

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,807

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорова А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); Д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,807.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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

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

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 30.06.2023

Дата выхода номера – 31.07.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

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

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 16,75

Тираж – 1000 экз.

Заказ УСЕ 2023/6

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬИ

ИЗУЧЕНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ БЕЗМОРОЗНОГО ПЕРИОДА НА ПРИМЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Автономов А.Н., Гаврилов О.Е., Дмитриев А.В., Карягин Ф.А., Мионов А.А., Максимов С.С.</i>	7
АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ПШЕНИЦЫ <i>Баранов С.Г.</i>	14

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕРРИТОРИАЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН <i>Айманова Е.Е., Закиров И.В.</i>	21
СПЕЦИФИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТУРИЗМЕ ЕГИПТА <i>Гергес Бола Реда Бануб</i>	27
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕБОКСАРСКОГО И КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ЧЕБОКСАРСКОГО УЧАСТКА ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Ильина А.А., Никонорова И.В., Ильин В.Н., Никитина Е.А.</i>	34
ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ <i>Климова Д.Н., Андреева Е.С.</i>	40
СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ВЕРХОВОГО ТОРФА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ КРИОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>Кузнецова И.А.</i>	47
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ «В КРАЙ ОЗЕР И ВОДОПАДОВ» НА ТЕРРИТОРИИ КАТУНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА <i>Легачева Н.М., Прудникова Н.Г., Праздников Н.Н., Дудник А.В., Дудник М.А.</i>	53
ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ СОСТОЯНИЯ РЕК И ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Николаева Н.А., Копырина Л.И.</i>	59
ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ КРАТКОСРОЧНОЙ АРЕНДЫ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ЧИТЫ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ <i>Седищева А.В., Новиков А.Н.</i>	65

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

- ГЕОЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ЧЕРТЫ ДЕВОНСКОГО ВУЛКАНИЗМА РАСТАЙСКОГО ГРАБЕН-РИФТА
(КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)
Гринёв О.М., Адылбаев Р.Р., Семиряков А.С., Морозова Е.Н. 72
- ЛИСТВЕНИТЫ ДАХОВСКОГО ВЫСТУПА И СВЯЗАННЫЕ
С НИМИ РУДНЫЕ АССОЦИАЦИИ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)
Долженко И.В., Попов Ю.В., Шарова Т.В. 82

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

- ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
УСЛОВИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА ХМАО-ЮГРЫ
Жуков А.Н. 87

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

- КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ ЗОЛОТА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
ЦЕОЛИТАМИ
Белова Т.П. 98
- СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЕЖАЛОГО
МЕДИСТОГО КЛИНКЕРА
Орехова Н.Н., Глаголева И.В. 104

Физико-математические науки (1.6.22)
СТАТЬИ

- ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ МОДЕРНИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОМ РАЙОНЕ
Акл Магер Нассер 113
- МАТРИЦА ДЕФОРМАЦИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ УТОЧНЕНИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ
Рада А.О., Непомнищев И.Л., Кузнецов А.Д., Акулов А.О. 122
- ЭКСПЕРИМЕНТ ПО СОЗДАНИЮ ОПОРНОГО ПУНКТА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ
ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ К ПУНКТАМ
МЕЖДУНАРОДНОЙ ОПОРНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ IGRF
Чистякова Е.А., Баранов В.Н. 129

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1 General agriculture and crop production)

ARTICLES

STUDY OF INTERANNUAL VARIABILITY OF THE FROST-FREE PERIOD (ON THE EXAMPLE OF THE CHUVASH REPUBLIC) <i>Avtonomov A.N., Gavrilov O.E., Dimitriev A.V., Karyagin F.A., Mironov A.A., Maksimov S.S.</i>	7
PROBATION OF GEOMETRIC MORPHOMETRICS: LEAF BLADES WHEAT CASE STUDY <i>Baranov S.G.</i>	14

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

NATURAL CONDITIONS AFFECTING THE TERRITORIAL ORGANIZATION OF AGRICULTURE IN THE WESTERN KAZAKHSTAN REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN <i>Aymanova E.E., Zakirov I.V.</i>	21
THE SPECIFICS OF THE USE OF CREATIVE TECHNOLOGIES IN EGYPTIAN TOURISM <i>Gerges Bola Reda Banub</i>	27
HYDROLOGICAL AND ECOLOGICAL PROBLEMS OF CHEBOKSARY AND KUIBYSHEV RESERVOIRS OF CHEBOKSARY SECTION OF THE CHUVASH REPUBLIC <i>Ilina A.A., Nikonorova I.V., Ilin V.N., Nikitina E.A.</i>	34
OPTIMIZATION OF THE MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF LARGE CITIES <i>Klimova D.N., Andreeva E.S.</i>	40
SORPTION PROPERTIES OF PODZOLIC SOIL AND UPLAND PEAT UNDER CYCLIC CRYOGENIC IMPACT <i>Kuznetsova I.A.</i>	47
DESIGNING AN ECOLOGICAL TRAIL “TO THE EDGE OF LAKES AND WATERFALLS” ON THE TERRITORY OF THE KATUN BIOSPHERE RESERVE <i>Legacheva N.M., Prudnikova N.G., Prazdnikova N.N., Dudnik A.V., Dudnik M.A.</i>	53
EVALUATION OF SOME ASPECTS OF THE STATE OF RIVERS AND LANDSCAPES IN WESTERN YAKUTIA UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT <i>Nikolaeva N.A., Kopyrina L.I.</i>	59
ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF THE ASSESSMENT OF SHORT-TERM RENTAL OF RESIDENTIAL REAL ESTATE IN THE CENTRAL DISTRICT OF CHITA, TRANS-BAIKAL TERRITORY <i>Sedischeva A.V., Novikov A.N.</i>	65

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

PETROGRAPHY, PETROLOGY AND VOLCANO-PLUTONIC MAGMATISM OF THE RASTAY GRABEN-RIFT (KUZNETSK ALATAU) <i>Grinev O.M., Adylbaev R.R., Semiryakov A.S., Morozova E.N.</i>	72
---	----

LISTVENITES OF THE DAKHOVSKY LEDGE AND THE RELATED ORE ASSOCIATIONS (GREATER CAUCASUS) <i>Dolzhenko I.V., Popov Yu.V., Sharova T.V.</i>	82
---	----

REVIEW

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL PROCESSES ON THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE OIL AND GAS COMPLEX OF KHMAO-YUGRA <i>Zhukov A.N.</i>	87
---	----

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

KINETICS OF GOLD ION SORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY ZEOLITES <i>Belova T.P.</i>	98
---	----

IMPROVEMENT OF PROCESSING TECHNOLOGY OLD COPPER CLINKER <i>Orekhova N.N., Glagoleva I.V.</i>	104
---	-----

Physical and mathematical sciences (1.6.22)
ARTICLES

ELEMENTS OF THE METHOD OF MODERNIZATION SATELLITE GEODETIC NETWORK IN A GEOLOGICALLY UNSTABLE AREA <i>Akl Maher Nasser</i>	113
--	-----

DEFORMATION MATRIX AS A TOOL FOR REFINEDING GEODETIC COORDINATES <i>Rada A.O., Nepomnischev I.L., Kuznetsov A.D., Akulov A.O.</i>	122
---	-----

AN EXPERIMENT ON THE CREATION OF A REFERENCE POINT FOR THE GLOBAL ABSOLUTE GRAVITY REFERENCE SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT THE REQUIREMENTS FOR THE POINTS OF THE INTERNATIONAL GRAVITY REFERENCE FRAME IGRF <i>Chistyakova E.A., Baranov V.N.</i>	129
--	-----

СТАТЬИ

УДК 632.111.5:551.583
DOI 10.17513/use.38046

**ИЗУЧЕНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
БЕЗМОРОЗНОГО ПЕРИОДА
НА ПРИМЕРЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

¹Автономов А.Н., ²Гаврилов О.Е., ²Димитриев А.В.,
²Карягин Ф.А., ²Миронов А.А., ³Максимов С.С.

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов, e-mail: 420533@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары, e-mail: karyagin1945@mail.ru;

³Чувашский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Чебоксары

На основе данных многолетних метеорологических наблюдений, проводимых гидрометеорологической службой, анализируются изменения во времени прекращения последних весенних и наступления первых осенних заморозков и продолжительности безморозного периода на территории Чувашской Республики за последние сто лет. Отмечено, что на территории Чувашской республики в течение всего XX в. наблюдалось увеличение продолжительности безморозного периода. Увеличение дней с положительной температурой продолжается по настоящее время, и темпы увеличения продолжительности безморозного периода в условиях глобального потепления климата лишь усиливаются. Обозначены тенденции, причины и особенности межгодовых изменений безморозного периода в разных районах рассматриваемого региона. Подчеркивается, что в борьбе с заморозками большое значение имеют мероприятия, направленные на общее повышение урожайности сельскохозяйственных культур, такие как применение скороспелых и морозоустойчивых сортов, селекция растений на эти качества, своевременное проведение сельскохозяйственных работ, правильный выбор места посева (посадки) с учетом микроклиматических условий, а также такие специальные приемы, как дымление, орошение, открытый обогрев, продувание, укрытие растений. Тенденции изменений изучаемых явлений проанализированы и найдены путем проведения линейного и полиномиального сглаживания. Приведен имеющийся в регионе положительный опыт по защите растений от заморозков. Предложены эффективные меры по защите сельскохозяйственных культур от заморозков в условиях рассматриваемого региона.

Ключевые слова: заморозки, безморозный период, сельскохозяйственные культуры, заморозкоопасность, меры защиты

**STUDY OF INTERANNUAL VARIABILITY OF THE FROST-FREE PERIOD
(ON THE EXAMPLE OF THE CHUVASH REPUBLIC)**

¹Avtonomov A.N., ²Gavrilov O.E., ²Dimitriev A.V.,
²Karyagin F.A., ²Mironov A.A., ³Maksimov S.S.

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: 420533@mail.ru;

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: karyagin1945@mail.ru;

³Chuvash Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring Chuvash Republic, Cheboksary

Based on the data of long-term meteorological observations conducted by the hydrometeorological service, changes in the time of the end of the last spring and the onset of the first autumn frosts and the duration of the frost-free period on the territory of the Chuvash Republic over the past hundred years are analyzed. It is noted that on the territory of the Chuvash Republic during the entire twentieth century there was an increase in the duration of the frost-free period. The increase in days with a positive temperature continues to the present, and the rate of increase in the duration of the frost-free period in the context of global warming is only increasing. The trends, causes and features of interannual changes in the frost-free period in different parts of the region under consideration are indicated. It is emphasized that in the fight against frosts, measures aimed at a general increase in crop yields are of great importance, such as the use of early-ripening and frost-resistant varieties, plant breeding for these qualities, timely agricultural work, the right choice of sowing (planting) site, taking into account microclimatic conditions, as well as such special techniques as smoke, irrigation, open heating, blowing, sheltering plants. Trends in the studied phenomena are analyzed and found by carrying out linear and polynomial smoothing. The positive experience available in the region in protecting plants from frost is given. Effective measures are proposed to protect crops from frost in the conditions of the region under consideration.

Keywords: frosts, frost-free period, agricultural crops, risk of frost, protective measures

Одними из неблагоприятных для сельского хозяйства стихийных гидрометеорологических явлений считаются заморозки. Ежегодные весенние и осенние заморозки в нашей полосе – обычное климатическое

явление для переходных периодов года. Несмотря на это, вред, периодически наносимый сельскохозяйственным культурам поздними весенними и ранними осенними заморозками, бывает очень велик.

Общие закономерности возникновения заморозков, разработанные основателем сельскохозяйственной метеорологии А.И. Воейковым, нашли отражение в работах его соратников и учеников П.И. Броунова, Г.Т. Селянинова и др. [1, 2]. Институтом географии РАН, МСХА им. К.А. Тимирязева, Всероссийским НИИ сельскохозяйственной метеорологии: ГУ «ВНИИГМИ – МЦД» и др. разработаны способы прогнозирования, меры по защите растений от заморозков. Региональные особенности возникновения заморозков достаточно глубоко изучены и разработаны меры защиты от них Казанским федеральным университетом, Алтайским, Башкирским, Дагестанским, Иркутским, Новосибирским, Ставропольским, Ульяновским государственными аграрными университетами и другими научными учреждениями.

Время прекращения заморозков весной, наступления осенью, интенсивность и продолжительность прохождения их по регионам весьма отличаются. Они различны даже на территории Чувашской Республики – на территории одного из самых небольших субъектов федерации. Особенности проявления заморозков на территории отдельных субъектов Российской Федерации являются предметом многих исследований [3–6]. В зависимости от времени наступления и интенсивности проявления заморозки могут частично или существенно повредить сельскохозяйственные культуры, полностью уничтожить или уменьшить их урожай [7, 8]. Изучение продолжительности безморозного периода, учет возможностей наступления заморозка, своевременное предсказание его и планомерное проведение мер борьбы с заморозками позволяет значительно уменьшить, а во многих случаях совсем избежать повреждения растений и снижения урожая от заморозков [9, 10].

Цель исследования – анализ и оценка изменений безморозного периода и повторений поздних весенних и ранних осенних заморозков и на их основе разработка рекомендаций по снижению влияния заморозков на сельскохозяйственные растения.

Материалы и методы исследования

Исходные данные для проведения исследований были заимствованы из материалов государственной статистики, агроклиматического справочника Чувашской Республики, отчета наблюдений Чувашского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала федерального

государственного бюджетного учреждения «Верхне-Волжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Чувашский ЦГМС – филиал ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС») и материалы собственных наблюдений. В исследованиях были использованы: системный подход анализа и синтеза; классификация; аналитическое моделирование; методы: обобщение, интерполяция, наблюдение, сравнение, описание, картографический метод, ГИС, вариационная и математическая статистика (с применением пакетов прикладных программ Statistica, Microsoft Excel, Curve Expert).

Результаты исследования и их обсуждение

Для территории Чувашии характерны все три типа заморозков – адвективные, радиационные и смешанные (адвективно-радиационные) [11]. Адвективные заморозки обусловлены вторжением на территорию республики в теплое время года холодных арктических воздушных масс с температурой ниже 0 °С. Эти заморозки наиболее продолжительны, временами превышают сутки, а в отдельных случаях длятся до нескольких суток. При этом типе заморозков наиболее морозоопасными являются открытые холодным ветрам участки, особенно наветренные склоны возвышенностей [12, с.116; 13].

Радиационные заморозки на территории республики возникают при господстве арктических и умеренных континентальных воздушных масс в тихие ясные ночи при относительно низких средних суточных температурах вследствие интенсивного излучения тепла деятельной поверхностью, охлаждения ее и прилегающего слоя воздуха. Интенсивность и продолжительность радиационных заморозков зависит от рельефа, характера подстилающей поверхности, влажности почвы и воздуха, близости водоемов и других местных условий.

Адвективно-радиационные заморозки здесь возникают вследствие вторжения арктического холодного воздуха и дальнейшего ночного охлаждения деятельной поверхности при ясном небе. При этом процессы адвекции и радиационного охлаждения проявляются в комплексе и дополняют друг друга. Они наиболее опасны для сельского хозяйства республики.

