasonic impact allows to increase the efficiency of ore preparation processes with reduced energy costs.

Keywords: disintegration, copper-molybdenum ores, grindability, ultrasound, ore treatment

На цветные металлы (медь, алюминий, свинец, цинк, никель, титан, молибден и пр.) спрос постоянно растет, что связано с их уникальными физико-химическими и технологическими свойствами. Повышенная востребованность этих металлов привела к тому, что месторождения легкообогатимых руд цветных металлов практически исчерпаны [1–3]. Для обеспечения потребности в этих металлах необходимо вовлекать в переработку низкокачественное, комплексное и нетрадиционное мине-

ральное сырье [4–6]. Особенности такого сырья, помимо низкого содержания ценных компонентов, является наличие нескольких ценных компонентов, основные минералы которых обладают близкими технологическими свойствами, тонкое взаимопрорастание рудных и породных минералов, а также наличие как сульфидных, так и окисленных минералов и др. [7–9]. При этом для достижения производительности по концентрату на существующем уровне необходимо увеличивать производительность по руде, что

приводит к необходимости модернизации и разработки новых, высокотехнологичных и экономически целесообразных технологий дезинтеграции, обогащения и переработки руд цветных металлов для получения товарных концентратов, чему посвящены работы многих ученых [10–12].

Для получения концентратов при обогащении руд цветных металлов используют традиционные методы: гравитационное, флотационное обогащение, гидрометаллургические методы [13–15]. Стоит отметить, что разработка проекта современной обогатительной фабрики должна соответствовать принципам рационального природопользования (малоотходное производство). Организация такого производства должна начинаться с процессов рудоподготовки, так как на этом этапе можно минимизировать потенциальные потери ценного компонента, вывести пустую породу за счет организации операций предконцентрации [16–18]. В соответствии с принципами рационального производства пустую породу можно использовать в будущем для закладки выработанного пространства при разработке месторождения или для производства строительного материала.

Основные задачи, стоящие перед процессами рудоподготовки, состоят в сокращении размера куска руды и раскрытии сростков при минимизации переошламования [19, 20]. Руды цветных металлов обладают различными прочностными свойствами, но технологии рудоподготовки при их переработке обычно включают трехстадиальное дробление + стадийное

измельчение (стержневое + шаровое измельчение); крупное дробление на карьере + полусамомельчение (с/без додраблывания) + шаровое измельчение; дробление + полусамомельчение + шаровое измельчение + сверхтонкое измельчение в бисерных мельницах [21, 22]. В таких схемах обогащения значителен выход тонкого класса, которые не подлежат обогащению и в некоторых случаях оказывает негативное влияние на протекание процессов переработки. Возникает закономерный вопрос: как разрушить кусок до определенной крупности при максимальном раскрытии сростков, но при этом не переизмельчить сырье? Одним из возможных вариантов решения этого вопроса является использование физических и химических воздействий на этапе измельчения (таблица).

Таким образом, проведенный анализ научных исследований показал, что использование физических и химических воздействий на этапе дробления и измельчения позволяет снизить прочность минерального сырья, повысить выход готового класса и подготовить сырье к последующему обогащению при снижении энергетических и финансовых затрат на этапе рудоподготовки, что соответствует Указу Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.24 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Целью исследования является установление закономерности разрушения и обоснование применения ультразвука при измельчении комплексных медных руд для повышения выхода готового класса.

Основные виды воздействий на стадии рудоподготовки

№ п/п	Вид воздействия	Достижимый эффект
1	СВЧ	Создание дополнительных дефектов и микротрещин в минеральном сырье [4, 23, 24]
2	Ультразвуковое	Использование эффекта кавитации для разрушения минеральных сростков [25, 26]
3	Электро-, магнитно- и электромагнитно-импульсные воздействия	Разрыв твердого куска на фрагменты вдоль ослабленных зон, преимущественно по границам сростания минералов [27, 28]
4	Гиперударные волны	Селективная дезинтеграция минеральных комплексов [29]
5	Поток ускоренных электронов	Повышение эффективности процессов первичной переработки за счет изменения физических, механических и физико-химических свойств минералов [30]
6	Добавка ПАВ	Адсорбционное понижение прочности минералов [31, 32]
7	Сверхнизкие температуры	Развитие гидратационных и криогидратационных процессов, происходящих как на поверхности, так и в объеме минерального сырья [4, 33, 34]

Материалы и методы исследования

В работе были выбраны комплексные медные руды в качестве объекта исследования. Основными ценными компонентами являются CuO и MoO₃, содержание которых 0,622 и 0,116% соответственно. Исследования измельчаемости проводились на оборудовании Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II (щековая дробилка, валковая дробилка, шаровая мельница, ситовой анализатор «Laarmann»). Минералогические исследования проводились с помощью оптического поляризационного микроскопа класса Axio Imager A2m (Zeiss). Ультразвуковая обработка (УЗ) проводилась с использованием установки INLAB I100-6/1-1. Рабочая частота ультразвуковой установки изменяется от 22 до 44 кГц, что соответствует интенсивности воздействия от 5 до 25 Вт/см². Предварительная подготовка материала к исследованиям заключалась в усреднении пробы и поэтапном сокращении крупности до 2 мм на щековой и валковой дробилке. Исходная масса навески во всех опытах составляла 100 г. Условия проведения исследований по измельчению: измельчение проводилось в сухом режиме, масса шаровой загрузки равна 2,94 кг, крупность готового класса – 0,071 мм.

Проведенными ранее исследованиями было установлено, что оптимальное время

измельчения равно 15 мин [35], что достаточно для подготовки питания флотации (70% класса – 0,071 мм). Обработка ультразвуком проводилась в воде при вариации времени обработки: 5, 30 и 60 мин. Фиксация изменения температуры осуществлялась мобильным тепловизором TR526i (рис. 1).

После обработки ультразвуком материал сушился при постоянной температуре 105°C для последующих экспериментов по измельчению. Для подтверждения полученных данных все эксперименты повторялись по три раза.

Результаты исследования и их обсуждение

Для изучения влияния ультразвука на измельчение комплексных медных руд с позиции увеличения выхода готового класса были проведены исследования по обработке исходных проб перед измельчением в течение различного времени (5, 30 и 60 мин). Анализ проведенных исследований показал, что кавитация, вызванная ультразвуком, может оказывать дополнительное разрушающее воздействие на сродки, тем самым снижая затраты энергии на самой стадии измельчения.

При обработке УЗ фиксировалась температура, результаты этих исследований представлены на рис. 2.

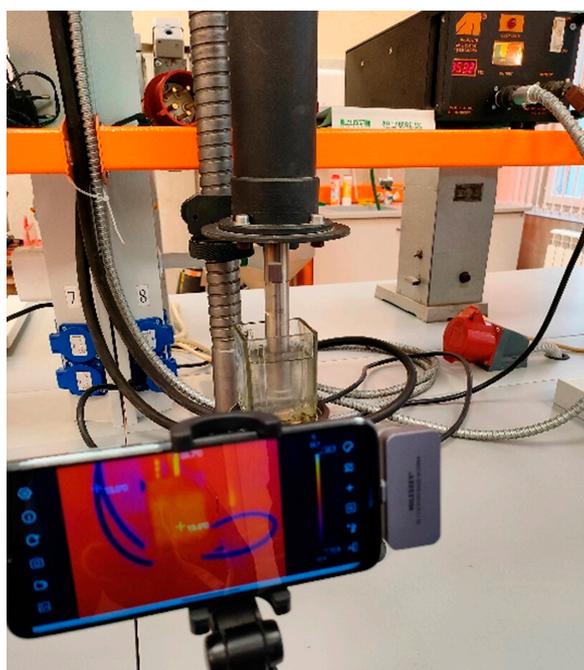


Рис. 1. Общий вид проведения экспериментов по УЗ обработке

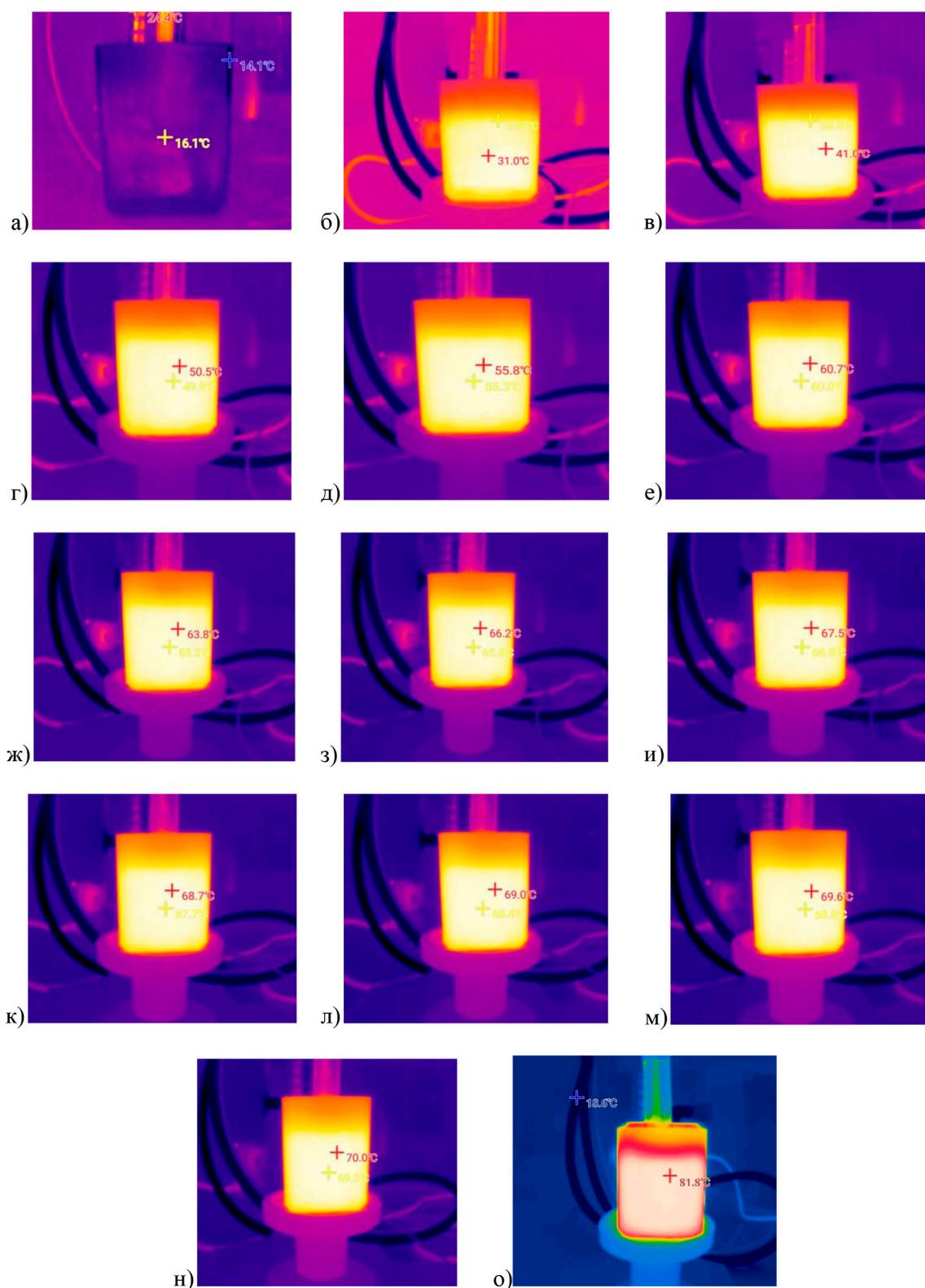


Рис. 2. Изменение температуры при увеличении времени обработки УЗ:
 а – 0 мин, б – 5 мин, в – 10 мин, г – 15 мин, д – 20 мин, е – 25 мин, ж – 30 мин,
 з – 35 мин, и – 40 мин, к – 45 мин, л – 50 мин, м – 55 мин, н – 60 мин, о – 60 мин
 (вода без добавления образца)

Как видно на рис. 2, температура резко возрастает до 15 мин (с 16,1 до 50,5°C, затем идет постепенное незначительное увеличение значения температуры до 70,0°C). При этом также наблюдается, что при обработке минеральной суспензии часть энергии тратится не на нагрев, а на разрушение. На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований было сделано предположение, что на этапе обработки УЗ в минеральном сырье происходит понижение прочности сырья и образование

различных дефектов, микротрещин и их зародышей. После обработки ультразвуком проба высушивалась при температуре 105°C и подвергалась измельчению в течение 15 мин. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3–6.

Как показал анализ результатов, представленных на рис. 3–6, при использовании ультразвуковой обработки перед измельчением выход готового класса увеличился с 70,3 до 82,4% при идентичных условиях измельчения.

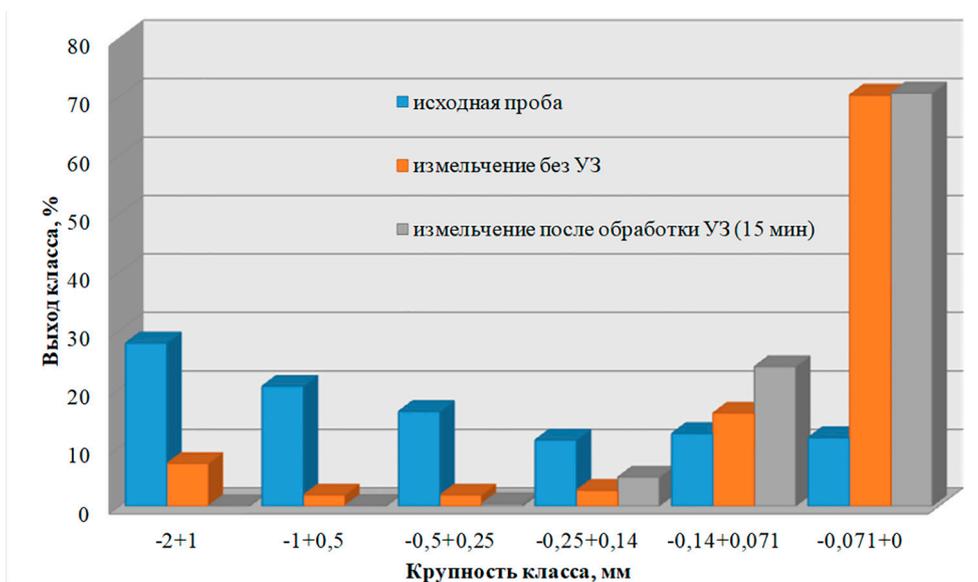


Рис. 3. Распределение по классам крупности до, после измельчения и после измельчения с предварительной обработкой УЗ (15 мин)