В условиях Чувашии заморозки прекращаются и приходят в разные годы по-разному, т.е. нет такого года, когда весен-

ние заморозки рано завершаются и осенние рано наступают или, наоборот, когда весенние заморозки поздно прекращаются и осенние также поздно наступают.

Весна в Чувашии характеризуется частыми возвратами холодов с ночными заморозками. Обычно весенние заморозки в воздухе прекращаются во второй декаде мая, однако гарантированным от заморозков является период только после 11 июня. В отдельные годы заморозков в воздухе не бывает уже с середины апреля. В другие годы (например, 1933, 1934, 1939, 1963) они наблюдались еще в первой декаде июня. Примером, когда отмечались поздние заморозки, причем очень интенсивные, может быть 1959 г. В том году после длительного теплого периода во время цветения садов наступило резкое похолодание с минимальными температурами воздуха до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воздухе и до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на почве. Похолодание было длительным, сопровождалось выпадением снега и вызвало значительное повреждение посевов и плодовых культур. Заморозки такой интенсивности для Чувашии явление редкое, за время наблюдений они наблюдались лишь дважды – в 1940 и 1959 гг.

Не меньший ущерб наносят и ранние осенние заморозки, возникающие на фоне относительно высоких средних суточных температур, когда еще продолжается вегетация сельскохозяйственных растений. От них страдают в первую очередь овощные культуры открытого грунта. В соответствии с многолетним режимом первые заморозки осенью наблюдаются во второй половине сентября. Однако заморозки на территории республики наблюдались и в августе, и в начале сентября. Так, заморозки рано наступили: в 1927 г. – 10 сентября; 1932 г. – 31 августа; 1939 г. – 28 августа; 1949 г. – 6 сентября; 1956 г. – 8 сентября. На территории Чувашии лишь в июле за все годы наблюдений ни разу не наблюдались заморозки.

В соответствии с многолетним режимом последние заморозки в воздухе весной в среднем наблюдаются: в Алатыре – 8 мая, Порецком – 9 мая, Ибресях – 11 мая, Полевом Сундыре – 18 мая, Вурнарах – 20 мая, Чебоксарах – 23 мая. Осенью первые заморозки в среднем наблюдаются: в Алатыре – 27 сентября, Порецком – 30 сентября, Ибресях – 27 сентября, Полевом Сундыре – 22 сентября, в Вурнарах и Чебоксарах – 18 сентября. На территории Чувашии, несмотря на ее небольшие размеры, продолжительность безморозного периода колеблется в широких пределах (Игнатьев и др.,

2003; Карягин, 2007, 2009). В результате средняя продолжительность безморозного периода в воздухе в Чебоксарах и Канаше составляла 117 дней, Алатыре – 141 день, Вурнарах – 120, Ибресях – 138, Полевом Сундыре – 126 и в Порецком – 143 дня.

В отдельные годы продолжительность безморозного периода значительно превосходит многолетний режим. Так, продолжительность безморозного периода в Порецком в 1905 году составила 191 день, 1922 г. – 177, 1951 г. – 191 день; в Батыреве в 1943 г. – 177 дней, 1954 г. – 174 дня, 1963 г. – 185 дней, 2012 г. – 192 дня, 2014 – 184, 2016 – 186 дней. В Чебоксарах большая продолжительность безморозного периода наблюдалась в 1951 г. – 176 дней, 1954 г. – 175, 1955 г. – 176, 1957 г. – 171, 1980 г. – 171, 1983 – 173, 1985, 2003 г. – 172, 2016 – 180 дней. В Канаше в 1943 г. безморозный период длился 177 дней, 2012 г. – 202 дня, 2016 г. – 187 дней, в Алатыре в 1957 г. – 180 дней, 2012 г. – 202 дня, 2016 г. – 182 дня.

Однако в иные годы безморозный период длился всего около трех месяцев. Такими годами были: в Чебоксарах – 1932 г. – 92 дня, 1934 г. – 98, 1939 г. – 77 дней; в Батыреве – в 1930 г. – 98 дней, 1933 г. – 83, 1934 г. – 96 дней. Коротким был безморозный период в 1930 г. в Канаше (всего 98 дней), Порецком и Алатыре (101 день). На территории Чувашии в течение всего XX в. наблюдалось увеличение продолжительности безморозного периода (таблица, рис. 1–3). Увеличение дней с положительной температурой продолжается по настоящее время, и темпы увеличения продолжительности безморозного периода в условиях глобального потепления климата лишь усиливаются.

Не последнюю роль в увеличении продолжительности безморозного периода на территории Чувашской Республики сыграли противозероционные, водорегулирующие гидротехнические сооружения (ГТС), построенные в основном в 1970–1980-х гг.

В республике насчитывается более 600 ГТС, из них пять водохранилищ объемом воды более 1 млн м³ (Оженарское – Канашский р-н, Большеяниковское – Урмарский р-н, Ходарское – Шумерлинский р-н, Атнарское – Красночетайский р-н и Чесновское – Батыревский р-н). В 2006 г. построены Вурнарское водохранилище объемом воды 12,6 млн м³ и Шемуршинское водохранилище объемом воды 15,9 млн м³ с целью водоснабжения пос. Вурнары Шемуршинского и Батыревского районов.

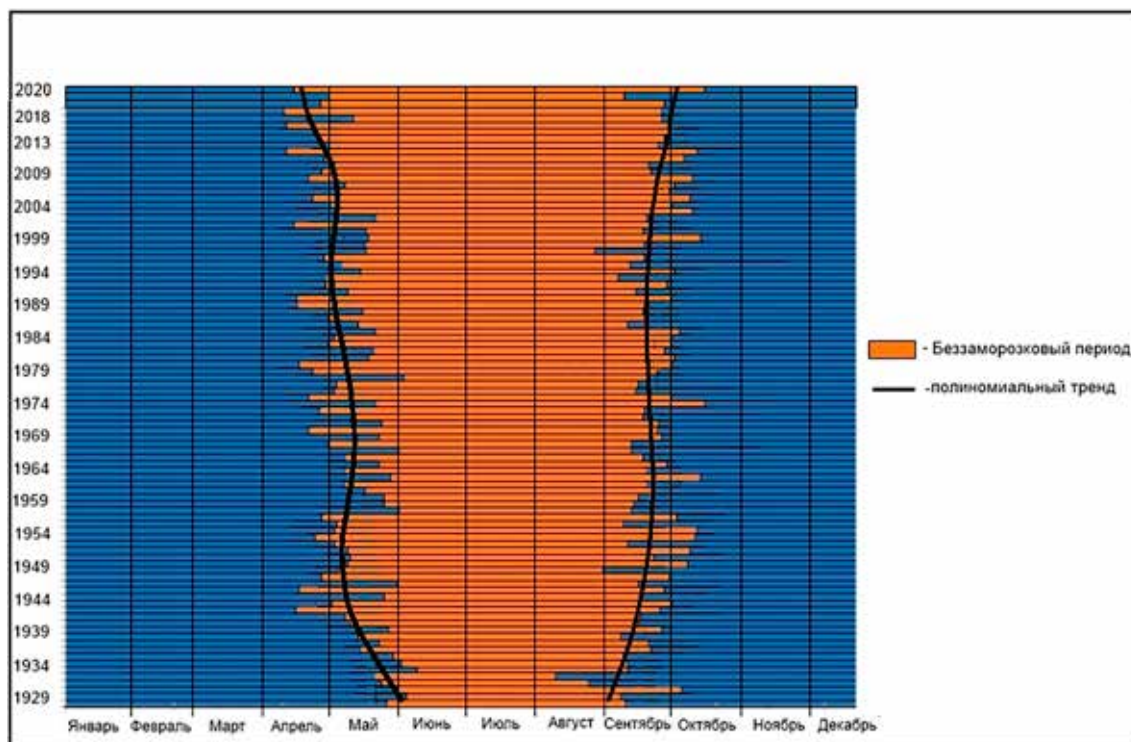


Рис. 1. Межгодовые изменения продолжительности безморозного (безморозкового) периода в Чебоксарах

Средние даты последнего и первого заморозков в воздухе и продолжительность безморозного периода по метеорологическим станциям Чувашского гидрометеоцентра

Метеорологическая станция	В соответствии с многолетним режимом			За 2001–2022 гг.			Увеличение продолжительности безморозного периода
	последние заморозки весной	первые заморозки осенью	продолжительность безморозного периода	последние заморозки весной	первые заморозки осенью	продолжительность безморозного периода	
Чебоксары	23.05	18.09	117	11.05	30.09	141	24
Алатырь	8.05	25.09	141	3.05	28.09	148	7
Батырево	18.05	22.09	126	13.05	22.09	132	6
Вурнары	20.05	18.09	120	15.05	21.09	129	9
Канаш	15.05	16.09	124	13.05	21.09	132	8
Порецкое	9.05	30.09	143	04.05	30.09	149	6

По десятилетиям средняя продолжительность безморозного периода в Чебоксарах имеет следующие значения: 1920 и 1930-е гг. – 117 дней, 1940-е – 112, 1950-е – 119, 1960-е – 111, 1970-е – 119, 1980-е – 137,

1990-е – 139 дней. За два десятилетия XXI в., т.е. за период с 2001 по 2022 г., средняя продолжительность безморозного периода по Чебоксарам составила 141 день. Здесь резкое, почти на месяц, увеличение продол-

жительности безморозного периода произошло с начала 1980-х (рис. 1–3), прежде всего за счет более позднего наступления осенних заморозков. При этом нетрудно разглядеть и причину таких перемен в климате г. Чебоксары и северных районов республики.

На повышение осенних температур в этих районах влияет Чебоксарское водохранилище, образованное строительством одноименного гидроузла, возведенного у г. Новочебоксарска. Перекрытие Волги состоялось в ноябре 1980 г. Возможно, на условия наблюдений на Чебоксарской метеорологической станции за заморозками в некоторой степени повлияло и то, что активно расширяющийся за последние десятилетия город значительно приблизился к метеостанции.

Заморозки – явления, характеризующиеся исключительно высокой микроклиматической изменчивостью. Хорошо известно, что минимальные температуры воздуха весьма чувствительны к особенностям рельефа, характеру подстилающей поверхности, влиянию водоема и др. В этой связи особый интерес представляет то, что за последние четыре десятилетия средняя продолжительность безморозного периода в северных районах республики на 10–15 дней стала больше, чем в южных районах. Графики межгодовой хода продолжительности безморозного периода в г. Чебоксары и с. Батырево, находящегося в 160 км южнее Чебоксар, наглядно иллюстрируют эти изменения (рис. 3).

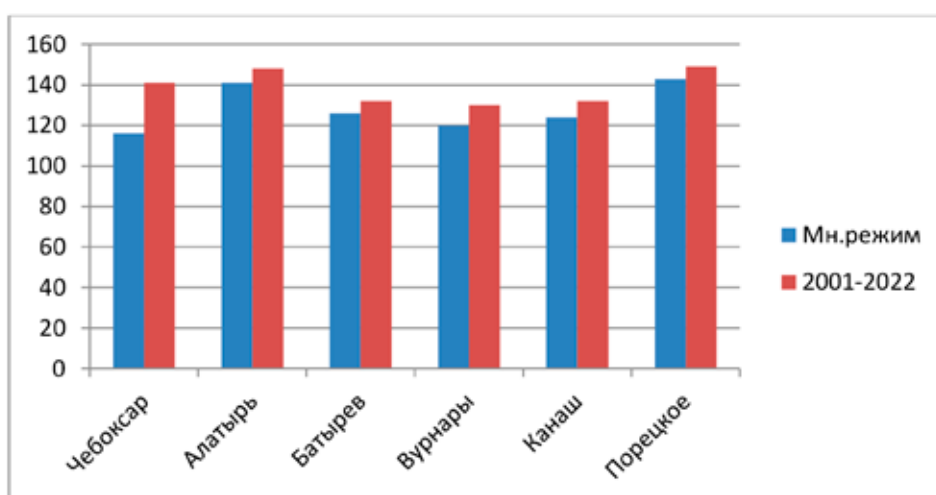


Рис. 2. Продолжительность безморозного периода по данным многолетнего режима и за последние два десятилетия, дней

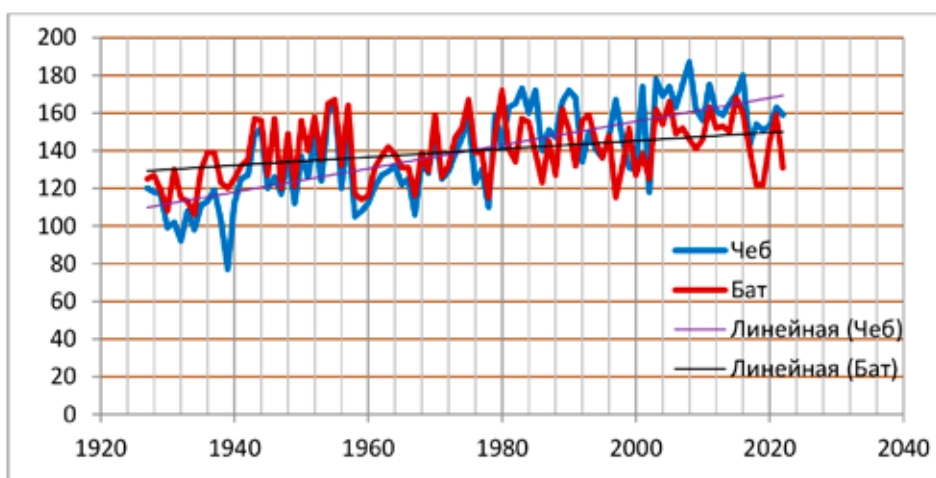


Рис. 3. Межгодовая изменчивость продолжительности безморозного периода в Чебоксарах и в с. Батырево

Естественно, увеличение продолжительности безморозного периода и в целом теплого периода года благоприятно сказывается на народном хозяйстве республики и особенно сельском хозяйстве. В Чувашии за последние десятилетия многие сельскохозяйственные предприятия, фермеры стали активно заниматься производством сахарной свеклы, сои, кукурузы на зерно, садоводы – виноградарством, выращиванием груши, черешни, айвы и других южных плодово-ягодных культур. Определить количественно вклад увеличения продолжительности безморозного периода в повышении урожайности сельскохозяйственных культур трудно, здесь много и других факторов. Тем не менее следует отметить, что увеличение продолжительности теплого периода однозначно способствует своевременному завершению осенних полевых работ в сельском хозяйстве, положительно сказывается на строительстве, особенно дорожном строительстве, способствует экономии энергии в народном хозяйстве, в частности сокращению отопительного сезона.

Увеличение продолжительности безморозного периода не означает, что земледельцы не будут испытывать трудности и иметь ущерб от заморозков. В условиях продолжающегося потепления климата все чаще стали наблюдаться аномальные погодные явления [14, 15]. К тому же у сельхозпроизводителей соблазн раньше посеять, посадить сельскохозяйственные культуры и раньше получить урожай с целью реализации полученной продукции по более высокой цене всегда существует.

Степень опасности заморозка для сельскохозяйственных растений различна и зависит от времени наступления, интенсивности и длительности его, а также от состояния самого растения, фазы его развития, культуры, сорта и агротехники. Плановая, с учетом климатических особенностей региона проводимая работа по борьбе с заморозками, основанная на четком представлении об особенностях их возникновения и распределения по территории хозяйства, позволяет уже сейчас значительно снизить повреждения культур заморозками и сохранить урожай даже в неблагоприятные годы. В борьбе с заморозками большое значение имеют мероприятия, направленные на общее повышение урожайности сельскохозяйственных культур, такие как применение скороспелых и морозостойчивых сортов, селекция растений на эти качества, своевременное проведение сельскохозяйственных

работ, правильный выбор места посева (посадки) с учетом микроклиматических условий, а также такие специальные приемы, как дымление, орошение, открытый обогрев, продувание, укрытие растений и т.п.

Не отрицая все эти мероприятия, в борьбе с заморозками в условиях Чувашской Республики авторы предлагают следующие меры.

1. Необходимо обеспечить сохранность имеющихся прудов и других гидротехнических сооружений, построенных в верховьях малых рек, обеспечить их правильную эксплуатацию, систематически проводить очистку дна, заодно добывать сапропель. Пруды и водохранилища, повышая влажность и передавая полученную днем тепловую энергию в ночное время окружающей среде, оказывают смягчающее влияние на климат прилегающей территории, тем самым снижают вероятность заморозков. К сожалению, многие из них в настоящее время обмелели, заилены, плотины их находятся в плачевном состоянии.

2. Рельеф Чувашской Республики представляет собой слабохолмистую равнину с преобладанием овражно-балочных форм. При радиационном охлаждении холодный воздух, стекая с водоразделов по склонам, скапливается в низинах и способствует возникновению заморозков. Профилактикой предотвращения заморозков может быть создание массивных лесных насаждений по склонам оврагов или русел рек. Чувашия располагает уникальным примером организации таких лесополос [16]. Созданная контурно-мелиоративная система земледелия в колхозе «Ленинская искра» Ядринского района еще в 1970-е гг. по инициативе председателя этого хозяйства А.П. Айдака на площади более 3000 га активно влияет на регулирование температурного режима сельскохозяйственных угодий. Кроме профилактики заморозков созданные лесные полосы выполняют противозерозионную роль и другие природоохранные функции. Отметим, в хозяйстве «Ленинская искра» за последние 40 лет не отмечена гибель сельскохозяйственных культур от заморозков.

3. Необходимо шире опираться на биологизацию сельскохозяйственного производства, больше уделять внимания применению зеленых удобрений. По нашим наблюдениям, температура почвы на участках с заделанными в почву сидератами на 1,7–2,1 °С выше, чем на участках без них. Этого уже достаточно, чтобы избежать легких заморозков. Применение зеленых удобрений

дает положительный результат. При этом происходит улучшение структуры почвы, угнетение сорняков, обогащение почвы азотом, особенно при использовании бобовых растений. Кроме того, в условиях развернувшегося в мире движения за снижение концентрации парниковых газов в атмосфере, применение зеленых удобрений в земледелии приобретает особое значение, так как при использовании сидератов происходит депонирование углекислого газа атмосферы в почве в составе гумуса и других питательных веществ.

Выводы

1. По результатам изучения динамики безморозного периода за длительный период установлено увеличение продолжительности теплого периода года, что благоприятно сказывается на народном хозяйстве республики, особенно на сельском хозяйстве.

2. На длительность безморозного периода существенное влияние оказывают водохранилища, которые, увлажняя воздух, создают определенный экран, препятствующий проникновению холодных воздушных масс.

3. Для снижения негативного воздействия отрицательных температур на сельскохозяйственные растения рекомендованы мероприятия, предусматривающие восстановление и очистку русла и дна от ила противоэрозионных прудов, внедрение контурно-мелиоративного земледелия и применения сидератов на сельскохозяйственных угодьях.

Список литературы

1. Броунов П.И. К вопросу о географических районах Европейской России // Современные вопросы русского сельского хозяйства: (к 50-летию юбилею И.А. Стебута). СПб., 1904. С. 23–45.
2. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 169–178.

3. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 3. С. 82–92.

4. Шарко Е.Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С. 11–24.

5. Гаврилов О.Е., Карягин Ф.А., Миронов А.А., Максимов С.С. О некоторых результатах изучения амплитуды суточного хода температуры воздуха (на примере Чувашской Республики) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19044> (дата обращения: 29.05.2023).

6. Агроклиматический справочник по Чувашской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 128 с.

7. Романенко И.А., Сиптиц С.О. Теоретические основы размещения сельского хозяйства с учетом экономических и природно-климатических факторов // Экономика сельского хозяйства России. 2016. № 3. С. 60–65.

8. Немцев С.Н., Шарипова Р.Б. Агроклиматические ресурсы, их изменение и экологические ограничения вегетационного периода Ульяновской области // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 3. С. 10–14.

9. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Роль весенне-летних засух в динамике аридизации засушливых земель европейской территории России. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. М.: Наука, 2022. Т. 86. № 1. С. 98–108.

10. Кузнецова А.В. Оценка термических ресурсов вегетационного периода северо-востока Республики Башкортостан // Международный журнал «Символ науки». 2016. № 11–4. С. 214–216.

11. Суюнчева М.Р. Динамика и современный режим весенних заморозков в лесостепной зоне Ставропольского края // Молодой ученый. 2020. № 30 (320). С. 80–83. URL: <https://moluch.ru/archive/320/72812> (дата обращения: 20.06.2023).

12. Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 242 с.

13. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. 104 с.

14. Соколов Ю.И. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 3. С. 6–21.

15. Романенко В.А. Изменения климата в России. Причины и последствия // Молодой ученый. 2019. № 7 (245). С. 1–5. URL: <https://moluch.ru/archive/245/56484> (дата обращения: 21.06.2023).

16. Маштаков Д.А., Автономов А.Н. Особенности проектирования и создания массивных лесных насаждений // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4 (40). С. 46–52.

**АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ
НА ПРИМЕРЕ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ПШЕНИЦЫ****Баранов С.Г.***ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com;
Верхневолжский аграрный научный центр, п. Новый, Владимирская обл.*

Исследовано влияние на флуктуирующую асимметрию (ФА) и форму листовой пластины озимой и яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.1753) длины пластины и дозы удобрения. Флаговые листовые пластины собирались с растений, выращенных на серых лесных почвах Суздальского Ополя (Владимирская область, Россия). Использовались две дозы удобрения. Интенсивная доза (1-я) включала нитрофос в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ для яровой и азот $N_{60} + 40$ т навоза/га для озимой пшеницы. Высокоинтенсивная доза (2-я) включала $N_{90}P_{90}K_{90}$ для яровой и $N_{60} + 40$ т навоза/га + $N_{40}P_{40}K_{40}$ для озимой пшеницы. На сканированное изображение листьев наносились метки (50 пар) и проводился морфогометрический (Прокрустов) дисперсионный анализ с построением усредненной конфигурации (центроида) и с последующим определением флуктуирующей асимметрии *F*-критерием Гудолла. Дополнительными показателями служили расстояния Прокрустова пространства между центрами множеств координат XY ковариационной матрицы, полученной при взаимодействии источников вариаций «лист» и «сторона». Длина пластин и величина центроида была меньше у яровой пшеницы. Доза удобрения влияла на форму листовых пластин только у яровой пшеницы ($p < 0,0003$). Направленная асимметрия встречалась как в контроле, так и в эксперименте, но была более характерна для яровой формы. Флуктуирующая асимметрия была высокой в листьях озимой пшеницы, полученной при повышенной дозе ($F = 4,8; p < 0,0001$), а яровая пшеница не показала различия в ФА. Прокрустовы расстояния подтвердили результаты Прокрустова анализа для озимой пшеницы ($p < 0,0001$). Таким образом, повышенная доза удобрения вызывала снижение стабильности развития у озимой пшеницы. Листья яровой пшеницы обладали высокой изменчивостью формы и асимметрии, включая связь между длиной, формой и асимметрией без признаков снижения стабильности развития.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, листовая пластина пшеницы, метод геометрической морфометрии, дозы удобрения

**PROBATION OF GEOMETRIC MORPHOMETRICS:
LEAF BLADES WHEAT CASE STUDY****Baranov S.G.***Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir,
e-mail: bar.serg58@gmail.com;
The Upper Volga Federal Agricultural Research Centre, Novy, Vladimir region*

The influence of lamina length and fertilizer dose on the fluctuating asymmetry (FA) and the shape of the lamina of winter and spring wheat (*Triticum aestivum* L.1753) were studied. Flag leaf blades (laminae) were collected from plants grown on gray forest soils of the Suzdal Opole (Vladimir region, Russia). Two doses of fertilizer were used. Intensive dose (1st) included nitrophos at a dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$ for spring, and nitrogen $N_{60} + 40$ t of manure kg/ha for winter wheat. The highly intensive dose (2nd) included $N_{90}P_{90}K_{90}$ for spring and $N_{60} + 40$ t manure/ha + $N_{40}P_{40}K_{40}$ for winter wheat. Landmarks (50 pairs) were applied to the scanned image of leaves and morphogeometric (Procrustes) analysis of variance was performed with the building of an averaged configuration (centroid) and followed by the testing of fluctuating asymmetry by the Goodall *F*-criterion. The auxiliary indicators were the distances of the Procrustes space between the centers of the XY coordinate sets obtained by the interaction of the "leaf" and "side" sources of variance. The length of the plates and the value of the centroid size were smaller and the dose of fertilizer affected the shape of leaf blades ($p < 0.0003$) in spring wheat. The directional asymmetry occurred both in the control and experiment but was more characteristic of the spring wheat. The fluctuating asymmetry ($F = 4.8; p < 0.0001$) was significantly higher in the sample corresponding to the second dose (in winter wheat). The last was confirmed by morphometric distances were the highest between the centers of the sets, corresponding to the 2nd dose and control. The spring wheat showed no difference in FA. Thus, an increased dose of fertilizer caused a decrease in developmental stability in winter wheat. The spring wheat showed the high variability in shape and asymmetry, including the relationship between length, shape, and asymmetry, with no signs of reduced developmental stability.

Keywords: fluctuating asymmetry, wheat leaf blade, Geometric morphometrics, fertilizer doses

Популяция пшеницы, как и других растений, среди прочих характеристик обладает стабильностью развития, которая определяется по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластины, как разности в величине левого и правого билатерально-симметричных признаков.

Ранние работы в области стабильности развития и асимметрии проводились с использованием линейных или счетных признаков или сравнением площади половинок листа. При таком подходе обозначалась ось симметрии, строились перпендикулярные отрезки. Величина флуктуирующей асим-

метрии определялась по абсолютной разности, отнесенной к сумме значений признаков. Из-за продольного строения пластины злаковых, требуется достаточно большое количество измеряемых отрезков, а дальнейшие статистические процедуры включают проверку на нормальность распределения и статистическую оценку результатов. В последнее время созданы программы для автоматического сканирования и расчета асимметрии различных листьев, в том числе злаковых культур [1]. Морфологические характеристики, такие как форма, остаются за пределами такого подхода, который носит скорее описательный, но не аналитический характер.

Авторами был выбран метод геометрической морфометрии, который удобен тем, что позволяет сравнить асимметрию по форме края правой и левой половины листа. Согласно этому методу, метки с координатами ХУ расставляются равномерно по контуру изображения листовой пластины, способствуя увеличению числа степеней свободы *df*. Программа MorphoJ [2] регистрирует как общую изменчивость координат меток (компонент симметрии), так и билатерально-симметричную изменчивость координат парных меток (компонент асимметрии).

Исследование ФА в листьях древесных растений показало высокое содержание направленной асимметрии (НА), которое, как правило, искусственно увеличивает флуктуирующую асимметрию. В лесных ценопопуляциях ФА, как нормальная изменчивость листовых пластин, варьирует в широком диапазоне из-за неучтенных факторов, среди которых наиболее важный – освещение. Фактор урбанизации согласно недавним сообщениям оказывает серьезное влияние на снижение стабильности развития в популяциях березы повислой [3, 4].

Флуктуирующая асимметрия зависит от различных причин. Привлекают внимание генетические и эпигенетические факторы, хотя основное влияние оказывает среда, а саму ФА относят к фенотипической изменчивости, отдельно выделяя флуктуационную изменчивость [5]. В предыдущих работах была проведена оптимизация числа расставляемых меток и объема выборки [6, 7].

Длина листовых пластин заслуживает отдельного рассмотрения, так как изменчивость длины пластины ведет к возможному изменению как формы, так и асимметрии. Известно, что продолжительность вегетации озимых злаков длиннее, чем у яровых форм, отсюда ожидаемо большие размеры

пластин у озимой пшеницы и большая величина ФА, хотя линейная характеристика не всегда коррелирует с величиной ФА. Ранее исследования по сравнению стабильности развития пшеницы не проводились или выполнены недостаточно. Например, работы, проведенные О.А. Устюжаниновой с соавт., были направлены на определение коэффициента флуктуирующей асимметрии озимой и яровой пшеницы в зависимости от насыщенности севооборота бобовыми растениями на фоне внесения минеральных удобрений [8, 9]. Таким образом, рассматривалось не менее двух факторов, однако взаимодействие их, как и влияние года посева или метрические характеристики листовой пластины, не учитывались. Не учитывалось также возможное присутствие направленной асимметрии, как частого спутника ФА.

Пшеница, как и другие культурные сорта злаковых – удобные объекты для исследования, из-за равномерного освещения посевов и относительной генетической чистоты семенного материала.

В цель настоящей работы входило:

а) изучение влияния дозы удобрения на длину листовых пластин, их форму и величину ФА;

б) сравнение ФА и направленной асимметрии (НА) в листьях двух сортов пшеницы.

Морфогеометрический (Прокрустов) дисперсионный анализ проводился с построением усредненной конфигурации (центроида) и расчетом дисперсии парных меток по обеим сторонам пластины в сравнении их для определения величины флуктуирующей асимметрии.

Материалы и методы исследования

Флаговые листовые пластины собирались во второй половине июля 2021 г. на территории Федерального аграрного научного центра (г. Суздаль, Владимирская обл.) с координатами 56,2157°N; 40,5166°E. Работа проводилась в рамках многолетнего адаптивно-ландшафтного эксперимента, проводимого на серых лесных почвах Суздальского Ополья с принятой системой севооборота с использованием пшеницы (*Triticum aestivum* L.1753). Использовались два сорта: сорт Грань (озимая) и сорт Поэма (яровая).

Интенсивная доза (1-я) имела следующий состав: $N_{60}P_{60}K_{60}$ для яровой и $N_{60} + 40$ т навоза/га + для озимой пшеницы. Высокоинтенсивная (2-я): $N_{90}P_{90}K_{90}$ для яровой и $N_{60} + 40$ т навоза/га + $N_{40}P_{40}K_{40}$ для озимой пшеницы (индексы указывают на объем в килограммах вещества, вносимого на 1 га).