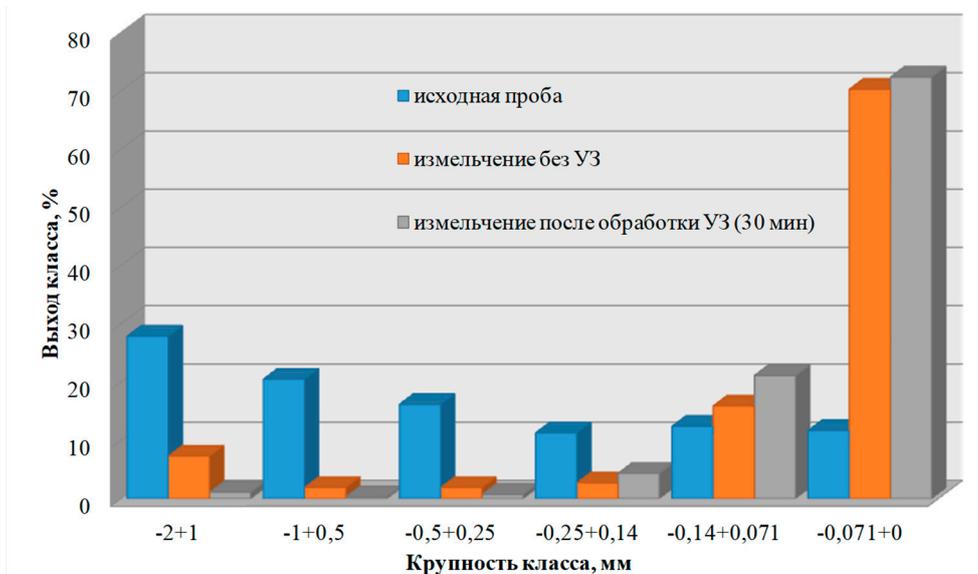


Рис. 4. Распределение по классам крупности до, после измельчения и после измельчения с предварительной обработкой УЗ (30 мин)

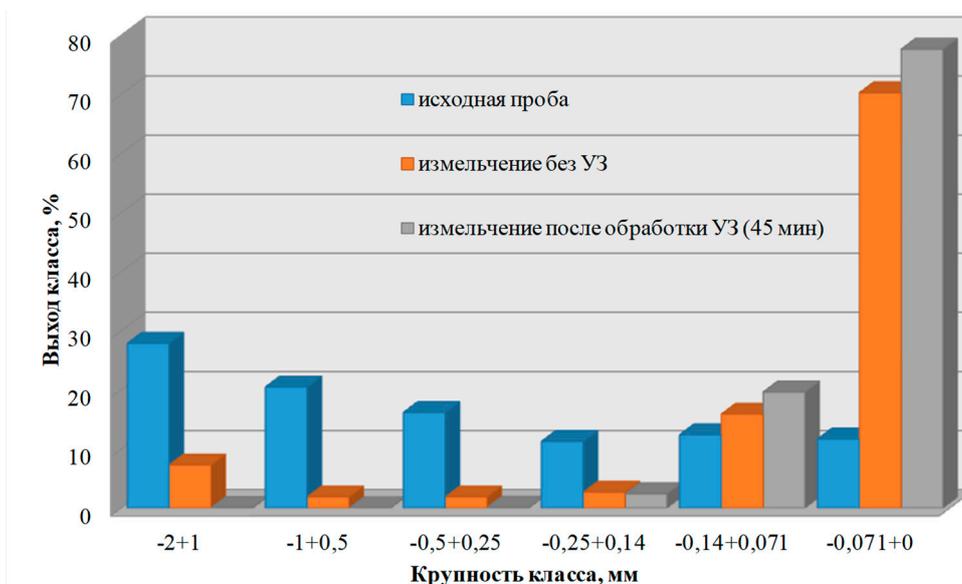


Рис. 5. Распределение по классам крупности до, после измельчения и после измельчения с предварительной обработкой УЗ (45 мин)

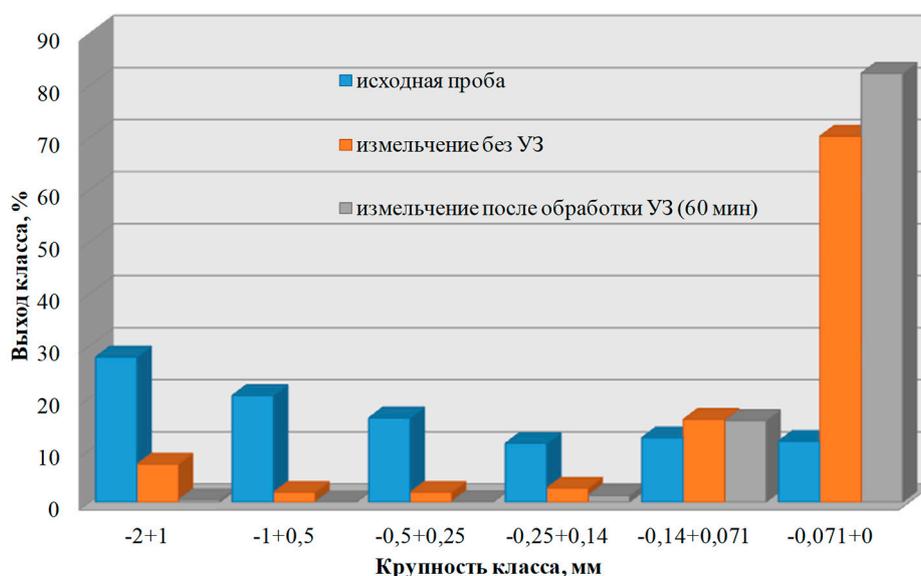


Рис. 6. Распределение по классам крупности до, после измельчения и после измельчения с предварительной обработкой УЗ (60 мин)

Проведенные исследования позволили установить положительный эффект ультразвукового воздействия при измельчении комплексного медного минерального сырья. Ультразвуковое воздействие в суспензиях вызывает образование кавитационных пузырьков, при схлопывании которых выделяется энергия. Часть этой энергии идет или на разрушение минеральных агрегатов, или на образование микротрещин, что ока-

зывает положительный эффект на разрушение минерального сырья на последующих стадиях измельчения.

Заключение

Снижение качества минерально-сырьевой базы цветных металлов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что ультразвуковая обработка позволяет интенсифицировать процесс измельчения мине-

рального сырья с целью повышения выхода готового класса. Результаты проведенных исследований показали, что при обработке ультразвуком происходит повышение температуры за счет выделения энергии, часть которой может быть использована для разрушения минеральных агрегатов. Как показали результаты гранулометрического анализа, даже при минимальном времени ультразвуковой обработки (5 мин) наблюдается увеличение выхода готового класса, хоть и незначительное. При увеличении времени обработки до 60 мин выход готового класса увеличивается на 12,1 % по сравнению с режимом измельчения без обработки. Данные результаты позволяют предположить, что использование ультразвуковой обработки позволит сократить время пребывания материала мельницы (увеличить производительность мельницы по исходному питанию) при получении 70 % класса – 0,071 мм как питания последующей флотации. Таким образом, использование ультразвукового воздействия позволит повысить эффективность процессов рудоподготовки при снижении энергетических затрат.

Список литературы

- Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // *Записки Горного института*. 2023. Т. 259. С. 95–111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.
- Чантурия В.А. Научное обоснование и разработка инновационных процессов извлечения циркония и РЗЭ при глубокой и комплексной переработке эвдиалитового концентрата // *Записки Горного института*. 2022. Т. 256. С. 505–516. DOI: 10.31897/PMI.2022.31.
- Paul A.J. Lusty, A.G. Gunn. Challenges to global mineral resource security and options for future supply // *Geological Society London Special Publications*. 2014. № 393 (1). P. 265–276. DOI: 10.1144/SP393.13.
- Aleksandrova T.N., Nikolaeva N.V., Afanasova A.V., Romashev A.O., Aburova V.A., Prokhorova E.O. Extraction of Low-Dimensional Structures of Noble and Rare Metals from Carbonaceous Ores Using Low-Temperature and Energy Impacts at Succeeding Stages of Raw Material Transformation // *Minerals*. 2023. Vol. 13. № 1. DOI: 10.3390/min13010084.
- Афанасова А.В., Абурова В.А. Укрупнение низкоразмерных благородных металлов из углеродистых материалов с применением микроволновой обработки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 20–35. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_20.
- Залесов М.В., Григорьева В.А., Трубилов В.С., Бодуэн А.Я. Разработка технических решений для повышения эффективности переработки высокомедистой золотосодержащей руды // *Горная промышленность*. 2021. № 5. С. 51–56. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-51-56.
- Yaghibi Moghaddam M., Ranjbar M., Manafi Z., Schaffie M., Jahani M. Modeling and Optimizing Bacterial Leaching Process Parameters to Increase Copper Extraction from a Low-Grade Ore. *Miner. Eng.* 2012. № 32. P. 5–7. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.03.008.
- Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6–2. С. 175–188. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_2_0_175.
- Александрова Т.Н., О’Коннор С. Переработка платинометаллических руд в России и Южной Африке: состояние и перспективы // *Записки Горного института*. 2020. Т. 244. С. 462–473. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.9.
- Чантурия В.А., Александрова Т.Н. Вклад ученых Российской академии наук в становление и развитие процессов обогащения и переработки минерального сырья. К 300-летию Российской академии наук // *Цветные металлы*. 2024. № 1. С. 6–16. DOI: 10.17580/tsm.2024.01.01.
- Афанасова А.В., Абурова В.А., Прохорова Е.О., Лушина Е.А. Исследование влияния депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6–2. С. 161–174. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_161.
- Баранов В.Ф., Сатаев И.Ш. О мировой практике рудоподготовки медно-порфиновых руд // *Обогащение руд*. 2011. № 2. С. 3–9.
- Иваник С.А., Илюхин Д.А. Флотационное выделение элементарной серы из золотосодержащих кеков // *Записки Горного института*. 2020. Т. 242. С. 202–208. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.202.
- Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 12. С. 123–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_123.
- Бодуэн А.Я., Фокина С.Б., Федоров А.Т., Петров Г.В. Совершенствование технологии сорбционного концентрирования платиновых металлов из хлоридных растворов гидрометаллургической переработки малосульфидных флотационных концентратов // *Горный журнал*. 2023. № 10. С. 34–40.
- Дурягина А.М., Таловина И.В., Либервирт Х., Иллалова Р.К. Морфометрические параметры сульфидных руд как основа селективной рудоподготовки сырья // *Записки Горного института*. 2022. Т. 256. С. 527–538. DOI: 10.31897/PMI.2022.76.
- Львов В.В., Читалов Л.С. Современные тенденции подходов к расчету рудоподготовительных процессов аппаратов для переработки руд цветных металлов // *Цветные металлы*. 2020. № 10. С. 20–26. DOI: 10.17580/tsm.2020.10.03.
- Ануфриев А.С., Лебедик Е.А., Бажин В.Ю. Новые подходы для повышения эффективности автоматизированных систем управления переделами рудоподготовки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 2. С. 76–92. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_76.
- Хопунов Э.А. Роль структуры и прочностных характеристик минералов в разрушении и раскрытии руд // *Обогащение руд*. 2011. № 1. С. 25–31.
- Adewuyi S.O., Ahmed H.A.M., Ahmed H.M.A. Methods of Ore Pretreatment for Comminution Energy Reduction // *Minerals*. 2020. Vol. 10, Is. 5. P. 1–23.
- Baranov V.F. Overview of operating practices of foreign concentrators processing sulfide and mixed copper ores // *Obogashchenie Rud*. 2020. No 3. P. 43–47.
- Gagnon C., Rosa A., Makni S., McIvor R. Replacement of Wet Ball Milling with High-Pressure Grinding Ahead of Mineral Separation // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023. P. 1–8.
- Gholami H., Rezaei B., Mehdilo A., Hassanzadeh A., Yarahmadi M. Effect of microwave system location on floatability of chalcopyrite and pyrite in a copper ore processing circuit // *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2020. № 56 (3). P. 432–448. DOI: 10.37190/PPMP/118799.

24. Kingman S.W., Rowson N.A. Microwave treatment of minerals – A review // *Miner. Eng.* 1998. № 11 (11). P. 1081–1087. DOI: 10.1016/s0892-6875(98)00094-6.
25. Huang Z., Kuang J., Zhu L., Yuan W., Zou Z. Effect of ultrasonication on the separation kinetics of scheelite and calcite // *Miner. Eng.* 2021. № 163. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106762.
26. Cilek E.C., Ozgen S. Effect of ultrasound on separation selectivity and efficiency of flotation // *Miner. Eng.* 2009. № 22 (14). P. 1209–1217. DOI: 10.1016/j.mineng.2009.06.007.
27. Chanturiya V.A., Bunin I.Z. Advances in Pulsed Power Mineral Processing Technologies // *Minerals*. 2022. № 12 (9). P. 1177. DOI: 10.3390/min12091177.
28. Chanturiya V.A., Bunin I.Z., Ryazantseva M.V., Filippov L.O. Theory and Applications of High-Power Nanosecond Pulses to Processing of Mineral Complexes // *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.* 2011. № 32 (2). P. 105–136. DOI: 10.1080/08827508.2010.530722.
29. Lodeishchikov V.V. Some Possibilities for Processing of Refractory Gold Ores // *Zolotodobyvayushchaya promyshlennost'*. 2008. 64 p.
30. Gzogyan T.N. Intensification of Ore Dressing and Enrichment of Ferruginous Quartzite Based on Energy Impacts // *Min. In-formational Anal. Bull.* 2001. P. 41–53.
31. Литвинцев В.С., Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. Механоактивация в процессах рудоподготовки // *Горный журнал*. 2006. № 6. С. 95–96.
32. Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. К вопросу оптимизации процесса измельчения руд // *Обогащение руд*. 2006. № 4. С. 5–7.
33. Liu J., Wang H., Hu T., Bai X., Wang S., Xie W., Hao J., He Y. Recovery of LiCoO_2 and Graphite from Spent Lithium-Ion Batteries by Cryogenic Grinding and Froth Flotation // *Miner. Eng.* 2020. P. 148. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106223.
34. Jaiswal S., Singh R., Singh V., Mukherjee A.K. A Study of the Effects of Thermal Shocks on Liberation Characteristics of High Coal Ash Particles // *Fuel*. 2018. № 233. P. 215–223. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.06.050.
35. Николаева Н.В., Каллаев И.Т. Особенности процесса измельчения медно-молибденовых руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 52–66. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_52.

ОБОГАЩЕНИЕ ПРИРОДНЫХ МОНТМОРИЛЛОНИТ СОДЕРЖАЩИХ ГЛИН ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО НАНОСОРБЕНТА

Кормош Е.В., Алябьева Т.М., Швецова М.Ж.,
Рябцева Н.Н., Понамарева В.Е., Дogaева Л.А.

*АНО ВО «Белгородский университет кооперации, экономики и права»,
Белгород, e-mail: kormosh-e@mail.ru*

В данной статье рассмотрено обогащение природной монтмориллонитсодержащей глины для повышения массового содержания в ней сорбционно-активного минерала монтмориллонита и оценены химико-технологические и коллоидные свойства обогащенных глин. Данное исследование направлено на дальнейшую перспективу использования их в качестве сорбента ионов тяжелых металлов. В качестве объекта исследования были использованы типичные глины Белгородской области. Обогащение природных глин проведено методом отмучивания с полным выделением фракций. Массовое содержание фракций установлено с использованием лазерного анализатора частиц. Показано, что наибольшее содержание составляют частицы с размером менее 10 мкм. По данным исследования низкое значение коллоидальности и водопоглощения указывает на щелочно-земельный бентонит, что позволяет предположить в большей степени кальциевую форму монтмориллонита. Рентгенофазовым анализом установлено, что основным сорбционно-активным минералом является монтмориллонит в кальциевой и натриевой форме, количественное содержание которого увеличилось в два раза в процессе обогащения. По мере увеличения дисперсности удельная поверхность и общий объем пор увеличиваются. По данным энергодисперсионного анализа заметно снижаются интенсивности спектров, характерных для титана и кремния, и возрастает интенсивность спектров для алюминия, магния, кальция, натрия, калия, железа. У обогащенных образцов были определены сорбционные свойства по отношению к ионам железа как наиболее часто встречающемуся загрязнителю сточных вод. По мере увеличения содержания монтмориллонита в образцах, эффективность сорбции достигает 100%, что позволяет рекомендовать обогащенный образец глины для разработки высокоэффективного сорбента очистки сточных вод.