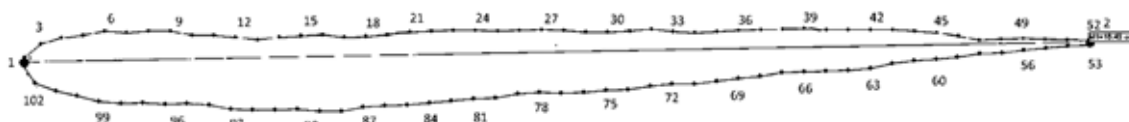


Рис. 1. Расположение основных (№ 1 и 2) и вспомогательных меток (№ 3–102)

Площадь делянки составляла $35 \text{ м}^2 (5 \times 7)$, а контролем служили полосы, разделявшие делянки с 1-й и 2-й дозами удобрения и полосы по краю поля. Обе дозы вносились непосредственно перед посевом.

Листовые пластины собирались случайно, избегая края делянки 1 м шириной. Выбирались сформированные симметричные пластины без изгибов и поражения микроорганизмами с длиной 16–18 см. С каждой делянки (всего четыре) собиралось 25–30 пластин, затем они вымачивались сутки в бытовом 5%-м детергенте, высушивались и наклеивались на бумагу абаксиальной стороной наверх и сканировались сканером Canon (300dpi) вместе с линейкой, градуированной по ГОСТ. Изображения сохранялись в формате JPG.

Нанесение первой и второй меток (пакет TPSDig2) проводилось в основании пластины, лишенной лигулы (язычка), и в верхушке пластины (апекс). Вспомогательные метки наносились по 50 по обоим краям – левому и правому. Эти метки считались полуметками, в отличие от первых – истинных меток, образующих ось симметрии (рис. 1).

Построение кривых проводилось первоначально нанесением 25–30 меток (outlines). Затем их число доводилось до 50 и проводилось выравнивание расстояний между ними. Такая процедура проводилась четыре раза: два раза по часовой и два раза – против часовой стрелки.

После определения координат всех меток и создания общего файла проводилась выбраковка выбросов, т.е. меток, визуальное выходящих за пределы доверительного интервала. Было удалено не более одного-двух выбросов из каждой выборки. После усреднения формы выборочная листовая пластина отображалась в виде усредненной симметричной формы – центроида. В результатах Прокрустова анализа (аналога двухфакторного дисперсионного анализа) индивидуальное различие («лист») указывало на различие в форме пластины. Статистически значимый эффект фактора «сторона» указывал на присутствие направ-

ленной асимметрии. Взаимодействие обоих факторов указывало на статистическую значимость флуктуирующей асимметрии.

Первый (главный) компонент вариации в матрице «лист×сторона» представлял наибольшую долю дисперсии меток и сравнивался для определения различия в асимметрии. Для нормализации выборок проводилось пермутационное размножение значений координат до 10 000 раз, статистическая значимость определялась на уровне 95%.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Длина и форма листовой пластины

Длина листовых пластин яровой пшеницы была меньше, чем у озимой пшеницы (соответственно $16,7 \pm 0,03$ и $17,0 \pm 0,03$ см; $df = 667$; $p < 0,05$). Выборки обладали нормальным распределением, так как значения эксцесса и асимметрии находились в пределах $\{-1 \div 1\}$, близкими были как значения коэффициентов вариации, соответственно $(3,11 \pm 0,03$ и $3,23 \pm 0,03)$, так и стандартных отклонений (0,52 и 0,55).

При второй дозе заметно было статистически значимое ($p < 0,05$) снижение длины листовой пластины яровой пшеницы ($16,83 \pm 0,05$ – 1-я доза и $16,5 \pm 0,05$ – 2-я доза; рис. 2).

У озимой пшеницы различия в длине пластины не было или оно было слабым ($p \geq 0,05$). В контроле длина пластин обоих сортов была заметно больше, чем после внесения второй дозы удобрения ($p = 0,001$). Авторы связывают это с превышением синтетических процессов увеличения биомассы колоса над фотосинтетической активностью и митотической активностью в листовой пластине.

Величина центроидной фигуры была также меньше у яровой пшеницы (0,076 и 0,080 – озимая; $df = 667$; $p < 0,01$). Прямой корреляции или регрессионной зависимости между длиной пластины и величиной центроида (средний квадрат расстояния от координат до геометрического центра) получено не было ($p > 0,05$).

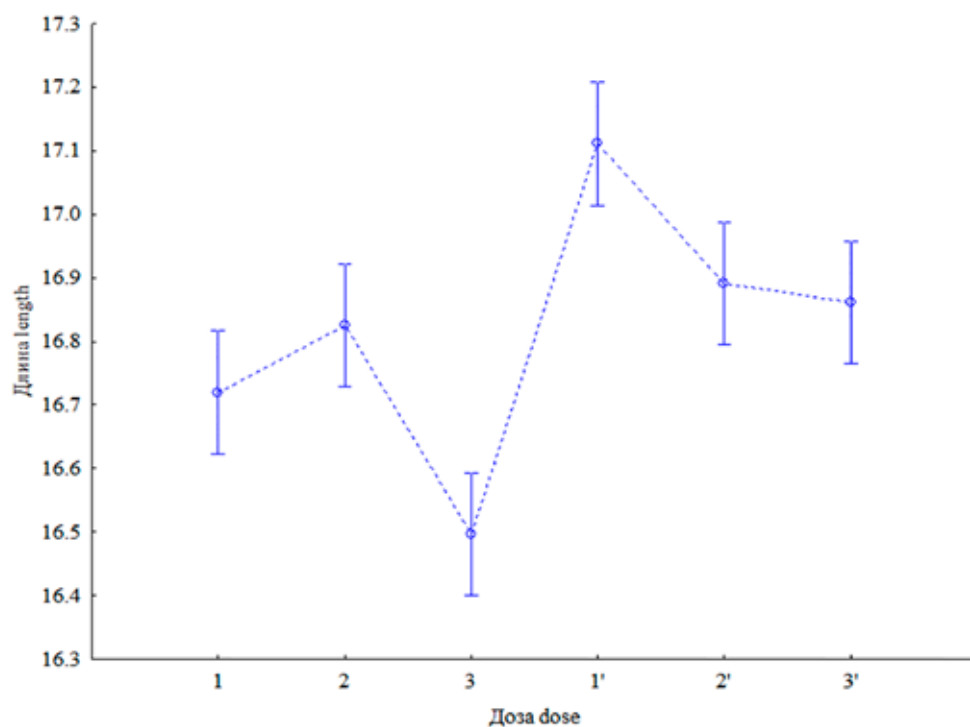


Рис. 2. Влияние двух доз удобрения на длину пластины (95 %-ный доверительный интервал). 1 – яровая контр.; 2 – яровая $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 – яровая $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($p << 0,05$) и 1' – озимая контр. 2' – озимая $N_{60} + 40$ т навоза/га; 3' – озимая $N_{60} + 40$ т навоза/га + $N_{40}P_{40}K_{40}$ ($p \geq 0,05$)

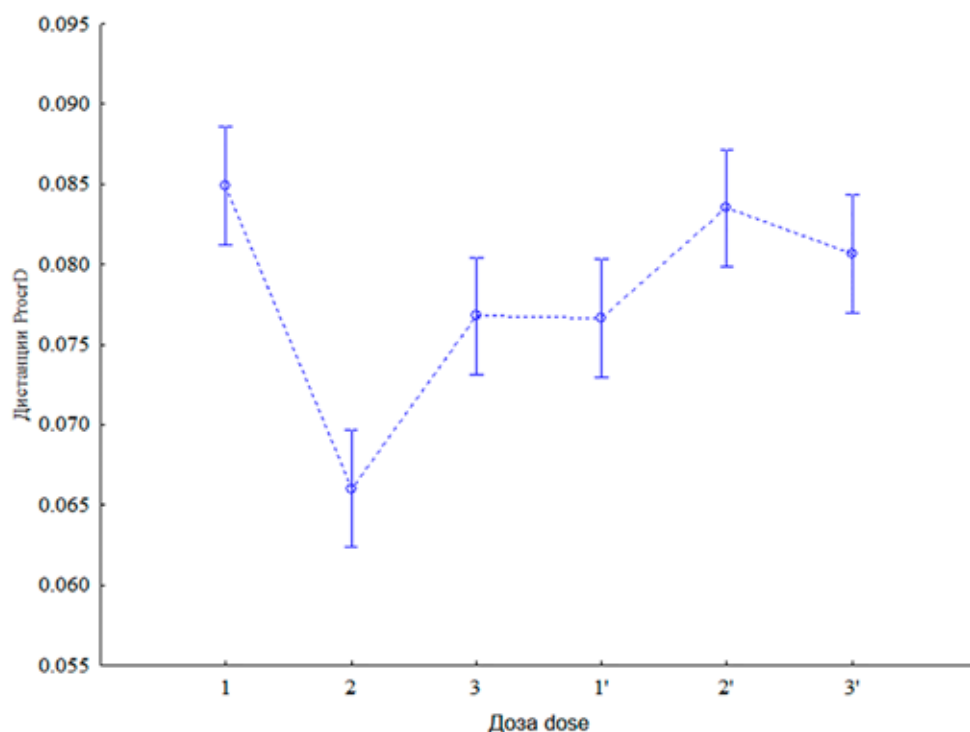


Рис. 3. Влияние двух доз удобрения на величину усредненной фигуры (95 %-ный доверительный интервал). 1 – яровая контр.; 2 – яровая $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 – яровая $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($p << 0,05$) и: 1' – озимая контр. 2' – озимая $N_{60} + 40$ т навоза/га; 3' – озимая $N_{60} + 40$ т навоза/га + $N_{40}P_{40}K_{40}$ ($p \geq 0,05$)

Таблица 1

Различие в форме (лист), в направленной асимметрии (сторона)
и во флуктуирующей асимметрии (лист × сторона)

Источник вариации	Озимая					Яровая			
	<i>Effect</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>df</i>	<i>F</i>
Контроль	лист (1)	0,017	0,00001	2700	2,09***	0,013	0,000005	2700	2,72***
	сторона (2)	0,000	0,00000	100	0,56 ^{ns}	0,0003	0,000003	100	1,85***
	(1)×(2)	0,008	0,00000	2700	2,22***	0,005	0,000002	2700	1,63***
	ошибка (3)	0,023	0,00000	16800		0,018	0,000001	16400	
1-я доза	(1)	0,017	0,00001	2700	1,37***	0,015	0,00001	2700	1,49***
	(2)	0,001	0,00001	100	1,88***	0,002	0,00002	100	4,34***
	(1)×(2)	0,012	0,00000	2700	2,67***	0,010	0,00000	2700	4,04***
	(3)	0,028	0,00000	16600		0,016	0,00000	16800	
2-я доза	(1)	0,014	0,00001	2700	1,32***	0,017	0,00	2 700	1,64***
	(2)	0,000	0,00000	100	0,71 ^{ns}	0,001	0,00001	100	1,41*
	(1)×(2)	0,011	0,00000	2700	4,82***	0,010	0,00	2 700	3,77***
	(3)	0,014	0,00000	16800		0,017	0,00000	16 800	

Примечание. *SS* – сумма квадратов; *df* – степень свободы; *MS* – средний квадрат; *F* – критерий Гудолла; *** – $p < 0,0001$; * – $p < 0,01$.

У яровой пшеницы зависимость величины центроида от дозы удобрения была высокой ($F = 22,9$; $p \ll 0,05$), у озимой – практически незначимой ($F = 3,8$; $p = 0,02$; рис. 3).

Таким образом, связь между длиной, формой пластины и дозой удобрения была характерна для яровой пшеницы. Для озимой пшеницы серьезной связи между дозой и формой пластины получено не было.

2. Асимметрия листовых пластин в Прокрустовом анализе

Результаты Прокрустова дисперсионно-го анализа представлены в табл. 1.

Величина ФА (лист × сторона) находилась на одном уровне статистической значимости ($p < 0,0001$), и была заметна тенденция к повышению во второй дозе удобрения по сравнению с контролем. У озимой формы критерий Гудолла повышался от $F = 2,22$ до $4,82$ и у яровой от $F = 1,63$ до $3,77$.

Направленная асимметрия (сторона) была более характерна для яровой пшеницы, что затрудняло определение величины ФА и стабильности развития.

Индивидуальное различие формы (лист) варьировало от больших значений в контроле ($F = 2,09$ – озимая и $F = 2,72$ – яровая) до более низких значений F во второй дозе, соответственно $F = 1,32$ – озимая и $F = 1,64$ – яровая. Авторы относят это явление к рав-

номерному распределению питательных элементов и выравниванию формы пластины в процессе получения важных минералов – азота, фосфора и калия.

У озимой пшеницы сила связи *RV* между величиной ФА и центроидным размером была незначимой: $RV = 0,02 - 0,03$ ($p > 0,05$). Проверка связи ФА – форма у яровой пшеницы показала высокую связь: $RV = 0,06 - 0,15$ ($p < 0,001$), то есть отчетливее прослеживалась связь между дозой, формой и ФА, что авторами данной статьи было отнесено к генетическим и морфологическим особенностям яровой пшеницы.

3. Определение различия в асимметрии с помощью морфогометрических расстояний

Канонический вариационный анализ выполнялся на основе ковариационных матриц координат ХУ меток взаимодействия «лист × сторона». Использовались первые наиболее важные компоненты, занимавшие более 70%. Между центрами значений в Прокрустовом усредненном пространстве рассчитывались расстояния, указывавшие на их различие (табл. 2).

Статистически значимое различие в асимметрии получено только у озимой пшеницы: 1-я доза – контроль ($0,009$; $p < 0,001$) и 2-я доза – контроль ($0,006$; $p < 0,001$).

Таблица 2

Прокрустовы расстояния между центрами множеств

Озимая			Яровая		
	1 доза	2 доза		1 доза	2 доза
1 доза	х	х	1 доза	х	х
2 доза	0,003 ($p \leq 0,05$)	х	2 доза	0,003 ($p > 0,05$)	х
контр.	0,009 ($p < 0,0001$)	0,006 ($p < 0,0001$)	контр.	0,003 ($p > 0,05$)	0,002 ($p > 0,05$)

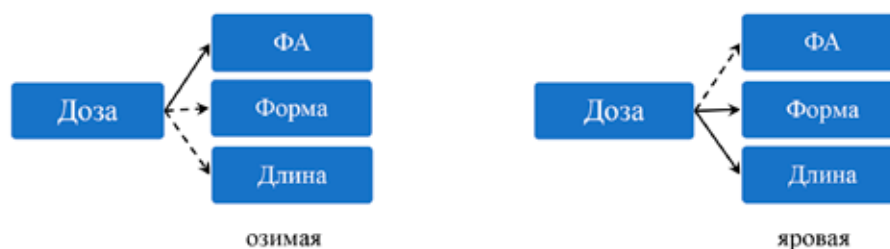


Рис. 4. Связь между дозой и морфогометрическими характеристиками листовой пластины. Сплошная стрелка показывает значимую связь ($p < 0,05$), пунктирная стрелка – отсутствие или слабую связь ($p \geq 0,05$)

Различие в ФА в морфогометрическом пространстве с помощью канонических переменных между центрами множеств координат было больше выражено у озимой пшеницы.

Таким образом, озимая пшеница показала статистически значимое разделение множеств, т.е. анализ главных компонент подтверждал влияние дозы удобрения на величину ФА пластин. Различие между контролем и экспериментом в дистанциях Махаланобиса, с учетом эллипсоидного распределения, было у озимой – 3,2, у яровой – 2,0 ($p < 0,0001$). Пластины озимого сорта различались по асимметричности, как и по результатам Прокрустова анализа (низкие значения НА и высокие ФА), так и в вариационном анализе. В противоположность, листья яровой пшеницы имели меньшую длину, варьировали по форме и обладали высокой направленной асимметрией.