Ключевые слова: обогащение, монтмориллонит, адсорбция, глина, технологические свойства

ENRICHMENT OF NATURAL MONTMORILLONITE-CONTAINING CLAYS FOR THE DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFECTIVE NANOSORBENT

Kormosh E.V., Alyabeva T.M., Shvetsova M.Zh.,
Ryabtseva N.N., Ponamareva V.E., Dogaeva L.A.

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, e-mail: kormosh-e@mail.ru

In this article, natural montmorillonite-containing clay was enriched to increase the mass content of the sorption-active mineral montmorillonite in it and the chemical, technological and colloidal properties of enriched clays were assessed. This study is aimed at the further prospect of using them as a sorbent for heavy metal ions. Typical clays of the Belgorod region were used as the object of study. Enrichment of natural clays was carried out by elutriation with complete separation of fractions. The mass content of fractions was determined using a laser particle analyzer. It has been shown that the highest content is made up of particles with a size of less than 10 microns. According to the study, low colloidal and water absorption values indicate alkaline earth bentonite, which suggests a predominantly calcium form of montmorillonite. X-ray phase analysis established that the main sorption-active mineral in enriched clays is montmorillonite in calcium and sodium form. Quantitative content determined of montmorillonite to be doubled during the enrichment process. As the dispersion increases, the specific surface area and total pore volume increase. According to energy dispersive analysis, the intensities of the spectra characteristic of titanium and silicon noticeably decrease and the intensity of the spectra for aluminum, magnesium, calcium, sodium, potassium, and iron increases. The sorption properties of the enriched samples with respect to iron ions, as the most common wastewater pollutant, were determined. As the content of montmorillonite in the samples increases, the sorption efficiency reaches 100%, which allows us to recommend the use of an enriched clay sample for the development of a highly effective sorbent for wastewater treatment.

Keywords: enrichment, montmorillonite, adsorption, clay, technological properties

Увеличивающиеся масштабы развития производственно-хозяйственной деятельности человека привели к высокой техногенной нагрузке на водные объекты в целом. К веществам, содержащимся в сточных водах в концентрациях, превышающих предельно допустимую, относятся ионы тяжелых металлов, жиры, нефтепродукты и др. [1].

Способов очистки сточных вод от поллютантов различной химической природы довольно много, и одним из них является сорбционный. Сорбенты могут быть представлены на основе органического сырья, например синтетические высокомолекулярные соединения. Это могут быть сорбенты растительного происхождения, такие

как торф, отходы подсолнечника, шелуха риса, гречки и т.д. Широко распространенной является группа сорбентов неорганической природы, таких как активированный уголь, оксиды алюминия, магния и цинка, цеолиты [2].

Широкое применение для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов находят природные гидроалюмосиликаты структурного типа 2:1, к которым относится монтмориллонит [3]. Использование в качестве сорбента природных материалов местного происхождения позволит более экономически выгодно решать экологические проблемы загрязнения природных вод.

Цель исследования – изучить влияние процесса обогащения природных монтмориллонитовых глин Белгородской области на химико-технологические и сорбционные свойства с целью оценки возможности использования обогащенных глин в качестве сорбента ионов тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовались природные глины Шебекинского района Белгородской области – проба № 1, отобранная на глубине 3,5 м, и проба № 2, отобранная на глубине 4,5 м.

Качественное содержание монтмориллонита установлено методом рентгеноструктурного и адсорбционного люминесцентного анализа [4]. Определены кислотно-основные и химико-технологические показатели глин, такие как водопоглощение, коллоидальность, сульфидная сера [4].

Для получения обогащенных образцов глин был использован метод отмучивания с полным выделением фракций. Для этого навеска глины массой 100 г помещалась в литровый стакан высотой 40 см, заливалась дистиллированной водой и оставалась для набухания на 24 ч. Перед отбором пробы суспензию взмучивали в течение 1 мин и осуществляли взятие пробы.

Для выделения частиц разного размера отбор глиняной суспензии проводили в зависимости от плотности частиц и температуры (табл. 1). Отбор проб продолжался до тех пор, пока суспензия в сосуде не становилась полностью прозрачной. Образцы отстаивались и после декантации высушивались до постоянной массы при 105–110°C.

Количественный гранулометрический состав природных и обогащенных глин определяли сухим просеиванием, после чего полученные гранулометрические классы взвешивали и рассчитывали выход в процентах от общей массы, взятой для ситового анализа.

Значение удельной поверхности для природных и обогащенных образцов определен по методу БЭТ, а по методу ВЖН рассчитан суммарный объем пор.

Сорбционные свойства исследуемых образцов были оценены по способности адсорбировать ионы железа (III) с начальной концентрацией 0,1 ммоль/л ионов железа. Время сорбции составляло 90 мин, расход глины – 1 г на 50 мл раствора. Определение концентрации ионов железа проводили фотоколориметрическим методом по соответствующей методике [5].

Применение указанных методов позволило всесторонне оценить вещественный состав, текстурные и сорбционные свойства природных и обогащенных монтмориллонитсодержащих глин.

Результаты исследования и их обсуждение

Природные глины являются типичными представителями глин Белгородской области, химический состав и некоторые химико-технологические свойства представлены в ранее опубликованных работах [6, 7].

Качественное содержание монтмориллонита установлено методом рентгеноструктурного и адсорбционного люминесцентного анализа [4].

Таблица 1

Зависимость размера частиц от продолжительности отстаивания и глубины отбора проб глиняной суспензии при 22,5–25 °

Размер частиц, мкм	Плотность частиц, г/см ³	Высота отбора пробы, см	Промежуток времени отбора проб в зависимости от температуры	
			22,5 °	25 С
≥ 50	2,6	25	1 мин 49 с	1 мин 43 с
≥ 10	–	10	18 мин 06 с	17 мин 06 с
≥ 5	–	10	1 ч 12 мин 24 с	1 ч 08 мин 25 с
≥ 1	–	7	24 ч 36 мин 25 с	24 ч 18 мин 25 с

Таблица 2

Химико-технологические показатели природных и обогащенных глин

Показатели	Образец № 1		Образец № 2	
	природная	обогащенная	природная	обогащенная
Сульфидная сера	0,028	0,068	0,033	0,186
Железо в пересчете на Fe ₂ O ₃	4,18	5,23	4,43	5,63
Коллоидальность	17,5	20,0	20,2	25,3
Водопоглощение	1,72	2,20	1,53	2

Таблица 3

Результаты ситового анализа глин

Размер ячеек сит, мм	Образец № 1		Образец № 2	
	Нативная	Обогащенная	Нативная	Обогащенная
	Выход классов, мас. %			
+04	19,7	10,40	20,2	9,05
+016	23,8	13,0	21,9	13,8
-016	56,6	76,6	57,9	76,7
Сумма, %	100	100	100	100

Определены кислотно-основные и химико-технологические показатели глин, такие как водопоглощение, коллоидальность, сульфидная сера [8].

Методом отмучивания были выделены образцы глин с размером частиц менее 50, 10, 5, 1 мкм. Для природных и обогащенных образцов были определены основные химико-технологические показатели, предъявляемые к бентонитовым глинам [9]. Результаты исследования представлены в табл. 2.

По данным исследования, низкое значение коллоидальности и водопоглощения указывает на щелочноземельный бентонит, что позволяет предположить в большей степени кальциевую форму монтмориллонита [10].

Процесс обогащения привел к уменьшению крупности глинистых частиц в обогащенных образцах по сравнению с природной глиной (табл. 3).

Для природных глин удельная поверхность в процессе обогащения увеличивается от 36–38 м²/г до 41–42 м²/г, 55–57 м²/г, 59–62 м²/г, 64–68 м²/г у образцов с размером частиц менее 50, 10, 5 и 1 мкм соответственно. При этом общий объем пор увеличивается от 0,052 см³/г для природной глины до 0,065–0,067 см³/г, 0,0826–0,0832 см³/г, 0,0895–0,0907 см³/г, 0,0987–0,105 см³/г у образцов с размером частиц менее 50, 10, 5 и 1 мкм соответственно. Как следует из полученных результатов, по мере увеличения дисперсности, удельная поверхность и об-

щий объем пор увеличиваются. Так, в сравнении с природной глиной для образца с размером частиц менее 1 мкм удельная поверхность увеличилась в 1,8 раза, а для образца с размером частиц менее 10 мкм – в 1,5 раза.

Массовое содержание глинистых фракций разного размера установлено с использованием лазерного анализатора частиц Micro Sizer 201 (рис. 1).

Установлено, что наибольшее содержание – 90% составляют частицы с размером частиц менее 10 мкм. Поскольку на основе обогащенной глины планируется разрабатывать сорбент, то наиболее выгодно проводить обогащение с выделением именно этой фракции.

Рентгенофазовым анализом установлено, что основным сорбционно-активным минералом в обогащенных глинах является монтмориллонит (рис. 2).

Условные обозначения: м – монтмориллонит, ил – иллит, кц – кальцит, кл – клиноптиллолит, к – каолинит; кв – низкотемпературный кварц, г – гидрослюда, пш – полевые шпаты, п – пиррофиллит

При расшифровке отражений на рентгеновской порошковой дифрактограмме можно говорить том, что обогащенный образец № 2 содержит преимущественно монтмориллонит в натриевой и кальциевой форме, а также имеются такие минералы, как иллит, каолинит, клиноптиллолит, кальцит, пиррофиллит, гидрослюда, полевые шпаты.

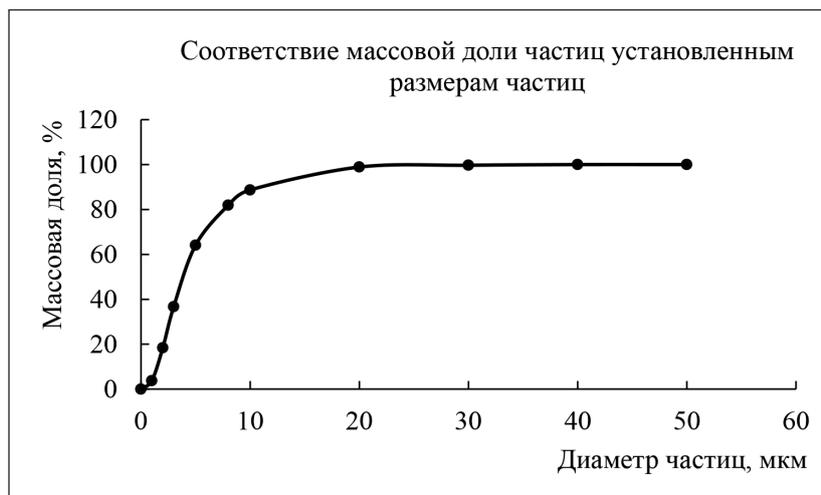


Рис. 1. Массовое распределение частиц в природной глине

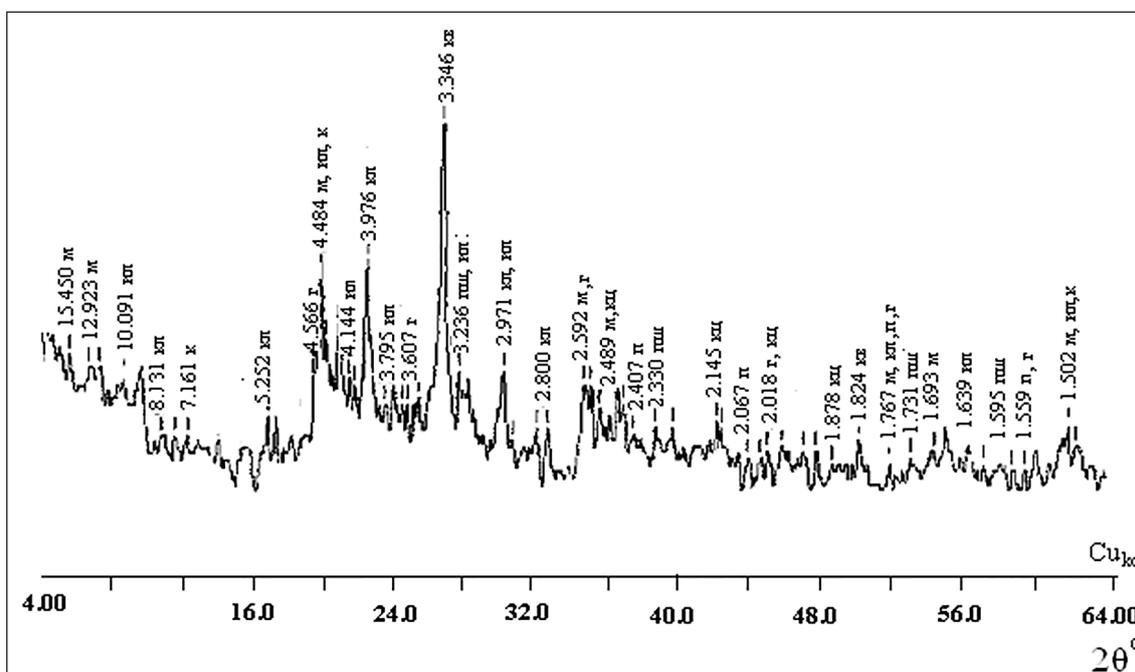


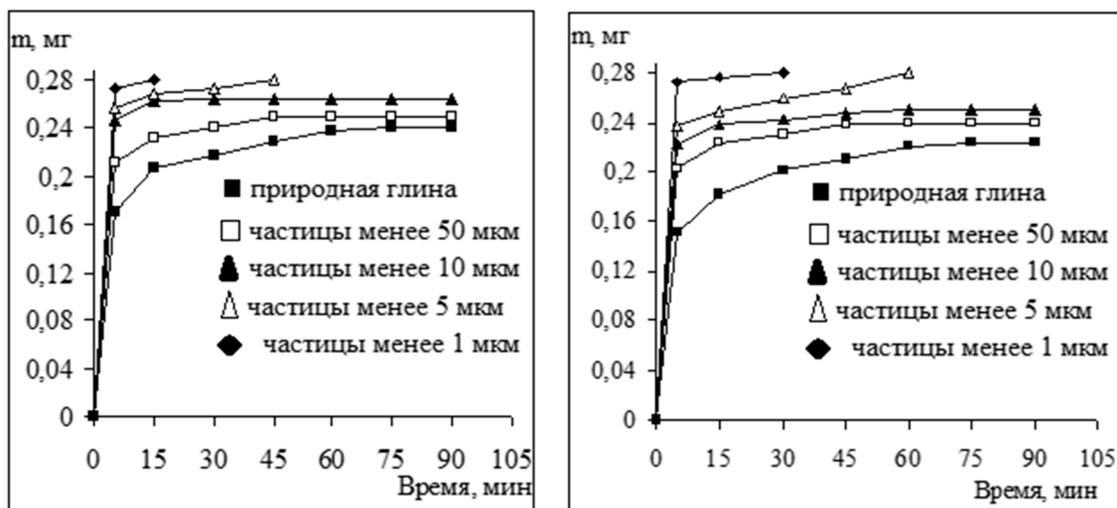
Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма обогащенной глины с размером частиц менее 10 мкм

Из данных рентгенофазового анализа следует, что сорбционно-активные минералы присутствуют во всех обогащенных образцах и содержание его увеличивается с уменьшением размера частиц фракции, что подтверждает количественное определение содержания монтмориллонита методом адсорбционного люминесцентного анализа.

Так, для образца № 1 содержание монтмориллонита, мас.%, увеличивается в следующем порядке: природный – 43,3; размер

частиц менее 50 мкм – 45,4, менее 10 мкм – 56,8, менее 5 мкм – 59,2; менее 1 мкм – 75,2. Для образца № 1 содержание монтмориллонита, мас.%, увеличивается в следующем порядке: природный – 50,2; размер частиц менее 50 мкм – 54,2, менее 10 мкм – 60,3, менее 5 мкм – 62,1, менее 1 мкм – 95,3.

Содержание монтмориллонита заметно возрастает в процессе обогащения, что связано с удалением части не способных к сорбции минералов, таких как иллит, палыгорскит, полевых шпатов, песка.



Образец № 1

Образец № 2

Рис. 3. Зависимость массы сорбированных ионов Fe^{3+} обогащенными глинами в сравнении с природными

Это также подтверждается данными химического анализа, по результатам которого заметно увеличение массового содержания оксидов магния, калия, натрия, кальция, алюминия. Поскольку сорбция ионов металлов протекает по обменному механизму, то увеличение содержания вышеуказанных оксидов будет способствовать повышению сорбционной способности минерала за счет увеличения обменных ионов, а именно магния, калия, натрия, кальция, алюминия в структуре минерала [11].

На всех исследуемых образцах определена сорбционная способность по отношению к ионам Fe^{3+} (рис. 3).

Общий вид кинетических кривых указывает на зависимость возрастания массы сорбированных ионов железа (III) от величины частиц сорбента и продолжительности сорбции. На кинетических кривых заметно время установления сорбционного равновесия – момента, когда произошло максимальное насыщение всех центров, отвечающих за сорбцию ионов железа (III). Для природной глины сорбционное равновесие наступает через 60 мин сорбции, при этом количество поглощенных ионов составило 0,223 и 0,248 мг для образцов № 1 и 2 соответственно. Для образцов сорбентов с размером частиц менее 50 мкм сорбционное равновесие установилось через 45 мин, и масса поглощенных ионов составила 0,241 и 0,262 мг соответственно для двух образцов. Максимум насыщения наступает через 30 мин для образцов с размерами ча-

стиц менее 10 мкм. При этом масса сорбированных ионов 0,27 мг для двух образцов. Максимальное насыщение наступает через 5 мин, для частиц с размером менее 1 мкм и кривая продолжает свой рост, что свидетельствует о наличии еще вакантных позиций для сорбции ионов железа (III).

По мере увеличения содержания монтмориллонита в образцах эффективность сорбции достигает 100%, что позволяет рекомендовать использовать обогащенный образец глины для разработки высокоэффективного сорбента очистки сточных вод.

Заключение

Обогащение природной глины проводилось методом отмучивания, который полностью разделяет фракции. По результатам анализа порошковой рентгеновской дифракции можно определить, что обогащенные образцы содержат кальциевый и натриевый монтмориллонит.

По сравнению с природной глиной удельная поверхность обогащенного образца увеличилась в 1,5–1,6 раза. По мере увеличения дисперсности удельная поверхность и общий объем пор увеличиваются. Так, в сравнении с природной глиной для образца с размером частиц менее 1 мкм удельная поверхность увеличилась в 1,8 раза, а для образца с размером частиц менее 10 мкм – в 1,5 раза. Установлено, что наибольшее содержание – 90% составляют частицы с размером частиц менее 10 мкм. Поскольку на основе обогащенной глины

планируется разрабатывать сорбент, то наиболее выгодно проводить обогащение с выделением именно этой фракции.

Проведено изучение сорбционных свойств по отношению к ионам железа (III) обогащенными и природными глинами. По мере увеличения содержания монтмориллонита в образцах эффективность сорбции достигает 100%, что позволяет рекомендовать использовать обогащенный образец глины для разработки высокоэффективного сорбента очистки сточных вод.

Список литературы

1. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2022. 614 p.
2. Везенцев А.И., Воловичева Н.А., Королькова С.В., Труфанов Д.А., Кзар Д.А. Комплексная оценка вещественного состава глины месторождения «Никольское» как природного неорганического сорбционно-активного материала // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25, № 7. С. 38–42.
3. Kovalchuk I. Clay-Based Sorbents for Environmental Protection from Inorganic Pollutants // Presented at the 7th International Electronic Conference on Water Sciences. 2023. P. 5–10.
4. Королькова С.В. Коллоидно-химические свойства монтмориллонит-иллитовых глин, активированных солевыми растворами. дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2012. 158 с.
5. ГОСТ 32514-2013. Фотоколориметрический метод определения железа. М.: Стандартинформ, 2019. 13 с.
6. Везенцев А.И., Голдовская-Перистая Л.Ф., Добродомова-Копылова Е.В., Перистый В.А., Кормош Е.В., Здоренко Н.М. Монтмориллонитовые глины для сорбционной очистки почвы от подвижных форм свинца // Успехи современного естествознания. 2017. № 8. С. 7–12.
7. Голдовская-Перистая Л.Ф., Везенцев А.И., Перистый В.А., Добродомова-Копылова Е.В. Кинетика и эффективность сорбции ионов меди из водных растворов сорбентами различной химической природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 11 (232). С. 117–128.
8. ГОСТ 28177-89. Глины формовочные бентонитовые. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 22 с.
9. Зыкова И.В., Исаков В.А. Исследование физико-химических свойств сорбентов на основе модифицированных бентонитовых глин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2018. № 3. С. 56–60.
10. Апкарьян А.С., Саблина Т.Ю. Физико-технические свойства глины корниловского месторождения Томской области // Известия вузов. Физика. 2022. Т. 65, № 7 (776). С. 35–41.
11. Везенцев А.И., Горбунова Н.М., Соколовский П.В., Марьянских С.Г., Чуб А.В., Нгуен Х.Т., Грейш А.А. О механизме адсорбции ионов меди на бентонитовой глине // Известия Академии наук. Серия химическая. 2022. Т. 71, № 4. С. 651–655.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПОГРЕБЕННЫХ ОВРАГОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И ИХ ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ

¹Королёв Э.А., ¹Королёв А.Э., ²Бариева Э.Р., ²Лившиц С.А.

¹ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет», Казань, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,
e-mail: enzab143@mail.ru

Грунтовые толщи погребенных оврагов неоплейстоценового возраста, осложняющие скальный массив уржумского яруса в восточной части Приволжской возвышенности, представляют собой потенциально опасные участки при вскрытии их дорожными выемками и котлованами. Это обусловлено особенностями их строения и наличием в основании эрозионных овражных долин водоносных пластов. Согласно полевым наблюдениям в составе грунтовых толщ погребенных оврагов выделяется снизу вверх по разрезу пять инженерно-геологических элементов: слабо измененные доломиты уржумского яруса в основании четвертичного комплекса отложений (ИГЭ-1), элювированные мергели, сильно дезинтегрированные и смятые в экзогенные складки (ИГЭ-2), овражный пролювий (ИГЭ-3), овражный делювий (ИГЭ-4) и почвенно-растительный слой (ИГЭ-5). В нижней части погребенных оврагов сформирован водоносный горизонт, ложем которого служат плотные доломиты уржумского яруса, водовмещающими являются делювиальные отложения, сложенные щебнисто-дресвяным материалом вперемешку с пылеватыми и глинистыми минеральными частичками. Из всех перечисленных грунтов на строительные свойства грунтовой толщи наибольшее влияние будут оказывать пролювиально-делювиальные отложения. Пролувиальные отложения в силу их высокой обводненности способствуют тиксотропному разжижению грунтов при вскрытии грунтовой толщи техногенными выемками. Делювиальные отложения, сложенные легкими лессовидными суглинками, вследствие высокой пористости, наличия нестойких к воздействию воды структурных связей, низкой прочности на сжатие и небольшой силы сцепления между минеральными частицами определяют низкую устойчивость грунтовой толщи в стенках техногенных обнажений. При нарушении естественных условий залегания грунтовой толщи дорожными выемками или котлованами в них активизируются оползневые процессы.

Ключевые слова: погребенные овраги, грунтовые толщи, строение, состав, свойства, активизация оврагов

FEATURES OF THE STRUCTURE OF GROUND SEQUENCE OF NEO-PLEISTOCENE BURIED GULLS IN THE EASTERN PART OF THE VOLGA UPLANDS AND THEIR SUSCEPTIVENESS TO LANDSLIDES PROCESSES

¹Korolev E.A., ¹Korolev A.E., ²Barieva E.R., ²Livshits S.A.

¹Kazan Federal University, Kazan, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;

²Kazan State Energy University, Kazan, e-mail: enzab143@mail.ru

The soil strata of buried ravines of Neopleistocene age, complicating the rock massif of the Urzhum stage in the eastern part of the Volga Upland, are potentially dangerous areas when they are exposed by road cuts and pits. This is due to the peculiarities of their structure and the presence of aquifers at the base of erosional ravine valleys. According to field observations, in the composition of the soil strata of buried ravines, 5 engineering geological elements are distinguished from bottom to top along the section: weakly altered dolomites of the Urzhum stage at the base of the Quaternary complex of sediments (IGE-1), eluted marls, strongly disintegrated and folded into exogenous folds (IGE-2), gully proluvium (IGE-3), gully colluvium (IGE-4), and soil-vegetation layer (IGE-5). In the lower part of the buried ravines, an aquifer has been formed, the bed of which is dense dolomites of the Urzhum stage; the water-bearing deposits are colluvial deposits composed of crushed stone-wood material mixed with silty and clayey mineral particles. Of all the listed soils, proluvial-deluvial deposits will have the greatest influence on the construction properties of the soil stratum. Proluvial deposits, due to their high water content, contribute to thixotropic liquefaction of soils when the soil layer is opened by technogenic excavations. Deluvial deposits composed of light loess-like loams, due to high porosity, the presence of structural bonds that are not resistant to water, low compressive strength and low adhesion force between mineral particles, determine the low stability of the soil layer in the walls of technogenic outcrops. When the natural conditions of the soil layer are disrupted by road cuts or pits, landslide processes are activated.

Keywords: buried ravines, soil strata, structure, composition, properties, activation of ravines

Дорожное строительство и кемпинговая застройка береговой линии Куйбышевского водохранилища, ведущиеся на правом берегу р. Волга, в последние годы сталки-

ваются с непредвиденными трудностями в виде активизации геодинамических процессов [1–3]. Анализ инженерно-геологических условий подобных потенциально

опасных участков показал, что большая часть из них пространственно приурочена либо к неогеновым врезам, либо к неоплеистоценовым погребенным оврагам. Причем часто древние овраги развиваются по ранее сформированным неогеновым врезам, осложняя и так непростые геологические условия территории. Несмотря на очевидное негативное влияние погребенных оврагов на строительство инженерных объектов и сооружений, до сих пор нет точных геологических данных о строении грунтовой толщи этих геоморфологических элементов, осложняющих грунтовой массив. В попытках устранения этого пробела было проведено детальное исследование разрезов неоплеистоценовых оврагов, вскрытых дорожными выемками в восточной части Приволжской возвышенности междуречья р. Волга и Свияга.

Целью исследований являлось установление особенностей строения грунтовых толщ с выделением основных инженерно-геологических элементов, выявление преобладающих в них водоносных горизонтов, определение состава и физико-механических свойств грунтов, определяющих устойчивость толщ при вскрытии их техногенными выработками, а также степени подверженности оползневым процессам.

Материалы и методы исследования

Методика исследования заключалась в детальном описании участков обнажений в склонах дорожной выемки, где были зафиксированы отложения погребенных оврагов. Описание включало в себя характеристику грунтов в разрезе для определения генетического типа четвертичных отложений. При наличии подземных вод в погребенных оврагах описание дополнялось строением водоносных горизонтов. В ходе полевых работ осуществлялся отбор образцов грунтов и проб подземных вод для лабораторных исследований. Образцы грунтов были изучены в специализированной лаборатории Института геологии и нефтегазовых технологий в соответствии с действующими нормами и требованиями.

Результаты исследования и их обсуждение

Коротко ознакомимся с историей формирования неоплеистоценовых оврагов. Согласно последним представлениям, овраги восточной окраины Приволжской возвышенности образовались в эпоху последнего, Валдайского оледенения [4–6].

В это время холодный сухой климат, господствовавший в перигляциальной зоне на рассматриваемой территории, сменился более теплым и влажным [7, 8]. Избыточное увлажнение в период межстадиального потепления способствовало активизации водно-эрозионных процессов. Воды атмосферных осадков, стекающие с холмов эрозионно-денудационных останцев в восточной окраине Приволжской возвышенности, сливаясь в низинах создали условия для формирования протяженных оврагов. Базисом эрозии оврагов служила уже существовавшая к этому времени Палео-Волга [9, 10]. Направленный сток поверхностных и грунтовых вод с запада на восток, с водораздела в сторону Палео-Волжской речной долины, создал предпосылки для заложения параллельных друг другу протяженных овражных систем. По мере денудации холмистых возвышенностей скорость стока поверхностных и подземных вод замедлилась, и овраги вступили в стадию трансформации в балки. Дно оврагов постепенно заполнялось пролювиально-делювиальными четвертичными отложениями. К концу голоцена большая часть ранее образованных овражных форм были сnivelированы в рельефе, оставшись в виде корытообразных балок, переходящих в выположенные склоны холмов. В таком виде погребенные палеоовраги, выполненные пролювиально-делювиальными отложениями, просуществовали до нынешнего времени.

Проходки дорожных выемок, вскрывшие в крест протирания погребенные овраги, позволили в полной мере рассмотреть особенности строения овражно-эрозионных врез и аккумулярованных в них грунтовых толщ. Сами врезы морфологически представляют собой плоскостонные понижения древнего рельефа в коренных породах уржумского яруса. Ширина овражных долин может составлять от 10,0 до 35,0 м, при глубине эрозионных промоин от 5,0 до 14,0 м. Отмечается тенденция увеличения ширины и глубины погребенных оврагов в направлении от древних водоразделов в сторону речной долины Палео-Волги. Корытообразное дно овражных долин с боковых сторон переходит в относительно крутые борта, угол наклона которых варьирует в пределах 40–55°. Борта соединяются с более пологими склонами холмов, представляющими собой реликты эрозионно-денудационных поднятий, ранее являющихся водосборным бассейном неоплеистоценовых оврагов. Боковые борта палеооврагов и склоны окру-

жающих их холмов сложены горизонтально залегающими осадочными породами уржумского яруса (P_2ur), представленными светло-серыми доломитами, розово-красными доломитовыми мергелями, красно-бурыми аргиллитоподобными глинами, зеленовато-серыми мелкозернистыми и пылеватыми песчаниками. Характерной особенностью овражных долин является наличие в их основании неизменных, слабо эродированных слоев доломитов. Вероятно, доломиты, как плотные и наиболее устойчивые к водной эрозии породы, ранее слагали тальвеги оврагов, препятствуя дальнейшему их углублению. Коренные породы уржумского яруса в бортах овражных долин были частично изменены под воздействием гипергенных процессов. Это выражается как в повышенной трещиноватости доломитовых мергелей и аргиллитоподобных глин, вплоть до их перехода в щебеночные слои, так и в смятии слоев в складки. Последние образовались под действием гравитационного скольжения обводненных слоев осадочных пород вниз по бортам оврагов (экзогенная складчатость). Вероятно, смятые в складки и дезинтегрированные грунты представляют собой плохо сформированные элювиальные отложения четвертичного возраста (eQ_{IV-III}). Мощность элювиальных отложений не постоянна, может меняться от 0,5 до 1,2 м. Примечательно, что максимальные толщины отмечаются не в тальвеге, а на бортах овражных ложбин. Это указывает на существование в наиболее заглубленной части палеооврагов водных потоков с высокими скоростями течения.