Заключение

Влияние длины на форму не ограничивается лишь одной длиной, а может зависеть и от других неисследованных факторов. Антибатное влияние дозы на длину пластины было получено только у яровой пшеницы. Автор объясняет это коротким вегетативным периодом яровой пшеницы с формированием анатомических структур с широким диапазоном изменчивости, в том числе флуктуационной изменчивости, с вы-

соким стандартным отклонением величины ФА. Таким образом, высокая гетерогенность формы влияла на флуктуирующую асимметрию пластин яровой пшеницы.

В работе, выполненной в Калужской области, было получено увеличение ФА при повышенной дозе минеральных удобрений. В предлагаемой работе результаты анализа главных компонент подтвердили такую тенденцию.

Отличие в величине ФА озимой пшеницы, полученной при разных дозах удобрения, означало влияние высокоинтенсивного органоминерального удобрения на асимметричность листовых пластин. Морфологическое различие пластин двух форм пшеницы отражало генетическое содержание асимметрии. На это указывало и различное соотношение ФА/НА у исследованных сортов. Связь длина – форма – ФА сильнее проявлялась у яровой пшеницы (рис. 4).

Генетические особенности и разные сроки посева не позволяли четко сопоставлять обе формы пшеницы по стабильности развития. Высокоинтенсивная доза могла способствовать неравномерному росту клеток в пластинах яровой пшеницы, что объясняет высокое присутствие направленной асимметрии, включая и контрольную выборку.

Ранее на примере древесных растений продемонстрировано, что пластическая и флуктуационная изменчивость находились в обратной связи. Напротив, изучение

мерных признаков пшеницы не показало такой зависимости. В сравнении с озимой пшеницей пластическая изменчивость представляется скорее свойством яровой пшеницы, которое сопряжено с флуктуационной изменчивостью. Последующее изучение будет направлено на определение асимметрии при воздействии других доз удобрения и влияния климатических факторов.

Список литературы

1. Graham J.H., Whitesell M., Fleming M., Or H.H., Nevo T., Raz S. Fluctuating asymmetry of plant leaves: batch processing with LAMINA and continuous symmetry measures // *Symmetry*. 2015. Vol. 7, Is. 1. P. 255–268. DOI: 10.3390/sym7010255.
2. Klingenberg C.P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics // *Mol. Ecol. Res.* 2011. Is. 11. P. 353–357. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x.
3. Baranov S.G., Bibik T.S., Ilin L.I. Precision of measurement and directed asymmetry in leaf plates *Betula pendula* Roth // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2017. № 2 (44). P. 14–21.
4. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Volpert Y., Korotchenko I., Pervyshina G. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of *Betula Pendula* Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact // *Symmetry* 2020. № 12. 1317. DOI: 10.3390/sym12081317.
5. Тиходеев О.Н. Классификация изменчивости по факторам, определяющим фенотип: традиционные взгляды и их современная ревизия // *Экологическая генетика*. 2013. 11 (3). С. 79–92. DOI: 10.17816/ecogen11379-92.
6. Baranov S.G., Vinokurov I.Yu., Schukin M.V., Schukina I.V., Maltsev I.E., Zikov A.A., Ananieff V., Fedorova L.V. Does Fertilizer Influence Shape and Asymmetry in Wheat Leaf? // *Computer Science On-line Conference*. Springer. Cham. 2020. P. 153–160. DOI: 10.1007/978-3-030-51971-1_12.
7. Baranov S.G., Vinokurov I.Yu., Zikov I.E., Fedorova L.V., Antsyshkina A.M. Two kinds of asymmetry in spring wheat leaf blade // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* // IOP Publishing. 2021. Vol. 839. 032037. DOI: 10.1088/1755-1315/839/3/03203770.
8. Устюжанина О.А., Соколова Л.А. Коэффициент флуктуирующей асимметрии для пшениц озимой и яровой в севооборотах с насыщенностью элементами питания в разной форме // *Проблемы региональной экологии*. 2014. № 6. С. 59–62.
9. Устюжанина О.А., Соколова Л.А., Голофеева А.С., Бурлуцкий В.А. Влияние разных минеральных фонов на урожайность и коэффициент флуктуирующей асимметрии для озимой и яровой пшениц // *Проблемы региональной экологии*. 2017. № 3. С. 99–102.

СТАТЬИ

УДК 911.3

DOI 10.17513/use.38048

**ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ
НА ТЕРРИТОРИАЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА
ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Айманова Е.Е., Закиров И.В.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа,
e-mail: ersin.aymanova@mail.ru, ziv7702@yandex.ru*

Анализируются пространственные различия природных условий, влияющие на территориальную организацию сельского хозяйства Западно-Казахстанской области. В качестве главных из природных условий рассмотрены те, которые в наибольшей степени воздействуют на развитие растениеводства. Охарактеризованы те факторы, которые ограничивают выращивание культурных растений и поэтому определяют особенности развития сельского хозяйства. Кроме тепло- и влагообеспеченности, которые являются факторами жизни растений, также рассматриваются особенности рельефа, которые влияют на возможности механической обработки земли. Изучено влияние биоклиматического потенциала на уровень оптимальной интенсивности сельскохозяйственного использования земель. При этом четко различаются два понятия – интенсивность сельского хозяйства и интенсификация сельскохозяйственного производства. В условиях Западно-Казахстанской области одним из главных факторов, который лимитирует жизнь культурных растений, является влагообеспеченность, уменьшающаяся с севера на юг. Поэтому и биоклиматический потенциал также снижается с севера на юг, вследствие чего уровень интенсивности сельскохозяйственного использования земель следует биоклиматическому потенциалу и уменьшается с севера области на юг. Богарное земледелие на территории области изменяет свою географию со сплошного размещения на севере на выборочное и узковыборочное – на юге. Территориальная дифференциация биоклиматического потенциала влияет и на размещение и характер естественных кормовых ресурсов (сенокосов и пастбищ). В свою очередь, эти ресурсы обуславливают территориальную организацию животноводства по области. В степной зоне на основе полевого кормопроизводства эффективно развивается молочное скотоводство, а на продуктах переработки зерна распространены свиноводство и птицеводство. С продвижением на юг уменьшается продуктивность естественных кормовых ресурсов, поэтому понижается и интенсивность животноводства, которое меняет свое направление с молочного на мясное скотоводство, а также овцеводство и коневодство.

Ключевые слова: Западно-Казахстанская область, территориальная организация, сельское хозяйство, география сельского хозяйства, природно-географические факторы, теплообеспеченность, влагообеспеченность, биоклиматический потенциал, интенсивность сельскохозяйственного использования земель, территориальная организация сельского хозяйства

**NATURAL CONDITIONS AFFECTING THE TERRITORIAL
ORGANIZATION OF AGRICULTURE IN THE WESTERN
KAZAKHSTAN REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

Aymanova E.E., Zakirov I.V.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: ersin.aymanova@mail.ru, ziv7702@yandex.ru

The spatial differences in natural conditions that affect the territorial organization of agriculture in the West Kazakhstan region are analyzed. The main natural conditions considered are those that have the greatest impact on the development of plant cultivation. Factors that limit the cultivation of crops and therefore determine the characteristics of agricultural development are characterized. In addition to temperature and moisture, which are factors of plant life, the features of relief that affect the possibilities of mechanical soil cultivation are also considered. The influence of bioclimatic potential on the level of optimal intensity of agricultural land use has been studied. Two concepts are clearly distinguished – the intensity of agriculture and the intensification of agricultural production. In the conditions of the West Kazakhstan region, one of the main factors limiting the life of cultivated plants is moisture, which decreases from north to south. Therefore, the bioclimatic potential also decreases from north to south, resulting in the level of intensity of agricultural land use following the bioclimatic potential and decreasing from the north of the region to the south. Agriculture on the territory of the region changes its geography from continuous placement in the north to selective and narrow in the south. Territorial differentiation of bioclimatic potential also affects the placement and nature of natural fodder resources (hayfields and pastures). In turn, these resources determine the territorial organization of livestock farming throughout the region. In the steppe zone, dairy farming effectively develops based on field fodder production, while pig and poultry farming is widespread based on grain processing products. As it moves south, the productivity of natural fodder resources decreases, so the intensity of livestock farming also decreases, changing its direction from dairy to meat farming, as well as sheep and horse breeding.

Keywords: West Kazakhstan region, territorial organization, agriculture, geography of agriculture, natural and geographical factors, temperature provision, moisture provision, bioclimatic potential, intensity of agricultural land use, territorial organization of agriculture

Основными отраслями сельского хозяйства являются растениеводство и животноводство. Обе отрасли подвержены сильному воз-

действию природных условий, но продуктивность растениеводства в большей степени зависит от природно-географических факторов.

На территориальную организацию растениеводства в большой мере влияют географические факторы, лимитирующие жизнь растения. Дефицит хотя бы одного из этих факторов ограничивает развитие сельского хозяйства, даже если все остальные факторы имеются в полном объеме. Главными факторами природной среды, которые влияют на территориальную дифференциацию и организацию растениеводства, являются теплообеспеченность и влагообеспеченность растений, длительность светового дня в период вегетации растений и почвенный покров. Эти элементы природной среды влияют на биоклиматический потенциал территории, который, в свою очередь, определяет возможности развития сельского хозяйства, его специализацию и территориальную организацию.

Условия природной среды влияют на уровень интенсивности сельскохозяйственного использования земель. Под уровнем интенсивности сельскохозяйственного использования земель понимают силу воздействия на окружающую природную среду в процессе сельскохозяйственного производства. А.Н. Ракитников, заложивший теоретические основы отечественной географии сельского хозяйства, отличал понятия интенсивности сельскохозяйственного использования земель и интенсификации сельскохозяйственного производства [1, с. 17]. Каждая местность со своими уникальными природными и экономико-географическими условиями должна иметь строго определенный уровень интенсивности сельского хозяйства, это обеспечит высокий уровень эффективности сельского хозяйства и устойчивое состояние природной среды. Если мы завысим уровень интенсивности, это приведет к нарушению природной среды и к деградации сельского хозяйства, если уровень интенсивности будет ниже оптимального для данной местности, мы не получим то количество сельскохозяйственной продукции, которое может дать этот агроландшафт. Под интенсификацией подразумевается наиболее полное использование в сельском хозяйстве новейших достижений научно-технического прогресса. Поэтому в каждой местности интенсификация сельскохозяйственного производства должна быть как можно более высокая. В настоящее время в странах бывшего СССР в меньшей степени начали учитывать природно-географические факторы развития сельского хозяйства, комплексных экономико-географических публикаций

по этой тематике стало меньше. Актуальность представленного исследования обусловлена недостаточной изученностью нынешних особенностей влияния природных условий на современную территориальную организацию сельского хозяйства в Западно-Казахстанской области.

Цель исследования – анализ меняющихся природных условий, влияющих на специализацию и динамику территориальной организации сельского хозяйства Западно-Казахстанской области, для повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы исследования

В работе использованы материалы собственных исследований, материалы сотрудников кафедр географии и биологии Западно-Казахстанского университета, а также сотрудников Западно-Казахстанского аграрно-технического университета. Применялись в основном описательный, сравнительно-географический и другие методы научных исследований. Теоретико-методологической основой исследования послужили работы А.Н. Ракитникова [1, с. 10–44], В.Г. Крючкова [2], В.И. Амельченко [3], А.Г. Галимова [4, с. 17–33] и Э.Ж. Имашева [5]. Также были использованы результаты исследований под редакцией С.С. Байшоланова [6, с. 30–39], Г.З. Мажитовой и К.М. Джаналеева [7], Т. Шакеновой и др. [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Западно-Казахстанская область расположена в северо-западной части Республики Казахстан. Территория области занимает юго-восточную часть Восточно-Европейской равнины. Большая часть территории региона находится в северной части Прикаспийской низменности. Протяженность территории области с севера на юг на 425 км обусловила зональные (широтные) изменения всех компонентов природы. Протяженность территории с запада на восток составляет 585 км.

Общая площадь территории Западно-Казахстанской области – 151,3 тыс. км². Вовлеченность земель в сельскохозяйственное использование характеризуется выраженной пространственной неоднородностью, которая обусловлена в первую очередь природными факторами [9, с. 38]. Отличительная особенность рельефа области – это обширная равнина с небольшими поднятиями на северо-восточной части, т.е. рельеф

понижается с северо-востока на юго-запад. Северные части территории области заняты южными отрогами Общего Сырта.

Северо-восточную часть области занимает Подуральское плато, которое в некоторых источниках упоминается как Эмбинское плато. Почти по всей Прикаспийской низменности встречаются затопливаемые весной неглубокие понижения – падины, лиманы, наиболее крупные из них обычно используются под посевы зерновых культур или сады.

Таким образом, геоморфологические особенности региона не представляют особых препятствий для освоения сельскохозяйственных земель и ведения сельского хозяйства. Преобладание пологих склонов не требует применения специальных сельскохозяйственных машин и орудий.

Отличительной чертой климата Западно-Казахстанской области является его резкая континентальность, которая проявляется в значительных температурных контрастах дня и ночи, зимы и лета, в быстром переходе от зимы к лету, засушливости и обилии солнечной радиации. Континентальность региона объясняется его географическим положением, расположением территории в центральной части материка и значительной удаленностью от Мирового океана. Континентальность в регионе нарастает с северо-запада на юго-восток. Также с севера на юг заметно увеличивается радиационный баланс, количество осадков уменьшается и увлажнение становится недостаточным для выращивания большинства сельскохозяйственных культур.

Территорию области подразделяют на четыре агроклиматических района, сменяющихся с севера на юг: 1) очень засушливый теплый, 2) сухой очень теплый, 3) сухой умеренно жаркий, 4) очень сухой умеренно жаркий агроклиматический. Охарактеризуем данные четыре района.

1. Очень засушливый теплый район имеет значение гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК) 0,5–0,6. Сумма активных температур района – 2700–2800 °С – благоприятна для созревания ранних зерновых культур, проса, картофеля, раннеспелых и среднеспелых сортов кукурузы.

2. Сухой очень теплый агроклиматический район с ГТК равным 0,3–0,5, суммой активных температур – 2800–3000 °С. Тепловые ресурсы обеспечивают вызревание большинства сельскохозяйственных культур, включая их поздние сорта.

3. Сухой умеренно жаркий агроклиматический район с ГТК равным 0,3–0,5, суммой активных температур – 3000–3300 °С. Термические ресурсы здесь достаточны для выращивания большинства сельскохозяйственных культур, но количество осадков ограничивает земледелие.

4. Очень сухой умеренно жаркий агроклиматический район с ГТК равным 0,2–0,3; суммой активных температур – 3300–3400 °С. Недостаток влаги делает возможным земледелие лишь на заливных участках поймы р. Урал или там, где применяется искусственное орошение [4, с. 27].

Территория Западно-Казахстанской области подразделяется на три природные (физико-географические) зоны: степную, полупустынную и пустынную. С севера на юг степная зона сменяется на зону полупустынь, потом – на зону пустынь [3].