Овражно-эрозионные долины заполнены светло-коричневыми, относительно однородными по сложению четвертичными отложениями, резко контрастирующими с красноцветами уржумского яруса. В разрезах терригенной толщи неоплейстоценовых погребенных оврагов отмечаются два генетических типа отложений – пролювиальные и делювиальные. Пролувиальные отложения (pQ_{III}) залегают в нижней части грунтовой толщи, образуя относительно небольшой по толщине слой – от 0,5 до 1,2 м. Он расположен непосредственно на слабо эродированных доломитах уржумского яруса, сглаженных и отшлифованных водными потоками. Контакт между четвертичными и коренными отложениями резкий, ровный. Пролувиальные отложения представлены светло-коричневыми суглинками, обога-

щенными щебнистыми и дресвяными обломками светло-серых доломитов и розово-красных мергелей. Снизу вверх по слою размеры обломков горных пород, а также их содержание постепенно уменьшаются с увеличением доли тонкодисперсного материала. Ближе к бортам овражных ложбин в пролювиальном слое отмечаются включения крупных угловатых доломитовых глыб, которые можно отнести к коллювию. Выше по разрезу залегают делювиальные суглинки (dQ_{III-IV}). Отложения характеризуются светло-коричневой окраской, тонкодисперсной структурой, однородной текстурой, слабым сцеплением между минеральными зернами. Периодически в толще суглинков встречаются кальцитовые трубчатые агрегаты, развивающиеся вдоль протяженных ходов корневой системы травянистой и кустарниковой растительности. В техногенных обнажениях дорожных выемок по толщам делювиальных суглинков весьма быстро развиваются вертикальные трещины, разбивающие грунты на столбчатые отдельности. По этому признаку делювиальные суглинки можно отнести к лессовидным. Мощности делювиальных слоев меняются от 5,5 до 10,5 м. Перекрываются светло-коричневые четвертичные отложения темно-серым почвенно-растительным слоем, обогащенным гумусом и с большим количеством переплетающихся корней травянистой растительности.

Грунтовые толщи практически всех неоплейстоценовых погребенных оврагов содержат один водоносный горизонт, приуроченный к нижней части четвертичных отложений. Водоносный пласт локализован в пределах пролювиального слоя. Водоупором служат плотные доломиты уржумского яруса. По условиям залегания воды грунтовые со свободной поверхностью, по происхождению – инфильтрационные, образованы за счет просачивания атмосферных осадков. Область питания подземных вод распространяется на холмы, окружающие погребенные палеоовраги, разгрузка осуществляется в бортах речных долин в виде нисходящих родников. Согласно лабораторным исследованиям, подземные воды по минерализации пресные, по гидрохимическому типу – гидрокарбонатные магниево-кальциевые, слабощелочные (рН 7,2).

Как следует из описания, в составе грунтовых толщ неоплейстоценовых погребенных оврагов выделяется до пяти инженерно-геологических элементов (табл. 1).

Таблица 1

Инженерно-геологические элементы грунтовой толщи погребенных оврагов

№ ИГЭ, возраст	Характеристика грунта	Толщины, м	
		min	Max
ИГЭ-1	Почвенно-растительный слой, темно-серый, обогащенный гумусом, с многочисленными корнями травянистой растительности	0,25	0,5
ИГЭ-2 dQ _{III-IV}	Суглинок делювиальный, светло-коричневый, легкий, лессовидный, со следами корней травянистой растительности, залеченными агрегатами кальцита	5,5	10,5
ИГЭ-3 pQ _{III}	Суглинок пролювиальный с включением дресвяных обломков доломитов и мергелей, светло-коричневый, увлажненный, водоносный	0,5	1,2
ИГЭ-4 eQ _{II-III}	Мергель красно-бурый, смятый в складки, раздробленный до состояния разборного щебня	0,5	1,2
ИГЭ-5 P _{2ur}	Доломиты светло-серые с прослойками зеленовато-серых мергелей, плотные, слабо трещиноватые	1,0	2,8

Таблица 2

Гранулометрический состав делювиальных суглинков

Суглинок	Содержание фракций различной размерности, мм			
	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	< 0,01
Верхняя часть разреза	0,52%	3,12%	26,62%	39,74%
Средняя часть разреза	1,29%	13,24%	42,18%	43,29%
Нижняя часть разреза	2,13%	16,51%	45,87%	35,49%

Из них лишь ИГЭ-2 и ИГЭ-3 представляют интерес как грунты, способные определять инженерно-геологические условия участка строительства. ИГЭ-5 и ИГЭ-4, относящиеся к скальным и крупнообломочным грунтам, соответственно в силу особенностей структурных связей и плотного естественного сложения щебнистого материала в слоях, являются относительно прочными и устойчивыми к внешнему воздействию породами. Поэтому при вскрытии доломитов и слабо элювированных мергелей дорожными выемками или котлованами активизации негативных геодинамических процессов ожидать не следует. Наоборот, эти грунты будут в какой-то мере оказывать стабилизационное воздействие на стенки выработок.

Учитывая вышесказанное, были проведены лабораторные исследования по определению физико-механических свойств делювиальных суглинков ИГЭ-2. Из делювиальных отложений ИГЭ-3 отобрать образцы монолитов не удалось вследствие их высокой обводненности и текучей консистенции. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [11].

С целью определения минерального состава грунтов был проведен рентгенографический анализ нескольких образцов. Расшифровка рентгеновских дифракционных спектров показала, что в составе делювиальных суглинков присутствуют аллотигенные зерна кварца (28–36%), альбита (18–34%) и микроклина (10–15%). Глинистые минералы составляют 18–23%. Из них отмечаются смешаннослойная минеральная фаза иллит-монтмориллонитового состава (6%), иллит (6–11%), хлорит (2–4%) и каолинит (2–3%). В небольшом количестве присутствует кальцит (5%). Гранулометрический анализ показал, что в составе делювиального суглинка преобладают минеральные зерна алевритовой фракции (0,01–0,1 мм) и тонкодисперсные частицы (< 0,01 мм), в совокупности составляющие более 60–80% породы (табл. 2). Обломки псаммитовой фракции (> 0,1 мм) находятся в весьма небольшом количестве. Причем в ее составе доминируют трубчатые агрегаты кальцита, выполняющие ходы корней травянистой растительности.

Лабораторные исследования физических свойств делювиальных суглинков показа-

ли, что их природная влажность находится в пределах 11,84–15,62%, плотность – 1,98–2,01 г/см³, пористость – 30,59–32,83%, число пластичности составляет 12,8, содержание органического вещества – 0,8–1,7%. Породы обладают нестойкими структурными связями, при повышенной влажности куски теряют монолитность, образцы, помещенные в прибор ПРГ-1Ф, в течение первых минут полностью превращались в рыхлую бесструктурную массу. Согласно полученным данным порода относится к суглинкам легким пылеватым. Поскольку устойчивость грунтовой толщи в откосах дорожных выемок и в стенках котлованов определяется механическими характеристиками пород, были проведены испытания образцов на приборе трехосного сжатия. Согласно полученным данным сила сцепления между минеральными частичками делювиальных суглинков составляет 16–19 кПа, угол внутреннего трения – 26–28°, прочность на сжатие – 0,19–1,16 МПа, удельный вес – 23 кН/м³. Результаты измерений были загружены в геотехническую программу GEO5 для расчетов устойчивости склонов. Моделирование показало, что грунтовые толщи делювиальных суглинков в случае нарушения условий их естественного залегания будут образовывать

неустойчивые склоны в бортах техногенных выемок.

Полевые исследования 2022–2023 гг. подтвердили правильность моделей. В стенках выемок, строящихся высокоскоростных автомобильных трасс, где вскрываются погребенные неоплейстоценовые овраги, повсеместно наблюдаются оползневые процессы. Все зафиксированные оползни относятся к асеквентным, согласно классификации Ф.П. Саваренского [12, с. 58], поскольку развиваются в однородных неслоистых грунтах (рисунок).

Ложе оползня и плоскость скольжения расположены на границе пролювиальных и делювиальных отложений. Это обусловлено наличием водоносного горизонта на уровне пролювиального шлейфа. Ширина охвата грунтового массива оползневыми процессами составляет от 10,0 до 35,0 м. В одних случаях формируется одно оползневое тело, в других – несколько тел, разделенных останцами более устойчивых пород. Впоследствии останцы тоже обрушаются, увеличивая объемы смещенного грунта. Оползание пород происходит в местах выходов в основание массива четвертичных суглинков родников, способствующих суффозионному разуплотнению грунтов.



Фото оползня в грунтовой толще делювиальных суглинков погребенного оврага

По объему вовлеченного в оползание грунта все оползни относятся к небольшим (10–200 м³). Формирование оползневых тел начинается с образования на поверхности грунтового массива трещин отрыва в виде полуциркуля, заложение которых происходит на удалении 5,0–8,0 м от бровки откоса дорожной выемки. По мере расширения трещин и увеличения их протяженности, отрывающийся блок грунтового массива наклоняется в сторону строящегося дорожного полотна пока не произойдет обрушение. При обрушении блок рассыпается в бесструктурную массу, террасоподобные останцы не образуются. В последующем выходы подземных вод в основании грунтового массива размывают бесструктурные суглинки и в виде шлейфа выносят тонкозернистый и глинистый материал в ближайшие понижения рельефа. При этом в местах отрыва оползневого блока в стенках массивов образуются оползневые цирки. Циркообразные стенки отрыва практически вертикальные, не имеют четко выраженных наклонов. После некоторого периода стабилизации в дальнейшем весь процесс повторяется до тех пор, пока не будут проведены мероприятия по выполаживанию или укреплению грунтового массива четвертичных суглинков погребенных палеооврагов.

Заключение

Грунтовые толщи погребенных оврагов неоплейстоценового возраста представляют собой потенциально опасные участки, осложняющие ведение земляных работ при строительстве инженерных сооружений. Наличие в составе грунтовой толщи обводненных пролювиальных отложений и делювиальных лессовидных суглинков со слабыми структурными связями обуславливают их неустойчивое положение в техногенных обнажениях. Согласно моделированию, подтвержденному временем, при вскрытии четвертичных отложений погребенных оврагов в склонах дорожных выемок или котлованов по ним достаточно быстро развиваются оползневые процессы. Оползни асеквентные, бесструктурные, по объему вовлеченного в оползание грунта относятся к небольшим. Учитывая геоморфологические особенности погребенного рельефа, наличие в составе грунтовой толщи слабых грунтов и высокую вероятность активизации в них оползневых де-

формаций, участкам погребенных оврагов можно присвоить III категорию сложности инженерно-геологических условий. При их проходке необходимо планировать и разрабатывать мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение земляных работ.

Список литературы

1. Золотарь А.И., Мельников Р.В. Обзор противокарстовых мероприятий, применяемых при проектировании линейного объекта М-12 «Москва – Казань» // Путьевой навигатор. 2022. № 53 (79). С. 36–45.
2. Королёв А.Э., Пиржанова Е.С., Королёв Э.А. Сложные оползни в стенках дорожной выемки на одном из участков федеральной автомобильной трассы по территории Татарстана // Геологи XXI века: Материалы XXIV Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 5 апреля 2024 г.). Саратов: ТехноДекор. 2024. С. 28–29. [Электронный ресурс]. URL: https://www.sgu.ru/sites/default/files/conf/files/2024-04/geologi_xxi_veka_2024_final.pdf (дата обращения: 24.04.2024).
3. Латыпов А.И., Гараева А.Н., Яббарова Е.Н., Усманов Р.М., Королёв А.Э. Природно-техногенные геодинамические процессы, активизированные при устройстве выемок грунта трассы М-12 на территории Приволжской возвышенности // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. 2023. С. 104–108.
4. Валиуллина Г.Ш., Илларионов А.Г. Плейстоценовое перигляциальное рельефообразование на территории Закамья Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 126–136.
5. Украинцев В.Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 1. С. 26–34.
6. Ямашкин А.А., Новикова Л.А., Ямашкин С.А., Яковлев Е.Ю., Уханова О.М. Пространственная модель ландшафтов западных склонов Приволжской возвышенности // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 3. С. 124–132.
7. Сенатор С.А., Мороз В.П. Географические условия и развитие растительного покрова Среднего Поволжья и прилегающих территорий в плейстоцене // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2. С. 62–74.
8. Писарева В.В., Судакова Н.Г., Зюганова И.С., Карпухина Н.В., Захаров А.Л. Дискуссионные проблемы стратиграфии среднего неоплейстоцена центрального региона Восточно-Европейской равнины // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2019. № 77. С. 49–85. DOI: 10.34756/GEOS.2019.4.77-4.
9. Линкина Л.И., Петрова Е.В. Климатические и ландшафтные условия Среднего Поволжья на рубеже миоцена и плиоцена // Ученые записки Казань университета. 2015. Т. 157. Кн. 1. С. 34–48.
10. Петрова Е.В. Перестройка речной сети и направленность смещения водоразделов в пределах территории Республики Татарстан в четвертичное время // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 2. С. 252–257.
11. ГОСТ 25100-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 43 с.
12. Ежов В.С., Хорошилов В.С. Строение и классификация оползней // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 6. С. 54–61. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-6-54-61.

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЯ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕПРЕССОРОВ

Прохорова Е.О., Смирнов А.Ю., Александрова Т.Н.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: s225074@stud.spmi.ru, s191198@stud.spmi.ru, Aleksandrova_TN@pers.spmi.ru

Существующие методы обогащения минерального сырья, с учетом ухудшения качества исходного материала, поступающего на обогатительную фабрику, нуждаются в интенсификации. Процесс флотационного обогащения основан на различной смачиваемости минеральных фаз, что приводит к необходимости обеспечения селективного извлечения полезных компонентов и улучшения качества получаемой продукции необходимо понимание действия реагентов на поверхностные свойства. В работе рассматривается селективное действие реагентов-депрессоров с анализом изменения свободной поверхностной энергии и ее составляющих для избирательного подавления минералов пустой породы. Анализ результатов исследования показал, что пиррофосфат натрия оказал более селективное действие по отношению к минералам кварца и кальцита, чем на поверхностные свойства угля, с увеличением свободной поверхностной энергии на 37,78 мН/м и 13,19 мН/м, соответственно. Исследование влияния депрессоров на поверхностные свойства минеральных фаз позволяет обосновать возможность повышения качества концентрата путем направленного подавления пустой породы. При проведении флотационных опытов был получен концентрат с зольностью 6,32% при применении комбинации депрессоров пиррофосфата натрия и жидкого стекла; при этом содержание серы составило 0,279%.

Ключевые слова: краевой угол смачивания, свободная поверхностная энергия, депрессоры, смачиваемость, флотация

ASSESSMENT OF SURFACE PROPERTIES OF COAL AND ROCK-FORMING MINERALS UNDER THE INFLUENCE OF DEPRESSORS

Prokhorova E.O., Smirnov A.Yu., Aleksandrova T.N.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg,
e-mail: s225074@stud.spmi.ru, s191198@stud.spmi.ru, Aleksandrova_TN@pers.spmi.ru

The existing methods of mineral raw materials beneficiation, taking into account the deterioration of the quality of the source material entering the beneficiation plant, need to be intensified. The process of flotation enrichment is based on different wettability of mineral phases, which leads to the need to ensure selective extraction of useful components and improve the quality of the resulting products need to understand the action of reagents on the surface properties. The paper deals with the selective action of reagents-depressors with the analysis of changes in free surface energy and its components for selective suppression of waste rock minerals. Analysis of the results of the study showed that sodium pyrophosphate had a more selective effect on quartz and calcite minerals than on the surface properties of coal, with an increase in free surface energy of 37.78 mN/m and 13.19 mN/m, respectively. The study of the effect of depressors on the surface properties of mineral phases allows us to substantiate the possibility of improving the quality of concentrate by directed suppression of waste rock. In flotation experiments, a concentrate with an ash content of 6.32% was obtained using a combination of sodium pyrophosphate and liquid glass depressors; the sulfur content was 0.279%.

Keywords: contact angle, surface free energy, depressors, wettability, flotation

Повсеместное снижение минеральных ресурсов в земной коре [1] и их рациональное использование ведет к необходимости разработки и вовлечения в переработку новых месторождений, введение новых операций и совершенствование методов обогащения минерального сырья, что также отражается в разработке новых подходов в области управления минеральными ресурсами со стороны государства [2]. Уголь, как твердое горючее полезное ископаемое, имеет важное значение в мировой промышленности. Его доля в производстве пер-

вичных энергоресурсов в мире и внутреннего потребления энергоресурсов в мире в 2022 году составили 31,51% и 26,73% [3]. Ряд стран стремится сократить его производство и потребление, ввиду возможного изменения глобальной температуры от выбросов углерода при потреблении энергоресурсов [4, 5] и загрязнении почв в районах добычи угольной продукции [6], однако мировой спрос на данную продукцию растет за счет развивающихся стран. Также, добыча и переработка угольной продукции трудоемким и опасным процессом.

В настоящее время ведутся исследования по совершенствованию технологических решений выработки угольных пластов [7, 8], что влияет на дальнейшую переработку данного вида сырья, что предопределяет необходимость развития новых технологических решений.

К современным способам повышения технологических параметров процессов обогащения относятся:

- применение физико-энергетического воздействия, в том числе:

- а) применение температурных воздействий [9, 10, 11];

- б) применение наносекундных импульсов [12, 13].

- химическое направленное воздействие, посредством регулирования процесса за счет добавления селективно действующих реагентов:

- а) собирателей как реагентов, увеличивающих гидрофобные свойства минералов и уменьшающих смачиваемость минералов водой [14-16];

- б) депрессоров, увеличивающих гидрофильные свойства и смачиваемость материала [17-19]. Существует широкий спектр применяемых реагентов для депрессии минералов пустой породы: органические депрессоры, жидкое стекло, пирофосфат натрия.

- применение комбинированных процессов:

- а) объединение флотационного процесса обогащения и гравитационного [20-22];

- б) применение флотационного процесса с выделением дополнительного магнитного продукта или очистка, при необходимости, концентратов от примесей, содержащих магнитный материал;

- с) объединение методов обогащения с химическими методами переработки [23].

Ввиду того, что большинство процессов переработки угольной продукции являются мокрыми, оценка смачиваемости и изменение свободной поверхностной энергии (СПЭ) при применении реагентов имеет большое значение для прогнозирования процесса и оценки результата их воздействия на поверхность. Свободная поверхностная энергия вычисляется исходя из измерений краевого угла смачивания и позволяет количественно оценить воздействие реагента на минеральную поверхность. На получаемые значения краевого угла могут оказывать влияние разные характеристики материала: размер и форма частиц, а также их морфология [24-26]. В работах [27, 28] выявлено влияние направления кри-

сталла и порядка плотности разорванных связей на краевой угол и гидрофильные свойства кальцита.

Если при разрушении кристалла рвутся сильные полярные связи (ионная, ковалентная, металлическая и другие формы атомных связей), то энергия взаимодействия поверхности с полярными молекулами воды будет велика (и значение – мало) и они будут притягиваться к поверхности твердого тела, хорошо смачивать ее и поверхность станет гидрофильной. Если же при разрушении кристалла разрываются слабые связи (молекулярные, водородные), то образующаяся неполярная поверхность будет слабее притягивать дипольные молекулы воды и сильнее взаимодействовать с воздухом, т.е. поверхность станет гидрофобной. Сила взаимодействия поверхностей минералов с молекулами или ионами окружающей среды будет зависеть не только от характера, но и от числа разрушаемых при измельчении минералов связей, а также от положения атомов или ионов на поверхности минерала.

Модификация поверхностных свойств минералов с помощью применения различных реагентов позволяет улучшать селективность разделения полезного компонента от минералов пустой породы. На селективность разделения имеет сильное влияние разрушение минералов [29], так как лучшее раскрытие сростков приводит к получению более чистых продуктов обогащения с увеличением показателей обогащения. Добиться селективного разделения минералов при флотации поможет помочь применение контроля электрохимических процессов [30], которые помогают оптимизировать подачу реагентов во флотационный процесс. Анализ поведения реагентов дает возможность улучшать технологические параметры обогащения [31], уменьшая извлечение минералов пустой породы и зольность в концентрате.

Таким образом, целью исследования является обоснование возможности направленного регулирования поверхностных свойств угля и минералов пустой породы для эффективной флотации углей.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран уголь марки Д, Кузнецкого угольного бассейна. Для проведения дифрактометрического анализа проба была предварительно истерта до класса крупности -20 мкм, после чего проводился анализ

пробы массой 700 мг, спрессованной в виде таблетки, на дифрактометре фирмы «Shimadzu». Оценка зольности и влажности производилась с помощью муфельной печи фирмы «Тула-Терм» по ГОСТ Р 55661-2013. По результатам дифрактометрического анализа основными порообразующими минералами, составляющими зольную часть, являются кварц и кальцит. Зольность и влажность данного угля составляет 25,2% и 12,5%, соответственно.

Для оценки смачиваемости материала и анализа воздействия реагентов на поверхность было использовано измерение свободной поверхностной энергии с помощью метода ОВРК (Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле) с применением замера краевого угла смачивания двух жидкостей, диодометана и дистиллированной воды, с определением полярной и дисперсионной составляющих энергии поверхности [32, 33]. Численные значения дисперсионной и полярной составляющих получают в результате построения графика или при решении системы двух уравнений [34, 35]. Исследования проводились с применением реагентов-депрессоров: пирофосфата натрия, карбоксиметил целлюлозы (КМЦ), жидкого стекла, органического депрессора группы полисахаридов и карбоксиметил крахмала (КМК). Образец материала помещали в приготовленный из 1%-го раствора реагента с расходом 100 г/т. Образец вымачивали в течение 5 минут, после чего убирали излишек влаги с помощью фильтровальной бумаги и про-

водили измерения. Опыты флотационного обогащения угля проводили на флотомашине Laarmann Flotation Bench Test Machine.

Результаты исследования и их обсуждение

Уголь является естественно гидрофобным материалом, ввиду этого, необходимо изучить депрессоры для эффективного подавления минералов пустой породы в процессе флотации. Необходимо понимать влияние данных реагентов на свободную поверхностную энергию порообразующих минералов для подбора наиболее селективно действующего депрессора, предварительно оценив изменение свободной поверхностной энергии на угле при применении реагентов. Для обоснования возможности направленного регулирования поверхностными свойствами были проведены замеры краевого угла смачивания угля и минералов пустой породы с последующим вычислением свободной поверхностной энергии (рис. 1, 2).

Анализ полученных данных, представленных на рисунке 1, свидетельствует о наименьшем влиянии на поверхность угля таких депрессоров, как пирофосфат натрия, КМЦ и жидкое стекло. Органический депрессор группы полисахаридов и КМК значительно увеличили свободную поверхностную энергию на 6,1 мН/м и 13,07 мН/м, как следствие, и смачиваемость. Механизм влияния реагентов-депрессоров на поверхностные свойства минералов изучен недостаточно полно.

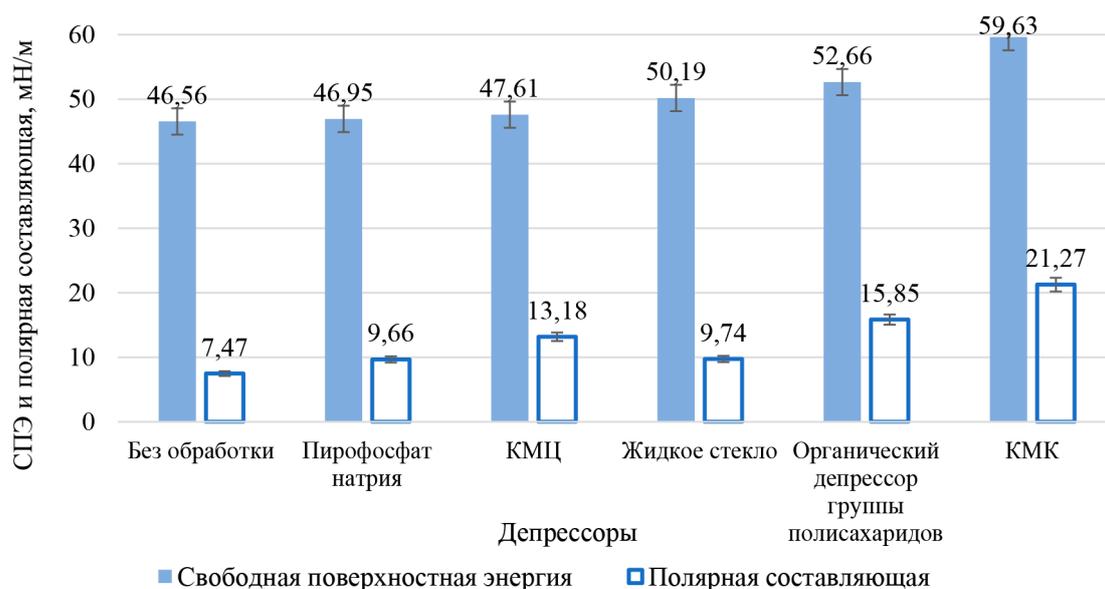


Рис. 1. Результаты исследования применения реагентов-депрессоров на поверхностные свойства угля

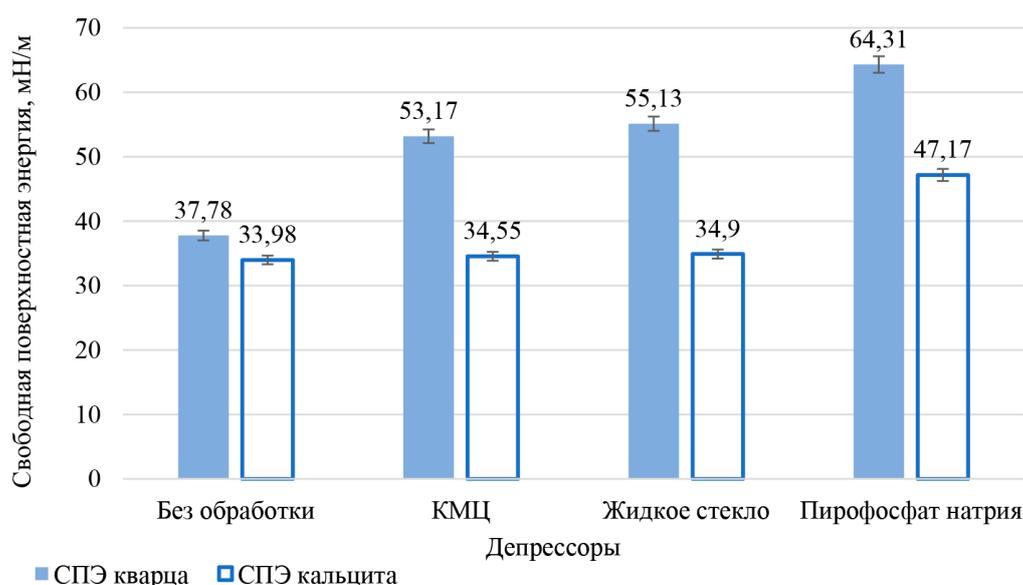


Рис. 2. Результаты исследования применения реагентов-депрессоров на поверхностные свойства минералов пустой породы

Результаты исследования применения реагентов-депрессоров при флотации (A^d – зольность угля, %)

Реагент	Содержание в концентрате, %				Извлечение в концентрат, %			
	A ^d	S	SiO ₂	CaO	A ^d	S	SiO ₂	CaO
Жидкое стекло	7,31	0,302	5,10	0,43	9,54	18,07	8,98	5,02
Пирофосфат натрия	7,08	0,299	4,89	0,38	9,12	17,66	8,50	4,38
Жидкое стекло + пирофосфат натрия	6,32	0,279	4,36	0,31	8,06	16,31	7,50	3,54

В настоящее время ведутся исследования по обоснованию поведения данных реагентов на поверхности минералов. Известно, что жидкое стекло может иметь одновременно три механизма действия: вытеснение ионов собирателя, закрепление силикатных ионов и налипание гидрофильных коллоидных частиц на поверхности. В качестве депрессоров при селективной флотации используется широкий спектр органических макромолекул (полимерных соединений), имеющих самую разную структуру и функциональность. Механизмы действия различаются для разных классов минералов и в зависимости от молекулярной структуры полимера. В результате воздействия, если данный реагент может влиять на поверхность, повышается смачиваемость минералов с повышением свободной поверхностной энергии за счет повышения обеих составляющих. Стоит отметить, что для угля получено увеличение свободной

поверхностной энергии при одновременном увеличении полярной составляющей, т.е. увеличение количества нескомпенсированных связей, что позволяет установить повышение гидрофильных свойств минерала. Однако некоторые депрессоры влияют незначительно, что позволило выбрать депрессоры для исследований поверхностных свойств минералов пустой породы: пирофосфат натрия, КМЦ и жидкое стекло.

Анализ полученных результатов, представленных на рисунке 2, показал, что наиболее селективным депрессором по отношению к кварцу и кальциту является пирофосфат натрия, который увеличит свободную поверхностную энергию на 26,53 мН/м и 13,19 мН/м, соответственно. Жидкое стекло и КМЦ оказали сильное воздействие на поверхностные свойства кварца, имеющих самое высокое содержание из присутствующих минералов в данном сырье по результатам дифрактометрического анализа.

Стоит отметить, что жидкое стекло является эффективным депрессором минералов пустой работы, что согласуется с результатами, представленными в работе [36, 11]. Силикат натрия (жидкое стекло) является наиболее распространенным депрессором во флотационных схемах, однако к нему добавляются другие депрессоры для улучшения эффекта и селективности действия. Ввиду этого, исследования флотационного обогащения проводились с применением комбинации депрессоров из жидкого стекла и пирофосфата натрия (таблица).

Интерпретация результатов, представленных в таблице, свидетельствует об улучшении качества получаемого угольного концентрата за счет снижения зольности и уменьшения извлечения минералов пустой породы в концентрат. Стоит отметить, что применение пирофосфата натрия помогает также снизить содержание и извлечение серы в получаемом концентрате.