Степная зона в пределах Западно-Казахстанской области представлена двумя подзонами: умеренно сухой степи на темно-каштановых почвах с типчаково-ковыльной растительностью и сухой степи на типичных каштановых почвах с полынно-ковыльно-типчаковой растительностью.

Подзона умеренно сухой степи характеризуется на большей части территории увалисто-волнистым рельефом Общего Сырта и Подуральского плато. Для Общего Сырта характерно преобладание широких плоских водоразделов, используемых преимущественно в качестве пастбищ.

Подзона умеренно сухой степи входит в очень засушливый теплый агроклиматический район с ГТК, имеющим значение 0,5–0,6, суммой активных температур 2700–2800 °С. Среднегодовая температура воздуха положительная и составляет для подзоны 4 °С, при средней температуре января – 14,8 °С и июля +22,5 °С. Абсолютный минимум температур – -43 °С, максимум – +42 °С, т.е. абсолютная амплитуда составляет 85 °С. Температура довольно резко меняется не только в продолжение года или месяца, но и в течение суток.

Продолжительность периода активной вегетации составляет 150–155 дней, а периода общей вегетации растений – 180 дней. Безморозный период длится в среднем 140 дней. Весенние заморозки по средним многолетним данным прекращаются обычно в конце апреля – начале мая, а первые осенние заморозки наступают в конце сентября. Но в период вторжения арктического континентального воздуха с севера весенние замороз-

ки возможны даже в первой декаде июня, а осенние – в начале сентября. Позднелетние и раннеосенние заморозки являются очень неблагоприятными для возделывания овощей и плодово-ягодных культур, происходит гибель всего урожая. В этом случае высаженные в открытый грунт овощные культуры часто погибают.

Продолжительность зимы с устойчивым снежным покровом составляет около 125–130 дней. Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова составляет обычно 25–30 см с запасами воды в снежном покрове до 90 мм. В многоснежные зимы запасы воды увеличиваются, а в малоснежные – уменьшаются в 1,5–2 раза по сравнению со средними многолетними запасами. Устойчивый снежный покров образуется в конце ноября – начале декабря. Максимальная мощность снегового покрова отмечается во второй половине зимы. Для первой половины зимы характерны длительные бесснежные периоды, когда устойчивый снеговой покров образуется только в январе. Небольшой снежный покров в условиях низких зимних температур способствует глубокому замерзанию почвы и является главной причиной неудач при возделывании озимых и плодовых культур [10].

Основным климатическим фактором, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур в Западно-Казахстанской области, являются условия увлажнения. В пределах подзоны умеренно сухой степи наблюдаются некоторые территориальные различия в величинах годового количества осадков. В среднем за год выпадает около 200–300 мм осадков; во влажные годы их количество увеличивается до 400–500 мм, а в засушливые годы снижается до 140–180 мм и менее. В северной части области (район Байтерек, Бурлинский район, Уральск) на территории подзоны умеренно сухой степи за год выпадают более 300 мм осадков. Только на юге в зоне пустыни выпадают менее 200 мм (метеорологическая станция Тайпак) осадков. Низкий уровень урожайности яровых зерновых во многом объясняется отсутствием осадков в период, когда для нормального развития придаточных корней необходима влага в верхнем горизонте (5–10 см) почвы.

Оценивая агроклиматические ресурсы подзоны умеренно сухой степи, можно отметить, что тепловые ресурсы здесь велики (годовая суммарная радиация составляет 112,6 ккал см²) и вполне достаточны для вызревания ранних зерновых культур, про-

са, картофеля, раннеспелых сортов плодово-ягодных культур.

Подзона сухой степи занимает Предсыртовый уступ и северную часть Прикаспийской низменности. Климат подзоны сухой степи, занимающей промежуточное положение между умеренно сухой и пустынной степью, обладает переходными признаками. Подзона сухой степи почти полностью входит в сухой очень теплый агроклиматический район с ГТК, имеющим значение 0,3–0,5 за период активной вегетации, и с суммой активных температур 2800–3000 °С.

Продолжительность периода с температурой выше 10 °С повышается до 155–160 дней. Годовое количество осадков уменьшается до 250 мм, а за период активной вегетации – до 110–120 дней; среднее значение из наибольших декадных высот снежного покрова достигает 20–25 см. Запасы воды в снеге составляют 75–90 мм. Соответственно, снижаются и запасы продуктивной влаги.

Таким образом, теплообеспеченность растений здесь выше, а влагообеспеченность ниже, чем в подзоне умеренно сухой степи. Большая повторяемость засух и суховеев неблагоприятно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. В отдельные острозасушливые годы наблюдается гибель зерновых культур на больших площадях.

Пустынно-степная (полупустынная) зона занимает часть Прикаспийской низменности между абсолютными отметками 12–15 м на севере и 0 м на юге, сложенной преимущественно супесями. Климат полупустыни отличается еще большей континентальностью и засушливостью, чем климат степей. Входит в «сухой умеренно жаркий» агроклиматический район с суммой активных температур 3000–3300 °С и ГТК – 0,3–0,5.

Средняя годовая температура воздуха увеличивается до 6 °С. Несмотря на южное положение, зимние температуры остаются низкими и составляют -14,4 °С для восточной части зоны и -12,9 °С – для западной. В связи с увеличением абсолютного максимума до +44 °С годовая амплитуда температур возрастает до 87 °С.

Зона имеет наибольшее протяжение с запада на восток, поэтому континентальность климата увеличивается с запада на восток. Западная часть зоны получает 306 мм осадков в год. К юго-востоку годовое количество осадков сокращается до 237 мм в Казталовке и 254 мм в Каратобе. Устойчивый

снежный покров залегает на 80–110 дней, высота его не превышает 10–20 см, а запасы воды в снеге – 40–75 мм.

В почвенном покрове полупустынной зоны распространены светло-каштановые почвы, солонцы, лугово-каштановые светлые и луговые светлые. Почвы характеризуются невысоким содержанием гумуса (1,5–2 %) и довольно большой мощностью гумусового горизонта 45–55 см. Лугово-каштановые светлые почвы формируются среди каштановых на слабо пониженных участках с разнотравно-злаковой растительностью. Почвообразующими породами являются глины и тяжелые суглинки.

Основная территория пустынных степей используется в качестве весенне-летне-осенних пастбищ для выпаса овец и крупного рогатого скота. Источниками для водопоя скота служат реки: Ашиозек, Большой Узень, Малый Узень, Кушум, Урал, Улента, а также каналы Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы: Кашкенский, Карадукский, Едыльсорский, Саныюайский, Аксайский и др.

Зона пустынь. Значительная часть пустыни занята Урдинскими грядово-бугристыми песками, занимающими 1424 га. Всего в области 1583,8 тыс. га песков, что составляет 10,6 % от общей площади.

Урдинские (Нарынские) пески представляют северо-западную часть Волго-Уральского песчаного массива и характеризуются чередованием широких песчаных грядарынов, простирающихся на 20–30 км с северо-запада на юго-восток, и широких длиннообразных понижений – ашиков. В восточную часть зоны заходит суглинистая равнина.

Зона пустынь входит в «очень сухой умеренно жаркий» агроклиматический район с ГТК, имеющим значение 0,2–0,3, с суммой активных температур 3300–3400 °С при заметном уменьшении годового количества осадков (до 200 мм). Половина годовых осадков приходится на период с температурой выше 10 °С.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 80–105 дней, среднее значение из наибольших декадных высот снежного покрова уменьшается до 10–15 см, запасы воды в снеге – 40–50 мм. На крайнем юге в отдельные годы снег вообще не выпадает. Но и для этой зоны зимние температуры остаются очень низкими. Средняя температура января – -12,9 °С при возможном абсолютном минимуме – -41 °С. Небольшое годовое ко-

личество осадков в условиях высоких летних температур создает острый дефицит влаги, что ограничивает возможность бесполivного земледелия.

В бурых песчаных и супесчаных почвах мощность гумусового горизонта составляет 40–45 см, а содержание гумуса в верхнем слое – 0,4–0,6%. Вскипание от соляной кислоты обнаруживается с 40–50 см. Бурые солонцеватые почвы имеют несколько меньшую мощность гумусового горизонта (35–40 см) и более близкое к поверхности залегание солей.

Земли пустынной зоны используются в основном в качестве весенне-летне-осенних пастбищ. Однолетние побеги жужгуна являются прекрасным кормом и в зимний выпас лошадей. Водообеспечение в зоне осуществляется за счет вод р. Урал, каналов Урало-Кушумской (Сококрского, Кашкенского) и Улентинской системы (Азнабай-Тайпакский, Улентинский), а также грунтовых вод, имеющих в песчаных массивах неглубокое залегание и хорошее качество.

Таким образом, качественное состояние сельскохозяйственных земель зависит от принадлежности к той или иной природной зоне и влияет на эффективность земельного оборота [11, 12].

Заключение

Главным фактором, лимитирующим развитие растениеводства на территории Западно-Казахстанской области, является влагообеспеченность. Значение гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова на севере области составляет 0,7, к югу понижается до 0,3. Теплообеспеченность, которая измеряется суммой активных температур, на севере области составляет 2200 °С, на юге этот показатель повышается до 3000 °С. Рельеф не препятствует развитию сельского хозяйства в области. Климатические условия обуславливают почти широтное уменьшение биоклиматического потенциала с севера на юг. Поэтому оптимальный уровень интенсивности сельскохозяйственного использования земель также должен понижаться с севера на юг области.

Влагообеспеченность – это фактор, который в современных условиях технически можно регулировать. Это возможно в пределах долины р. Урал и ее притоков путем развития высокоинтенсивного орошаемого земледелия. В то же время почти все малые реки на территории области имеют солоноватую воду и непригодны для орошаемого земледелия. На севере области,

в степной зоне, можно развивать богарное земледелие, которое использует ресурсы атмосферных осадков. Богарное земледелие на территории области дифференцировано: возможно сплошное размещение на севере, выборочное и узковыборочное – на юге.

Территориальное распределение биоклиматического потенциала влияет на размещение и характер естественных кормовых ресурсов сенокосов и пастбищ. В свою очередь, эти ресурсы обуславливают дифференциацию развития животноводства по территории области. В степной зоне на основе полевого кормопроизводства эффективно развивается молочное скотоводство, а на продуктах переработки зерна – свиноводство и птицеводство. С продвижением к югу продуктивность естественных кормовых ресурсов уменьшается и поэтому понижается интенсивность животноводства, которое меняет свою специализацию с молочного на мясное скотоводство, а также овцеводство и коневодство.

В условиях выровненной местности в изменении специализации территории некоторую роль играет и мезо- и микрорельеф. Если рассматривать долю пахотных угодий в общей площади сельскохозяйственных земель, то с севера на юг она уменьшается, но интенсивность использования обрабатываемых земель с севера на юг повышается. Это заметно при сопоставлении структур посевных площадей. С переходом от сплошной земледельческой освоенности территории к выборочному и узковыборочному земледелию доля трудо- и капиталоемких культур в общей посевной площади повышается. Это связано с тем, что обычно падины и лиманы используются для выращивания картофеля и овощных культур для нужд местного населения. Примерно такая же картина отмечается и в специализации животноводства. На территориях, где естественные кормовые ресурсы позволяют сельскохозяйственным предприятиям специализироваться только на овцеводстве и коневодстве, местное население содержит небольшое поголовье крупного рогато-

го скота. Это поголовье предназначено для удовлетворения нужд местного населения в молоке и в говядине. Однако это не нарушает общей картины корреляции биоклиматического потенциала и уровня интенсивности сельскохозяйственного использования земель.

Список литературы

1. Ракитников А.Н. География сельского хозяйства. М.: Мысль, 1970. 342 с.
2. Крючков В.Г., Носонов А.М. Моделирование взаимодействия природных и производственно-территориальных систем сельского хозяйства // География и природные ресурсы. 2000. № 2. С. 85–91.
3. Амельченко В.И. Современные вопросы географии сельского хозяйства // Социально-экономическая география: история, теория, методы, практика: сборник научных статей (к 100-летию со дня рождения Ю.Г. Саушкина). Смоленск: Универсум, 2011. С. 423–427.
4. Галимов А.Г., Галимов М.А., Амельченко В.И. География Западно-Казахстанской области. Уральск, 2001. 139 с.
5. Имашев Э.Ж., Галимов М.А., Искалиев Д.Ж. Территориально-отраслевое развитие социально-производственной инфраструктуры Западно-Казахстанской области // Вестник КазНУ. Серия Географическая. 2021. Т. 61, № 2. С. 4–18.
6. Агроклиматические ресурсы Западно-Казахстанской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. Астана: ТОО «Институт географии», 2017. 128 с.
7. Мажитова Г.З., Джаналеева К.М. Анализ ландшафтной структуры степной зоны Северо-Казахстанской области // Вестник КазНУ. Серия Географическая. 2018. Т. 48, № 1. С. 14–21.
8. Шакинова Т., Мамирова К., Киясова Л., Кобегенова Х. Традиционные и современные методы исследования сельского хозяйства // Вестник КазНУ. Серия Географическая. 2019. Т. 52, № 1. С. 16–26.
9. Закиров И.В., Галкин А.В., Пономарева Н.С. Экономико-географический анализ сельскохозяйственного землепользования в Республике Башкортостан // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2020. Т. 6 (72), № 1. С. 28–42.
10. Жездибаева Б.Т., Мамытова А.Т. Исследование снежного покрова на территории бассейна реки Жайк // Гидрометеорология и экология: ежеквартальный научно-технический журнал. 2021. № 4. С. 29–37.
11. Тажекова А.Ж., Токбергенова А.А., Зулпыхаров К.Б. Качественное состояние сельскохозяйственных земель Туркестанской области и проблемы рационального использования // Вестник КазНУ. Серия Географическая. 2020. Т. 59, № 2. С. 4–17.
12. Турганалиев С.Р., Абдыгалиева С.С., Дабылова Б.Е., Бисенбаева С.Б. Земельный оборот Республики Казахстан в современных условиях // Вестник КазНУ. Серия Географическая. 2019. Т. 53, № 2. С. 4–15.

УДК 91:338.48
DOI 10.17513/use.38049

СПЕЦИФИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТУРИЗМЕ ЕГИПТА

Гергес Бола Реда Бануб

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: Gerges@sfedu.ru

В статье исследуются креативные технологии в туризме, их развитие, а также направления тенденций в будущем. Описываются основные понятия креативных технологий туристской деятельности; креативный туризм, инновации в туризме, экономика впечатлений. Анализируется основной сегмент потребителей креативного туризма и предпочтения потребителей. Рассматриваются креативные инновационные туристские продукты в Египте, которые на данный момент представлены на региональном рынке услуг, а также проводится их оценка. Автором статьи предлагаются потенциальные креативные идеи, которые могут быть использованы с целью привлечения новых сегментных групп туристов на основе разработанных турпродуктов. Предложенные туристские программы основаны на запросе потребителей в получении положительных, уникальных впечатлений, наиболее креативно-популярных технологиях туризма и тематических туристских программах, позволяющих расширить количество прибывающих в страну гостей, которые хотят окунуться в эстетику определенной эпохи или культуры. Результат исследования показал, что в туристской нише Египта представлены наиболее популярные креативные технологии туризма, но основным направлением все еще остается ряд базовых туристских программ: пляжный отдых и посещение историко-культурных достопримечательностей в виде обычных экскурсий.