Заключение

Для улучшения технологических показателей обогащения и качества получаемой продукции прибегают к различным подходам: применение физико-энергетических воздействий, применение комбинированных процессов и использование химических реагентов для направленного регулирования поверхностными свойствами. Существует широкий спектр депрессоров для подавления различных минералов. Однако существует незначительное количество способов оценки влияния поверхностных свойств, позволяющих понять действие различных реагентов к конкретному минералу. Для исследования поверхностных свойств были выбраны депрессоры пустой породы: пирофосфат натрия, КМК, КМЦ, органический депрессор группы полисахаридов и жидкое стекло.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать выбор депрессоров для эффективного подавления минералов пустой породы при флотации угля. Отмечается возможность селективного воздействия депрессоров пирофосфата натрия и жидкого стекла с увеличением свободной поверхностной энергии на 26,53 мН/м и 17,35 мН/м для кварца и на 13,19 мН/м и 0,92 мН/м для кальцита. Анализ результатов флотационного исследования комбинации данных депрессоров показал возможность эффективного их применения при переработке угля для получения концентратов высокого качества.

Список литературы

1. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. Mineral resource depletion assessment: Alternatives, problems, results // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 2. Article 862. DOI: 10.3390/su13020862.
2. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // *Записки горного института*. 2023. Т. 259. С. 95-111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.
3. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики // *Уголь*. 2024. № 3. С. 44-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-44-51.
4. Новоселов С.В., Ремезов А.В. Мировая динамика выбросов углерода от энергетики за период 2012-2022 гг., тенденции изменения глобальной температуры и потенциальная возможность достижения углеродной нейтральности странами-лидерами по Парижскому соглашению по климату к 2050 году // *Уголь*. 2024. № 3. С. 97-103. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-97-103.
5. Непша Ф.С., Варнавский К.А., Воронин В.А., Заславский И.С., Ливен А.С. Перспективы применения генерации на возобновляемых источниках энергии на угледобывающих предприятиях // *Записки Горного института*. 2023. Т. 261. С. 455-469.
6. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Блинов С.М., Перевощикова А.А. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи // *Записки Горного института*. 2023. Т. 260. С. 266-278. DOI: 10.31897/PMI.2023.31.
7. Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н., Алексеев В.Ю., Сидоренко С.А. Совершенствование технологических схем отработки склонных к самовозгоранию пластов угля, опасных по горным ударам // *Записки Горного института*. 2023. Т. 264. С. 949-961.
8. Казанин О.И., Сидоренко А.А., Евсюкова А.А., Лю Цзылу. Обоснование технологий поддержания выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов на больших глубинах // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 9-1. С. 5-21. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_5.
9. Афанасова А.В., Абурова В.А. Укрупнение низкоразмерных благородных металлов из углеродистых материалов с применением микроволновой обработки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 20-35. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_20.
10. Cao S., Yin W., Yang B., Zhu Zh., Sun H., Sheng Q., Chen K. Insights into the influence of temperature on the adsorption behavior of sodium oleate and its response to flotation of quartz // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2022. Т. 32, № 2. С. 399-409. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.12.006.
11. Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 12. С. 123-138. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_123.
12. Чантурия В. А., Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Чантурия Е.Л., Копорулина Е.В., Хабарова И.А., Анашкина Н.Е. Влияние наносекундных импульсов высокого напряжения на физико-химические и технологические свойства минералов редких металлов // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2018. Т. 82, № 7. С. 872-877. DOI: 10.1134/S036767651807013X.
13. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Чантурия Е.Л., Копорулина Е.В., Анашкина Н.Е. О механизме изменения структурного состояния поверхности и физико-химических свойств колумбита и эвдиалита при воздействии низкотемпературной плазмы // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2020. Т. 84, № 9. С. 1341-1345. DOI: 10.31857/S0367676520090100.

14. Liu Z., Liao Yi., Wang Y., An M., Lai Q. Enhancing low-rank coal flotation using a mixture of dodecane and n-valeric acid as a collector // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2019. DOI: 10.1080/19392699.2019.1579202.
15. An M., Liao Y., Cao Y., Hao X., Ma L. Improving low rank coal flotation using a mixture of oleic acid and dodecane as collector: A new perspective on synergetic effect // *Processes*. 2021. Т. 9, № 3. DOI: 10.3390/pr9030404.
16. Li H., He T., Wan H., exin Han Yu., Guo Yu., Jin J. Insights into selection of the auxiliary collector and its applicability analysis for improving molybdenite flotation // *Minerals*. 2021. Т. 11, № 5. DOI: 10.3390/min11050528.
17. Chen Y., Feng B., Yan H., Zhang L., Zhong Ch., Wang T., Wang H., Xu L. Adsorption and depression mechanism of an eco-friendly depressant dextrin onto fluorite and calcite for the efficiency flotation separation // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. Т. 635. С. 127987. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.127987.
18. Whitworth A.J., Forbes E., Verster I., Jokovic V., Awathey B., Parbhakar-Fox A. Review on advances in mineral processing technologies suitable for critical metal recovery from mining and processing wastes // *Cleaner Engineering and Technology*. 2022. Т. 7. С. 100451. DOI: 10.1016/j.clet.2022.100451.
19. Mehdi A., Irannajad M. Surface modification of ilmenite and its accompanied gangue minerals by thermal pretreatment: Application in flotation process // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2021. Т. 31, № 9. DOI: 10.1016/S1003-6326(21)65697-2.
20. Дьяков В.Е. Центробежный аппарат для флотогравитации // Патент № 2501609 (РФ). Заявл. 28.08.2012. № 2012136771/03. Опубл. 20.12.2013. Бюлл. № 35.
21. Упорова И. В., Интогарова Т. И. Исследование процесса флотогравитации окисленных железосодержащих хвостов обогащения с обогащением пенного продукта в сужающемся желобе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 11-1. С. 210-218. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_111_0_210.
22. Александрова Т.Н., Кусков В.Б., Прохорова Е.О. Способ обогащения угля // Патент № 2812378 (РФ). Заявл. 27.07.2023. 2023119782. Опубл. 30.01.2024. Бюлл. № 4.
23. Mehdi A., Irannajad M. Surface modification of ilmenite and its accompanied gangue minerals by thermal pretreatment: Application in flotation process // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2021. Т. 31, № 9. С. 2836-2851. DOI: 10.1016/S1003-6326(21)65697-2.
24. Agorhom E.A., Skinner W., Zanin M. Influence of gold mineralogy on its flotation recovery in a porphyry copper-gold ore // *Chemical Engineering Science*. 2013. Т. 99. P. 127-138. DOI: 10.1016/j.ces.2013.05.037.
25. Подолян Е.И., Котова И.К., Шелухина Ю.С., Бороздин А.П. Типы руд золотосеребряных месторождений вулканоплутонических комплексов складчатых поясов и методологические аспекты их выделения // *Обогащение руд*. 2022. № 1. С. 31-40. DOI: 10.17580/or.2022.01.06.
26. Sygusch J., Rudolph M. A contribution to wettability and wetting characterisation of ultrafine particles with varying shape and degree of hydrophobization // *Applied Surface Science*. 2021. Т. 566. С. 150725. DOI: 10.1016/j.apsusc.2021.150725.
27. Emer C., Bournival G., Jameson G.J., Ata S., The use of esterification to create hydrophobic quartz particles for flotation // *International Mineral Processing Congress Santiago, Chile*. 2014.
28. Hunter T.N., Wanless E.J., Jameson G.J. Effect of esterically bonded agents on the monolayer structure and foamability of nano-silica // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009. Т. 334. №. 1-3. С. 181-190. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2008.10.039.
29. Николаева Н.В., Каллаев И.Т. Особенности процесса измельчения медно-молибденовых руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 52-66. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_52.
30. Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6-2. С. 175-188. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_175.
31. Кондратьев С.А., Хамзина Т.А. Повышение качества концентрата во флотационном обогащении низкосортного угля // *Записки Горного института*. 2024. № 265. С. 65-77.
32. Данилов В.Е., Королев Е.В., Айзенштадт А.М., Строкова В.В. Особенности расчета свободной энергии поверхности на основе модели межфазного взаимодействия Оунса-Вендта-Рабея-Кьельбле // *Строительные материалы*. 2019. № 11. С. 66-72. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-776-11-66-72.
33. Deng Y., Xu L., Lu H., Wang H., Shi Yo. Direct measurement of the contact angle of water droplet on quartz in a reservoir rock with atomic force microscopy // *Chemical Engineering Science*. 2018. Т. 177. С. 445-454. DOI: 10.1016/j.ces.2017.12.002.
34. Shi Q., Feng Q., Zhang G., Deng H. A novel method to improve depressants actions on calcite flotation // *Minerals Engineering*. 2014. № 55. P. 186-189. DOI: 10.1016/j.mineng.2013.10.010.
35. Кузнецов В.В., Александрова Т.Н. Разработка методов определения флотируемости минералов для эффективного проектирования технологии флотации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 10-1. С. 145-154. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_101_0_145.
36. Афанасова А.В., Абурова В.А., Прохорова Е.О., Лушина Е.А. Исследование влияния депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6-2. С. 161-174. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_161.

СТАТЬЯ

УДК 528.48:626/627

DOI 10.17513/use.38275

**АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПЛОТИНЕ
РВЕГУРА С ПОМОЩЬЮ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ****Биханга Бьенвену***ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва,
e-mail: bihangab@gmail.com*

В данной статье представлены пьезометрические данные по плотине Рвегура в Республике Бурунди с 1992 по 2018 г. с еженедельными показаниями. В результате анализа данных подчеркиваются различия в показаниях пьезометров на разных сторонах насыпи, которые значительно отличаются для левой и правой сторон. Электроэнергия, вырабатываемая ГЭС Рвегура, важна для национальной экономики и необходима для жизнеобеспечения и развития страны. Республика Бурунди имеет долгую историю обеспечения электроэнергией населения и промышленности. Рельеф Республики Бурунди варьируется от уровня озера Танганьика, самая низкая точка которого находится на высоте около 775 м, до самой высокой горы, горы Хега, высота которой составляет 2670 м. Таким образом, в топографии страны преобладают холмы, горы и равнины, что обеспечивает большой перепад высот, благоприятствующий использованию гидравлической энергии. Регулярный мониторинг системы измерений и контроля показал, что уровень грунтовых вод в левой стене ниже по течению от плотины практически не изменился, в то время как в правой части он поднялся от минимального до максимального своего значения.

Ключевые слова: пьезометрические измерения, давление, мониторинг, гидротехнические сооружения, плотина, деформация, уровня воды

**ANALYSIS OF DEFORMATION PROCESSES ON THE RWEGURA
DAM USING PIEZOMETRIC MEASUREMENTS
IN THE REPUBLIC OF BURUNDI****Bikhanga Bienvenu***State University of Land Use Planning, Moscow, e-mail: bihangab@gmail.com*

This paper presents a comprehensive analysis of piezometric data for the Rwegura dam in the Republic of Burundi from 1992 to 2018, with weekly readings. The data analysis reveals significant differences in piezometer readings on different sides of the embankment. These differences are particularly pronounced on the left and right sides. The electricity generated by the Rwegura hydropower plant is of significant importance to the national economy, and is a fundamental necessity for the livelihood and development of the country. The Republic of Burundi has a long history of providing electricity to its population and industry. The topography of the Republic of Burundi encompasses a vast range of altitudes, from the level of Lake Tanganyika, whose lowest point is at an elevation of approximately 775 meters, to the highest mountain, Mount Heha, which reaches an elevation of 2,670 meters. Consequently, the topography of the country is characterised by a considerable altitude difference, which is conducive to the utilisation of hydraulic energy. Regular monitoring of the measurement and control system has revealed that the groundwater level in the left wall downstream of the dam has remained relatively stable, whereas in the right part it has fluctuated between its minimum and maximum values.

Keywords: piezometric measurements, pressure, monitoring, hydraulic structures, dam, deformation, water level

Техногенный объект – это объект, созданный человеком в процессе производственно-хозяйственной деятельности. Такие объекты могут быть потенциальным источником катастроф, характеризующихся нанесением ущерба социальной, экономической, экологической и природной среде. Поэтому необходимо учитывать все эти разнообразные факторы, чтобы прогнозировать тенденции деформации объекта или его отдельных элементов и принимать меры по обеспечению его функционирования в соответствии с техническими условиями. В современную эпоху, когда существует постоянный риск возникновения чрезвычайных ситуаций, обеспечение безопасно-

сти техногенных промышленных объектов в связи со значительными негативными социально-экономическими и экологическими последствиями имеет первостепенное значение для государства. Плотины находятся под длительным воздействием сложных природных геологических условий и различных внешних сил, поэтому условия эксплуатации плотин постоянно меняются. Крупное сооружение плотины водохранилища часто требует долгосрочного мониторинга устойчивости, а также постоянного контроля безопасности [1].

В настоящее время необходимо исследовать устойчивость гидроэлектростанции Рвегура в связи с колебаниями климатиче-

ских условий. В Восточной Африке наводнения – обычное явление в сезон дождей, что может привести к повышению уровня воды в водохранилище или уровня грунтовых вод. Увеличение выработки электроэнергии в этот период представляет значительный риск для структурной целостности объекта и всего человеческого сообщества. Речная долина подвержена оползням, особенно в нижнем течении, где у подножия оползня происходит речная эрозия. Кроме того, сезонное насыщение почвы влагой способствует ускорению оползней. Ускорение этих процессов (из-за повышения уровня грунтовых вод, возможно, вследствие сейсмических толчков и трещин в грунте, обеспечивающих быструю инфильтрацию поверхностных вод) неизбежно приведет к усилению движения почвы и образованию оползней в районе плотины, за которой может образоваться большое озеро. Следовательно, анализ деформационных процессов на плотине очень важен по нескольким причинам, например, для мониторинга безопасности, поскольку он помогает следить за целостностью конструкции и безопасностью плотины. Кроме того, анализ деформаций дает представление о поведении плотины при различных нагрузках и условиях окружающей среды и помогает лучше понять, как плотина реагирует на такие факторы, как водная нагрузка, гидравлические градиенты, эрозия и насыщение [2–4].

Методология мониторинга плотины должна быть определена в ходе разработки проекта. В ходе строительства устанавливаются многочисленные приборы для мониторинга деформаций. Однако мониторинг и наблюдение за плотинной должны продолжаться и после завершения строительства. Некоторые устройства необходимо будет демонтировать и заменить новыми [5]. Для контроля параметров во времени используются наблюдения за пьезометрами, притоком фильтрационных вод и датчиками, измеряющими изменения порового давления и давления на почву.

Материалы и методы исследования

Объект исследования. Плотина Рвегура была построена в долине р. Гитенге и Мвочора, расположена между тремя провинциями: Каянза (община Мурута), Бубанза (община Мусигати) и Чибитоке (община Букинаньяна). Место было выбрано благодаря большой площади водосбора, большому количеству осадков и устойчивости к сдвигам грунта, благодаря наличию скальных пород

в этом районе. Размеры плотины следующие: длина 220 м, высота 47 м, ширина 6 м. Расход воды составляет 8 м³/с, а общая площадь поверхности – 2,6 км². Максимальный уровень водохранилища в период исключительных паводков составляет 2153,50 м, а минимальный уровень водохранилища ниже по течению – 2140,50 м [6].

Процесс выбора периода измерений включает снятие показаний с 27 пьезометрических точек, расположенных по обеим сторонам плотины Рвегура, за 26 лет, с 1992 по 2018 г. Показания снимаются с верхней стороны плотины, которая обращена к водоему, а измерения проводятся с нижней стороны, с которой вода стекает обратно в реку Китенге.

В году есть два сезона дождей и два сухих сезона. Первый короткий сезон дождей длится с сентября по октябрь, а длинный сезон дождей – с февраля по середину мая. На изменение пьезометрических данных во времени влияет режим осадков. Режим осадков уменьшается с середины мая до начала октября, формируя сухой сезон.

Кроме того, распределение осадков по территории страны неравномерно: в южных и северных регионах оно отличается. Годовое количество осадков составляет от 1200 до 1700 мм. В центральном регионе страны среднегодовая температура составляет около 20°C. На самых высоких горных вершинах средняя температура составляет около 16°C. Среднемесячная температура на равнинах колеблется от 16 до 22°C. Климат в районе оз. Танганьика и р. Рузизи классифицируется как теплый экваториальный, в то время как в других регионах страны климат континентальный и мягкий.

Объем внутренних подземных вод остается относительно стабильным и составляет около 7 млрд м³ в год. В стране наблюдается долгосрочное среднегодовое пополнение подземных вод за счет осадков. Возобновляемые ресурсы подземных вод в стране рассчитываются двумя способами. В засушливых странах оценивается годовая скорость инфильтрации. Во влажных странах рассчитывается донный речной сток.

Геологическое строение правого и левого участков плотины Рвегура заметно отличается. Геологическая карта Бурунди указывает на наличие гранитной породы с разломами по обеим сторонам водохранилища – геологическая особенность, характерная для Бурундийской супергруппы (эквивалент хребта Кибари). Разломы мог-

ли способствовать утечке воды из плотины. Учитывая тектоническую нестабильность региона, также возможно, что трещины и разломы в гранитной породе могли негативно повлиять на срок службы плотины. Гидрогеологическое и геотехническое исследование позволило бы точно определить источник разлива и подтвердить его точное местоположение на правом берегу. На этом берегу породы представлены формацией Нгози (Ng) и формацией Мигого (Mo).

Формация Нгози представляет собой преимущественно перлитовый массив с вкраплениями метавулканических пород (базальт с миндалевидной текстурой) и связанных с ним вулканогенно-осадочных пород в основании. Вблизи гранитного интрузива филлиты более кристаллические или слюдястые. Формация Мигого состоит из перлитовых пород с некоторыми вкраплениями песчаных пород. Сложена она преимущественно сероватыми сланцами, которые обычно хорошо просели и выветрились, образовав серо-красную полосу филлитов и черно-серых, серовато-голубых, беловато-серых, красноватых, иногда зональных пластов с мелкими вкраплениями серых, коричневых, красноватых мелких кварцитов. В этих перлитовых породах часто встречаются андалузит, хлоритоид, биотит, ставрогид.

Во время строительства плотины Рвегура была собрана геологическая информация и пьезометрические данные. Было замечено, что геологическая структура различается по разные стороны плотины, что приводит к различным эффектам давления и потенциальным деформационным процессам. Кроме того, между двумя участками наблюдались различия в пьезометрических данных, а пополнение подземных вод происходило в зависимости от сезона. Учитывая вышеупомянутый контекст, воздействие сезона дождей на тело оползня становится более заметным по мере увеличения просачивающихся вод.

Регулярный мониторинг системы замера и контроля показал, что уровень грунтовых вод в левой стенке ниже по течению от плотины оставался стабильным, в то время как в правой части он увеличивался от явного к резкому [6, 7].

Правый край ослаблен глубокими геологическими изменениями, а также подвержен боковой и подземной инфильтрации. Важно обратить особое внимание на уровень грунтовых вод и количество воды, проникшей в эту часть.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам наблюдений отмечается различие пьезометрических данных для левых и правых участков. Независимо от типа плотины, фундаменты и опоры подвергаются давлению, вызванному потоком воды. Эти давления могут быть определены на месте с помощью пьезометров [8]. Пьезометрические данные имеют решающее значение для изучения деформационных явлений на плотине по нескольким причинам. Они необходимы для понимания гидрогеологических факторов, которые могут способствовать деформации на электростанции и для разработки соответствующих стратегий мониторинга и управления [9, 10].

Результаты показывают, что существуют различия в показаниях пьезометров в разных местах плотины (рис. 1 и 2).

Было также проведено сравнение уровней воды на разных участках плотины Рвегура. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сравнение уровней воды, наблюдаемых на правой стороне плотины

1-й (в мбар.)	4-й (в мбар.)	7-й (в мбар.)
40	20	50
30	30	30
30	60	60
50	40	50

Таблица 2

Сравнение уровней воды, наблюдаемых на левой стороне плотины

1-й (в мбар.)	4-й (в мбар.)	7-й (в мбар.)
30	30	50
50	40	30
50	30	40
50	50	40

Рис. 1 и 2 показывают, что все измерения пропорциональны на всех участках, расположенных ближе к берегу. Конструктивные особенности плотины не влияют на результаты измерений. Графики зависят исключительно от уровня воды. Однако характеристики реакции плотины на уровень воды, приведенные в табл. 1 и 2 третьей колонки (7-й), вызывают сомнения. С одной стороны (рис. 2), автор наблюдает увеличение, но оно не является значительным.

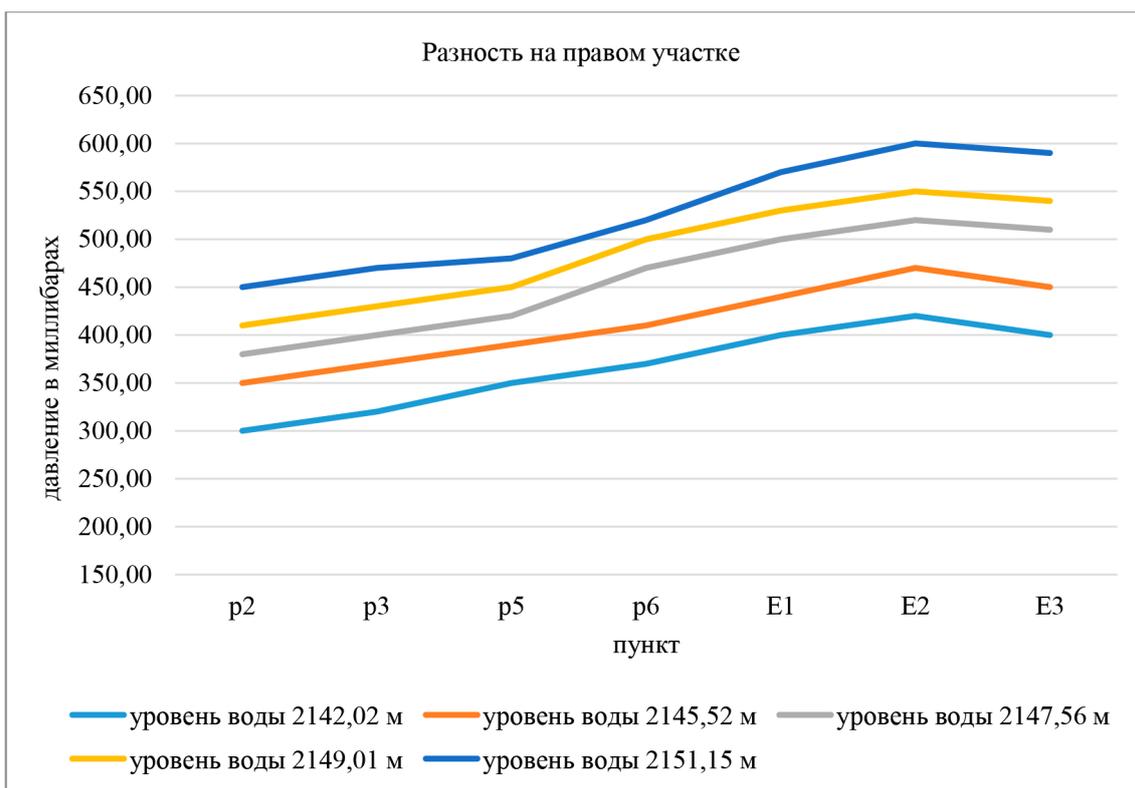


Рис. 1. Сравнение измерения насыти и правого берега к центру для пяти уровней воды

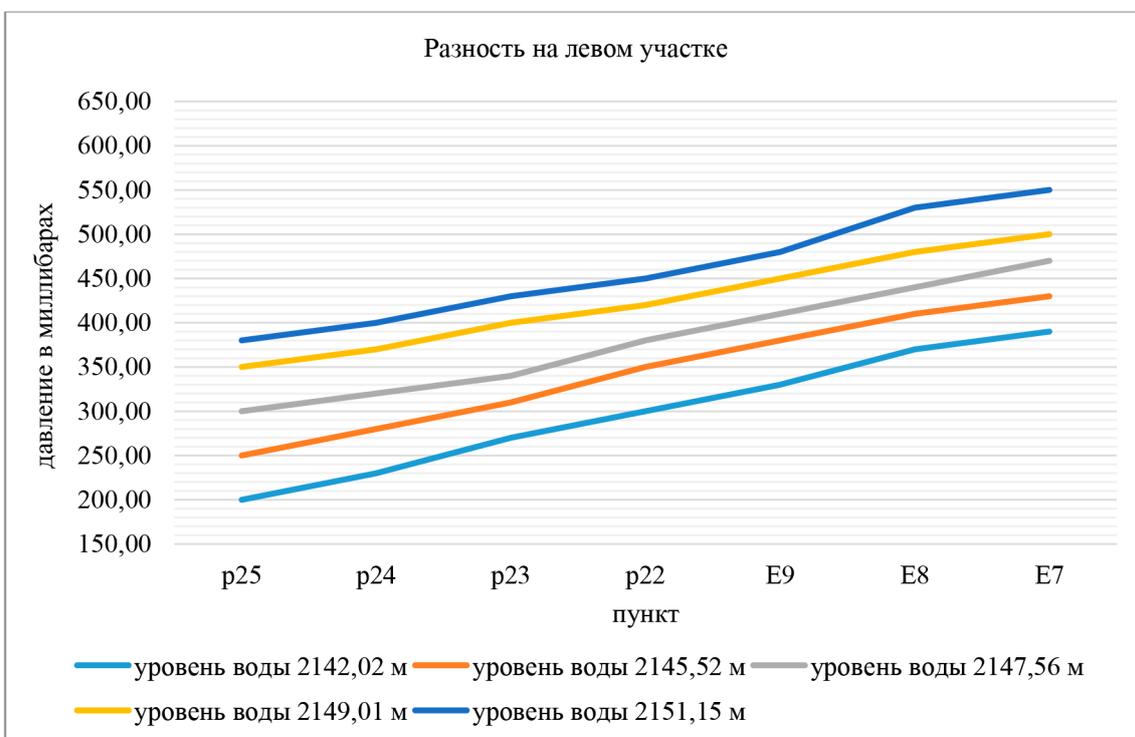


Рис. 2. Сравнение измерения насыти и левого берега от берега к центру для пяти уровней воды

Пьезометрические показатели реагируют на насыпи и изменения в плотинах по-разному. Разница между насыпями и результатами измерений изменяется с разных сторон (справа и слева) в зависимости от уровня воды. Это происходит ежегодно, и если в плотину не вносятся изменения, то разница должна оставаться постоянной. Разница в показаниях объясняется установкой стабильных плотин. Разница между правой и левой сторонами отчетлива, и результаты неодинаковы. Если нет необходимости изменять плотину, то эта разница должна быть постоянной.

При максимальном уровне воды у левого края плотины разница увеличивается на 30–50 мбар в точках E9, E8 и E7 (3 точки), как показано на рис. 2.

На правом краю рис.1 разница более стабильна у берега и увеличивается с 20 до 50 мбар в точках р6, E1, E2 и E3 (4 точки). Можно сделать вывод, что перепад увеличивается больше на правом краю, чем на левом. Таким образом, автор видит, что плотина реагирует по-разному.

Заключение

В статье приводится анализ деформации плотины Рвегура на основе геологических и пьезометрических данных. Геология на правой стороне имеет уникальную характеристику, в то время как изменения на левой стороне однородны. Неясно, вызваны ли они деформациями плотины или являются ошибкой измерений. Существует разница в пьезометрических показаниях на обеих сторонах, причем на левой стороне наблюдается нелинейное увеличение. Разница между насыпью и краем должна увеличиваться линейно, но в центре она гораздо больше. Разница между пьезометрическими показаниями варьируется на пяти уровнях. На больших уровнях разница больше, а в разных точках дамбы она увеличивается с удалением от берега.

На основании анализа пьезометрических данных, полученных на плотине, можно

сделать следующие выводы: во-первых, разница между давлением в насыпи и по краям составляет в среднем 30 мбар, что можно считать приемлемым как для правого, так и для левого берегов плотины; во-вторых, измерения на правом и левом берегах показали асимметричную разницу в 60 мбар, что составляет 5% от нагрузки на плотину.

На основе анализа различных уровней воды было установлено, что существует разница и нелинейная зависимость от уровня воды.

Список литературы

1. Wang P., Xing C., Pan X. Reservoir Dam Surface Deformation Monitoring by Differential GB-InSAR Based on Image Subsets // *Sensors (Basel)*. 2020. № 20 (2). P. 396. DOI: 10.3390/s20020396.
2. Безродный К.П., Лебедев М.О. О нагрузках от горного давления на обделки тоннелей закрытого способа работ // *Записки Горного института*. 2017. Т. 228. С. 649–653. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.649.
3. Аль Фатин Х.Д., Мустафин М.Г., Исмаэль Х.С. Геодезический мониторинг деформаций водоподпорных гидротехнических сооружений с учетом оценки уровня воды водохранилища // *Естественные и технические науки*. 2019. № 4 (130). С. 122–125.
4. Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Геофизические исследования на земляной плотине Иркутской ГЭС с целью изучения ее фильтрационной устойчивости // *Вестник ИрГТУ. Науки о Земле*. 2014. № 11 (94). С. 64–70.
5. СТО 4.2-5-2015. Мелиоративные системы и сооружения. Эксплуатация. Оценка технического состояния гидротехнических сооружений. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 5 с.
6. Centrale hydroélectrique de Rwegura, rapport de remplissage de la retenue et d'auscultation du barrage. Regideso, Bujumbura, Burundi. Octobre. 1986. P. 31.
7. Мустафин М.Г., Аль Фатин Х.Д., Хатум Х.М. Некоторые особенности мониторинга деформационных процессов на горногидротехнических объектах // *Маркшейдерский вестник*. 2020. № 6 (139). С. 51–60.
8. Деменков П.А., Голдобина Л.А., Трушко О.В. Метод прогноза деформации земной поверхности при устройстве котлованов в условиях плотной городской застройки с применением способа «стена в грунте» // *Записки Горного института*. 2018. Т. 233. С. 480–486. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.480.
9. DRA-91 2012. Maîtrise des Risques Accidentels sur les ouvrages hydrauliques: Opération B.2. Rapport d'étude. Paris. Dunicliff, J. 1993. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley & Sons. P. 29.
10. Zhu Bofang. Thermal stresses and temperature control of mass concrete. The United States of America, 2014. 500 p.