Ключевые слова: креативные технологии в туризме, Египет, инновации, анимационные программы, квест-технологии, эколого-ориентированные инновации, типологизация

THE SPECIFICS OF THE USE OF CREATIVE TECHNOLOGIES IN EGYPTIAN TOURISM

Gerges Bola Reda Banub

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: Gerges@sfedu.ru

The article explores the concept of creative technologies in tourism, their development, as well as the direction of trends in the future. The basic concepts of creative technologies of tourist activity are described; creative tourism, innovations in tourism, experience economy. The main segment of consumers of creative tourism and consumer preferences are analyzed. Creative innovative tourism products in Egypt, which are currently represented in the regional service market, are considered, and their evaluation is carried out. The author of the article suggests potential creative ideas that can be used to attract new segment groups of tourists based on the developed tourism products. The proposed tourism programs are based on consumer demand for positive, unique experiences, the most creative and popular tourism technologies and thematic tourism programs that allow increasing the number of arriving guests in the country who want to plunge into the aesthetics of a particular era or culture. The result of the study showed that the most popular creative technologies of tourism are presented in the tourism niche of Egypt, but a number of basic tourism programs still remain the main focus; beach holidays and visits to historical and cultural attractions in the form of regular excursions.

Keywords: creative technologies in tourism, Egypt, innovations, animation programs, quest technologies, eco-oriented innovations, typology

В современном мире организаторы туристских маршрутов, преследуя цель удовлетворения запросов потребителей, стараются следовать современным изменениям и внедрять в процесс различные креативные идеи. Одновременно рынок туристских услуг все более нацеливается на индивидуализацию потребителей, а маркетинг индустрии ориентируется на частное общение с туристом для его привлечения [1], что также расширяет возможный спектр предлагаемых услуг. Подобный индивидуальный подход к туристским услугам подразумевает включение в их содержание технологий, соответствующих современным достижениям научных и научно-практических исследований, как в технических, так и в гуманитарных областях.

Особенно важно отметить, что использование креативных технологий зачастую приводит к формированию качественно новых туристских продуктов и освоению новых направлений. В связи с чем происходит развитие внутреннего и международного туризма на национальном и межрегиональном уровнях. Можно отметить, что креативные технологии в туризме – это не только создание новых туристских маршрутов, но и внедрение инновационных отдельных продуктов, создание уникальных систем маркетинга и менеджмента [2]. Последнее определяется тем, что только в рамках качественно новых подходов к управлению туристскими предприятиями и продвижению турпродукта возможно удержание лидирующих позиций среди «нишевых» конкурентов.

Значимость креативных технологий в туризме влияет на различные сферы жизни и социальные группы. В частности, внедрение технологий имеет следующий положительный эффект:

- повышается экономический уровень страны или региона;
- улучшается жизнь местного населения;
- увеличивается турпоток в страну;
- оптимизируется конкурентоспособность туристских дестинаций [3].

Креативные технологии не подразумевают под собой отвержение способов и услуг, но допускают создание новых (инновационных) продуктов [4]. Они нацелены на устойчивое развитие туристской деятельности посредством их внедрения в туристский процесс.

Вопрос применения креативных технологий в туризме особо актуален для государств и регионов, в которых традиционно туристская отрасль занимает ключевые позиции в формировании валового внутреннего продукта. К подобным странам, в частности, относится Египет, в котором исторически развиваются культурно-познавательный, лечебно-оздоровительный, экологический, этнографический и другие виды туризма. Данное разнообразие реализуемых туристских продуктов дает возможности полноценного внедрения различных креативных технологий.

За основу исследования были взяты выводы и положения профильных исследований ряда российских и зарубежных ученых. Важным вопросом является изучение использования инновационных технологий в туризме как составляющего элемента креативных технологий. В частности, особенно интенсивно инновационная составляющая креативных технологий проявляется в таких туристских услугах, как бронирование, транспортные перевозки, а также маркетинговые стратегии. Существующие исследования в данной области [5], а также изучение опыта применения инновационных технологий в туристской индустрии Египта [6] послужили базой для формирования перспективных направлений внедрения креативных технологий в сферу туризма и гостеприимства исследуемой страны. Также фундаментом для исследования региональных особенностей развития креативных технологий в Египте являются труды, посвященные основным факторам и закономерностям их территориальной дифференциации. Подобное исследование

должно проводиться с позиций выявления пространственных особенностей природного, социально-экономического и культурно-исторического характера. Также представляется важным при исследовании креативных технологий изучить составляющие связанных с данным явлением понятий, встречающихся в современной научной литературе, таких как «смарт-туризм» [7].

Практическая реализация креативных технологий происходит в рамках туристских продуктов и услуг. Вследствие этого представляется рациональным исследование особенностей развития турпродуктов креативной направленности. Выявление внутреннего содержания подобных продуктов и их отличия от традиционных опиралось на ряд профильных исследований [8, 9]. В то же время подобные туристские продукты требуют специфического подхода к продвижению, в частности использования таких современных технологий, как проведение вебинаров и таргетинговой рекламы в социальных сетях. В связи с этим важен учет опыта исследования основных сфер реализации продуктов креативного туризма [10].

Следует отметить, что традиционно в научно-исследовательской практике креативные технологии рассматриваются как составляющее экономики впечатлений. Последняя представляет собой «подход к производству и продвижению товара или услуги, основанный не на удовлетворении конкретной потребности, а на создании положительного впечатления как от производства и продвижения, так и от получения товара или услуги, а также от последующих за этим ощущений, получаемых потребителем товара или услуги» [11]. В частности, экономика впечатлений как составляющая туристской отрасли включает в себя ряд компонентов, которые влияют на формирование креативных технологий. Подобными компонентами являются уровень экономического развития, научных исследований, кадровый потенциал, традиции гостеприимства и инфраструктурная обеспеченность, что уже было исследовано на примере Египта [12].

В целом анализ публикаций по проблематике исследования показал наличие профильных научных трудов как на глобальном, так и на региональном уровнях, однако при этом тематика использования креативных технологий в туризме Египта изучена недостаточно. Исходя из проведен-

ного анализа, можно подчеркнуть актуальность исследования использования креативных технологий в Египте, как феномена, непосредственно определяющего вектор дальнейшего развития международного туризма в стране. Поэтому представляется значимым изучение специфики применения современных креативных технологий в туризме и разработка перспективных направлений и территорий реализации подобных технологий в Египте. С этой целью был проведен анализ видов и содержания креативных технологий в туристской индустрии Египта, их типизация и региональная локализация, на основе которого были предложены перспективные направления использования креативных технологий.

Материалы и методы исследования

Туризм в настоящее время является одним из самых развитых секторов экономики в Египте. Общая тенденция спада прибытия международных туристов, связанная с ограничениями в результате распространения COVID-19, в настоящее время переходит в новую стадию подъема. Дальнейшее восстановление туристской отрасли оптимально проводить по пути развития традиционных дестинаций совместно с формированием новых турпродуктов, в том числе индивидуального характера.

В 2022 г. Египет посетило более 11,7 млн туристов, что на 46,2% больше, чем в 2021 г., что в первую очередь обусловлено открытием границ после пандемии COVID-19. Следует отметить, что на сферу услуг Египта, к которой относится и туризм, в 2021 г. приходилось около половины (48%) ВВП и 47% рабочего населения [13].

Ресурсная база Египта для развития туризма представлена как природными, так и культурно-историческими ресурсами. Сочетание естественных ресурсов отражает многообразие физико-географических составляющих, относящихся к рельефу, климату, гидрографии и другим. Природные территории страны благоприятны для активного развития курортного, лечебно-оздоровительного, спортивного, экологического и других видов туризма. Наличие заповедных территорий также благоприятствует развитию природно-ориентированных видов туризма через уникальность ландшафтов и сочетание природных зон.

Культурно-исторические ресурсы относятся в основном к временам Древнего Египта и притягательны именно своей

исторической уникальностью. К данной категории туристских ресурсов относятся комплекс пирамид с расположенным рядом Сфинксом, гробницы Абу-Симбела, Долина царей и др.

Высокая конкуренция на рынке туристских продуктов требует применения инновационных подходов в туристской деятельности для привлечения туристов и управления спросом. В данном контексте особую роль играет реализация креативных технологий в различных аспектах туристской деятельности.

При этом изучение существующих и перспективных креативных технологий опирается на территориальную дифференциацию туристских ресурсов и реализуемых турпродуктов. В частности, выделяются технологии для культурно-познавательного туризма, курортного, этнографического и природно-ориентированного. Вследствие этого в исследовании применялся метод территориально обоснованного подхода к анализу креативных технологий в туризме, послуживший основой для их типизации.

В процессе исследования и анализа креативных технологий в туризме Египта использовались такие научные методы, как:

- системный подход, в рамках которого понятие креативных технологий в туризме изучалось с концептуальных позиций взаимодействия составляющих элементов (видов туризма);

- описательный метод, примененный при характеристике современных креативных технологий в туристской индустрии Египта;

- сравнительный метод, позволивший выявить региональные различия территории Египта с позиций использования креативных технологий.

Помимо этого был применен типологический подход, на основе которого была проведена классификация существующих и перспективных креативных технологий в туризме Египта. Основные научные понятия и положения, выводы и рекомендации, приведенные в работе, используют основы логического анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Египет традиционно является одним из центров международного туризма благодаря наличию природных, культурно-исторических и других видов туристских ресурсов. Тем не менее, даже несмотря на вы-

сокий уровень развития туризма в стране, перспективы отрасли должны быть связаны именно с развитием креативных технологий. Подобные технологии при рациональном подходе приводят к следующим экономически выигрышным позициям:

- индивидуализация формируемого турпродукта, ведущая к расширению потенциальных клиентских сегментов;
- инновационность предлагаемых услуг, выводящая отрасль на качественно новый уровень развития;
- задействованность в туристской отрасли представителей смежных направлений (путем реализации мастер-классов, анимационных программ, событийных мероприятий и т.д.), позволяющая укрепить межотраслевые экономические связи;
- социальная ориентированность разрабатываемых турпродуктов благодаря предоставлению новых рабочих мест;
- эколого-ориентированная направленность туризма, способствующая формированию комплексных мест экоотдыха с использованием глэмпингов и других подобных туристских инфраструктурных объектов.

Следует отметить, что креативные технологии в туризме Египта должны ориентироваться на имеющийся туристский спрос, поэтому их реализацию представляется рациональным основывать на резуль-

татах маркетинговых исследований рынка основных потребителей турпродукта региона.

Анализ современных креативных технологий в туристской индустрии Египта позволил провести их классификацию и регионализацию (табл. 1).

В Египте одним из самых популярных видов креативных технологий является глэмпинг [3]. Данный вид размещения туристов распространен практически по всей территории Египта. Спрос на глэмпинги определяется желанием туристов в реалиях глобализации и урбанизации осуществить эколого-ориентированный отдых. Особенно глэмпинг распространен в пустынных регионах страны: Сахара (Desert Paradise Lodge, Al Nyhaya, Ghazala в Сиве), Вади-Эль Райан-роуд (Remal el Rayan) и др.

Кроме того, к эколого-ориентированным развлечениям в туризме Египта можно отнести такой вид развлечений, как скейтбординг в песках. Данная услуга предлагается в пустынных территориях.

Туры, сформированные по технологии slow travels, реализуются в Египте с 2010-х гг. Они длятся от одного месяца до трех и в основной своей части реализуются посредством круизного путешествия с остановками в определенных достопримечательностях.

Таблица 1

Виды и содержание креативных технологий в туристской индустрии Египта

Вид креативной технологии в туризме	Содержание креативной технологии	Регион применения
Использование эколого-ориентированных средств размещения и отдыха	Глэмпинг Скейтбординг на песке	Пустыня Сахара, Хургада, Аравийская пустыня
Slow travel	Походы с целью погружения в окружающую среду, культуру и традиции Долгосрочные туры (от месяца)	Луксор, Асван, Нил
VR-технологии	Музеи дополненной реальности Виртуальные экскурсии с использованием VR-очков Возможность развития безбарьерных путешествий для лиц с ограниченными возможностями здоровья	Каир
Динамическое пакетирование	Инструмент продаж, который помогает создать индивидуальные туры для любого туриста, в зависимости от его выбора, подбор туристской услуги в соответствии с пожеланиями потребителя	По всей стране
Расширение возможностей городского туризма	Посещение событийных мероприятий, интересных городских мест	Каир, Асван, Шарм-эш-Шейх, Луксор, Хургада.
Нетрадиционные концепции отелей	Отель «Caves Beach Resort» стилизованный под пещеру	Хургада

В Каире находится студия виртуальной реальности – Egypt VR, в которой предлагается полный список иммерсивных и эмпирических услуг, включая виртуальную реальность, объемные изображения, дополненную реальность, разработку приложений, CG/VFX контент и рефрейминги. Также на рынке VR-технологий в туризме представлен онлайн-портал Megalodon, на котором проводятся путешествия по достопримечательностям Египта.

Создание индивидуальных туров в рамках динамического пакетирования ориентировано на конкретных клиентов. В данном случае формируются и реализуются туры либо по кардинально новым программам, либо с применением инновационно-креативных элементов в рамках существующих программ. Они могут реализовываться в любых регионах страны.

Расширение возможностей городского туризма реализуется по нескольким направлениям. Одно из них – торговое. В Египте значительное количество магазинов с качественной, но недорогой одеждой располагается на рынках и открытых ярмарках, хотя из-за того, что продавцы сами устанавливают цены, стоимость может быть как слишком высокой, так и низкой. Зачастую турист ориентирован не только на одежду, но и на предметы быта, декоративные ковры, сувениры. В Египте существует множество рынков, наиболее популярные из них находятся в Каире (Khan Al Khalili, Sharia Khayamiya), Асване (Aswan Souk), Шарм-эш-Шейхе (Old Market). Как следствие, в настоящее время в Египте предлагают услуги гиды, ориентирующие туристов на места, где продаются наиболее качественные товары.

Набирают популярность отели, стилизованные под разные эпохи, культуры и даже фильмы. В Египте также присутствует похожая тенденция. В Хургаде существует отель, оформленный в стиле пещер. Кроме этого, ряд отелей предлагает туристам погрузиться в атмосферу популярных сериалов.

Дальнейшее применение креативных технологий в туристской индустрии Египта будет определяться наиболее развитыми видами туризма в стране и спецификой обслуживания конкретных сегментов туристов. В частности, согласно Статистическому ежегоднику Египта за 2021 г., большинство туристов совершает поездки с целью пляжного отдыха и экскурсионно-познавательного туризма (рисунок). Поэтому представляется перспективной реализация креативных элементов, связанных с анимационной составляющей туристских программ.

Для привлечения туристов, нацеленных на активный отдых, рационально внедрить такие креативные технологии туризма, как квесты, помогающие погрузиться в культуру и ценности Египта, анимационные экскурсии с привлечением актеров, увеличение тематических отелей и расширение их уникальности. В последнее время квест-технологии активно применяются в туристско-экскурсионных программах и ставят задачей разнообразить их за счет добавления развлекательной, познавательной и образовательной составляющих.

В таком распространенном направлении, как slow travel, представляется перспективной разработка долгосрочных туристских маршрутов. Также возможно создание этнодеревень бедуинов и формирование в них комплексных туристских программ.



Цели поездок туристов в Египет в 2021 г. (составлено автором по [14])

Таблица 2

Перспективные креативные туристские технологии в Египте

Вид креативной технологии в туризме	Содержание креативной технологии	Регион применения
Анимационная программа	Экскурсионные маршруты на тему «Правители Египта» с использованием актеров-любителей, по местам древней египетской цивилизации	По всей стране
Квест «Исследование глубин»	Дайвинг-погружение в море к «Затонувшим кораблям» с целью поиска «сокровищ» в морских глубинах	Красное море
Этнодеревни бедуинов	Проживание в племенах бедуинов, непосредственное знакомство с их культурой, традициями и обычаями	Южный Синай
Походы по пустыне	Туристские походы в пустынной местности с целью самопознания и ухода человека в свой внутренний мир (тематический поход по книге «Алхимик», Пауло Коэльо)	Аравийская пустыня, Синай
Тематические отели	Стилизованные отели в тематике древнего Египта, с внедрением культуры и традиций того времени	Гиза
Квест «Расхитители гробниц»	Квест-экскурсия по территории Долины царей, с целью исследования туристами культуры древних египтян, а также изучения истории Древнего Египта	Долина царей, Луксор

В сфере экологического туризма можно рассматривать разработку экологических троп в пустынных ландшафтах. Здесь также возможно создание маршрутов по следам героев художественных произведений (например, романа «Алхимик» Пауло Коэльо, в котором, в частности, описывается путешествие по пустыне).

Предложенные и представляющиеся перспективными для Египта креативные туристские технологии представлены в табл. 2.

Таким образом, предлагаемые для возможного внедрения креативные технологии можно классифицировать на несколько направлений. В частности, предлагается разработать маршруты с внедрением анимационно-актерского состава, который будет играть сценки, привязанные к тематике древней культуры Египта, знакомством с правителями того времени, такими как Тутанхамон, царица Нефертити и Клеопатра. Также предлагается разработать анимационный маршрут, посвященный древнеегипетской мифологии. В нем предполагается задействовать актеров, которые будут художественно рассказывать о мифах, традициях, обычаях языческой культуры Египта.

Квест «Исследование глубин» предполагает погружение в Красное море, где туристы смогут поближе рассмотреть затонувшие корабли. Креативной идеей является «поиск сокровищ», а найденные объекты туристы смогут забрать с собой как сувениры.

Бедуины в Египте имеют свой уникальный уклад жизни, культуру, этику и т.п. Соз-

дание турмаршрутов в этнодеревнях, как креативная технология, нацелено на знакомство туристов с культурой, традициями и обычаями бедуинов Египта, которые проживают в пустынях.

Походы по пустыне являются тематическим продолжением создания этнодеревень бедуинов. Походные маршруты в пустынях на несколько дней или недель ставят собой цель погружения в таинственную атмосферу единения с самим собой и понимания образа жизни бедуинов. Как уже упоминалось ранее, данный маршрут может быть посвящен, в частности, такому известному произведению, как «Алхимик» Пауло Коэльо, в котором главный герой переходил через пустыню, чтобы найти сокровища.

В мире особенно продвигаются тематические отели. Поэтому предлагается организовать стилизованный отель в тематике Древнего Египта с внедрением архитектурных особенностей и культурой того времени. Данные отели предполагается строить вблизи египетских пирамид для максимально полного погружения в историческую эпоху.

Квест «Расхитители гробниц» подразумевает игровое взаимодействие с культурными достопримечательностями Долины Царей. Туристы могут разгадать тайны египетских гробниц, проходя квест.

Предложенные креативные технологии не исчерпывают собой перечень потенциальных направлений в туристской индустрии Египта. Возможно также примене-

ние подобных элементов в круизной сфере, пляжном отдыхе и др. В целом внедрение креативных элементов в туризм способно вывести данную сферу Египта на более высокий качественный уровень и стать «катализатором» восстановления отрасли в постпандемийный период.

Заключение

Египет традиционно имеет специализированную туристскую направленность. В то же время использование креативных технологий в туризме позволяет привлекать дополнительные туристские потоки путем реализации нетрадиционных турпродуктов.

В стране представлено несколько видов туристских продуктов, которые включают в себя использование креативных технологий или вовсе основаны на новых технологиях (например, Египт VR). Результат исследования показал, что на территории Египта такие креативные технологии, как использование эколого-ориентированных средств размещения и отдыха, slow travel, VR-технологии, динамическое пакетирование, расширение возможностей городского туризма и нетрадиционные концепции отелей.

Анализ потенциала для применения креативных технологий в туристской отрасли Египта позволил выделить ряд перспективных направлений. В частности, к подобным направлениям отнесены интенсификация анимационных программ, внедрение квест-маршрутов, создание тематических эколого-ориентированных программ, строительство этнодеревень и тематических отелей.

Диверсификация используемых креативных технологий в туристской отрасли Египта позволит расширить сегмент въездных туристов за счет разнообразия предлагаемых программ и тем самым вывести международный туризм в стране на более высокий качественный уровень развития.

Список литературы

1. Abdulla S.A.M., Khalifa G.S., Abuelhassan A.E., Nordin B.B., Ghosh A., Bhaumik A. Advancement of destination service quality management technology in tourism industry // *Journal of Critical Reviews*. 2020. Vol. 7. P. 2317–2324. DOI: 10.31838/jcr.07.19.351.
2. Giotis G., Papadionysiou E. The Role of managerial and technological innovations in the tourism industry: A review of the empirical literature // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 5182. DOI: 10.3390/su14095182.
3. Мошняга Е.В. Основные тенденции развития туризма в современном мире // *Вестник РМАТ*. 2013. № 3 (9). С. 20–34.
4. Осокин В.М. Концепция экономики впечатлений в развитии туризма и гостеприимства // *Сервис в России и за рубежом*. 2014. № 3 (50). С. 54–61.
5. Белоусова Н.В. Интеграция инновационных технологий в основные сегменты туристской индустрии // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. 2019. № 4. С. 23–30.
6. Elzek Y.S., Gafaar H.A., Abdelsamie H. Practices of Tourism Innovation in Tourism Industry: The Case Study of Egypt // *Journal of the Faculty of Tourism and Hotels – University of Sadat City*. 2020. Vol. 4. DOI: 10.21608/MFTH.2020.103144.
7. Gretzel U., Reino S., Kopera S., Koo C. Smart tourism challenges // *Journal of Tourism*. 2015. Vol. 16. P. 41–47.
8. Scalabrini E.B., Alves J. Some Examples of Best Practices in Creative Tourism: How Do Entrepreneurs' Fit in the Market and Possible Clusters? // *Creative Tourism and Sustainable Territories*. Emerald Publishing Limited, 2022. Vol. 1. P. 101–129. DOI: 10.1108/978-1-80262-681-020221007.
9. Черевичко Т.В., Темякова Т.В. Креативный туризм и цифровизация общества // *Известия Саратовского ун-та. Сер. Экономика. Управление. Право*. 2022. № 2. С. 145–151.
10. Pantano E., Stylidis D. New technology and tourism industry innovation: evidence from audio-visual patented technologies // *Journal of Hospitality and Tourism Technology*. 2021. Vol. 12. P. 658–671. DOI: 10.1108/JHTT-01-2020-0023.
11. Новичков Н.В. О некоторых аспектах развития туризма как части креативной экономики и экономики впечатлений // *Сервис в России и за рубежом*. 2013. № 8. С. 113–121.
12. Said M.M.T., Umachandran K. e-HRM Application in Tourism and Hospitality in Sinai of Egypt // *The Emerald handbook of ICT in tourism and hospitality*. Emerald Publishing Limited, 2020. P. 453. DOI: 10.1108/978-1-83982-688-720201028.
13. Central Agency for Public Mobilization and Statistics (CAPMAS). ARE Statistical Yearbook. 2021. P. 124.
14. Булганина С.В., Иванова Д.С., Власова А.А. Маркетинговое исследование спроса на туры в Египет // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*. 2019. № 3 (37). С. 134–140.

УДК 911.9

DOI 10.17513/use.38050

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕБОКСАРСКОГО И КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ЧЕБОКСАРСКОГО УЧАСТКА ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ильина А.А., Никонорова И.В., Ильин В.Н., Никитина Е.А.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: nastya67.q@mail.ru, niko-inna@yandex.ru, suvar2009@yandex.ru, elenchyc@mail.ru

С момента заполнения Чебоксарского водохранилища оно эксплуатируется на незапланированной отметке 63 м вместо 68 м НПУ, что создает ряд гидрологических и экологических проблем, в том числе проблему интенсивного цветения сине-зеленых водорослей в летний период. В то же время Волга остается главным источником питьевого водоснабжения крупнейших городов Чувашии – Чебоксар и Новочебоксарска, поэтому к качеству волжской воды предъявляются очень строгие санитарные требования. Коллектив ученых ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» ведет исследования гидрологических и экологических проблем Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ с 1992 г. В работе представлены результаты гидрологических показателей полевого выхода на ключевые участки обоих водохранилищ, изучена степень эвтрофикации Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ на Чебоксарском участке Чебоксарского района Чувашской Республики, а также даны некоторые рекомендации по уменьшению степени эвтрофикации. В частности, внедрение Министерством природных ресурсов и экологии Чувашской Республики новых технологий по очистке сточных вод способствует решению гидрологических и экологических проблем. В последнее время, в условиях оживления круизного туризма, рекреационное значение Волги возрастает, данные исследования приобретают высокую актуальность.

Ключевые слова: река Волга, эвтрофикация, водохранилище, экологические проблемы, мелководья, сбросы сточных вод

Исследование проводилось в рамках внутреннего гранта научных школ Чувашского государственного университета № 16-22 «Устойчивость рек Чувашской Республики к антропогенной нагрузке».

HYDROLOGICAL AND ECOLOGICAL PROBLEMS OF CHEBOKSARY AND KUIBYSHEV RESERVOIRS OF CHEBOKSARY SECTION OF THE CHUVASH REPUBLIC

Irina A.A., Nikonorova I.V., Ilin V.N., Nikitina E.A.

Chuvash State University, Cheboksary,

e-mail: nastya67.q@mail.ru, niko-inna@yandex.ru, suvar2009@yandex.ru, elenchyc@mail.ru

Since the filling of the reservoir, it has been operated at an unplanned level of 63 m instead of 68 m of the normal retaining level, which creates a number of hydrological and environmental problems, including intense blooming of blue-green algae in the summer. At the same time, the Volga River remains the main source of drinking water supply in the largest cities of Chuvashia – Cheboksary and Novocheboksarsk, therefore, very strict sanitary requirements are imposed on the quality of Volga water. The team of scientists of the Chuvash State University named after I.N. Ulyanova has been conducting research on hydrological and environmental problems of Cheboksary and Kuibyshev reservoirs since 1992. The paper presents the results of hydrological indicators of a field trip to key sites of both reservoirs, studied the degree of eutrophication of Cheboksary and Kuibyshev reservoirs in the Cheboksary section of Cheboksary district of the Chuvash Republic, and also gave some recommendations for reducing the degree of eutrophication. In particular, the introduction by the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Chuvash Republic of new technologies for wastewater treatment contributes to solving hydrological and environmental problems. Recently, in the context of the revival of cruise tourism, the recreational importance of the Volga River is increasing, these studies are becoming highly relevant.

Keywords: Volga river, eutrophication, reservoir, environmental problems, shallow waters, wastewater discharges

The study was carried out within the framework of the internal grant of scientific schools of the Chuvash State University No. 16-22 “Resilience of the rivers of the Chuvash Republic to anthropogenic load.”

Чебоксарское водохранилище является пятым водохранилищем в каскаде Волжских водохранилищ. Оно образовано в 1980 г. плотиной Чебоксарской гидроэлектростанции. На данный момент Чебоксарское водохранилище заполнено до промежуточного уровня в 63 м, в то время как по проекту оно должно было быть заполнено до 68 м. Водоохранилище расположено

на территории Республики Марий Эл, Чувашской Республики и Нижегородской области. Площадь составляет 2182 км². Объем составляет 13,85 км³. Протяженность 341 км. Осуществляется сезонное и суточное регулирование стока. Колебания уровня до 3 м. Протяженность правобережной линии в пределах Чувашии составляет 50 км, левобережной – 28 км [1].

Фарватер имеет протяженность 127 км, характеризуется максимальными глубинами до 18–21 м. Водообмен Чебоксарского водохранилища является одним из лучших по этому показателю среди каскада Волжских водохранилищ. Водные ресурсы Чебоксарского водохранилища являются источником питьевого водоснабжения г. Чебоксары и Новочебоксарск, поэтому поддержание качества воды является важным вопросом.

Куйбышевское водохранилище образовалось в результате перекрытия Волги плотиной Волжской гидроэлектростанции в Тольятти в 1955 г. Оно заполнено до проектной отметки в 53 м. Располагается на территории Самарской, Ульяновской областей, Республик Татарстан, Марий Эл и Чувашской Республики. Площадь составляет 5900 км². Объем составляет 56 км³. Протяженность 510 км. Водоохранилище имеет сезонное регулирование расхода. Колебания уровня составляют до 7,5 м, на территории Чувашской Республики этот показатель составляет 4 м. Протяженность правобережной линии в пределах Чувашии составляет 89 км. Попуски воды Чебоксарским гидроузлом, которые носят как сезонный, так и ежедневный характер, несомненно, влияют на Куйбышевское водохранилище, например происходят изменения уровня режима, меняется площадь мелководий и т.д. [2, 3].

Целью исследования является выявление современных гидрологических и экологических проблем Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ Чебоксарского участка Чувашской Республики.

Материалы и методы исследования

Кафедра физической географии и геоморфологии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» совместно с Гидрометеоцентром Чувашской Республики участвует в долгосрочном мониторинге акватории и прибрежной зоны Чебоксарского участка Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ на территории Чувашии. Мониторинг проводится в весенне-летний и осенний навигационные сезоны. Акватория водохранилищ разделена на зону основной чаши и прилегающие к ней зоны. Главная чаша состоит из следующих зон: мелководье, средняя глубина и глубоководная зона [4, с. 33–35].

Глубоководная зона Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ смещена на правый берег и расположена в пределах естественного русла р. Волги. Ширина глу-

боководной зоны Чебоксарского водохранилища составляет 300–1300 м, а максимальная глубина – 20 м. Ширина глубоководной зоны Куйбышевского водохранилища значительно меньше: 100–500 м. Максимальная глубина достигает 18 м.

Глубоководная зона граничит с зоной средних глубин. Ее площадные характеристики намного больше. В Чебоксарском водохранилище ширина зоны средней глубины распределена неравномерно: левая сторона зоны составляет 1700 м, правая – 2000 м. В Куйбышевском водохранилище зона средней глубины расположена несимметрично. Её ширина в 1,5–2 раза меньше ширины аналогичной зоны Чебоксарского водохранилища. Справа от глубоководной зоны она составляет 1000 м, с левой стороны – 700 м. Снижение уровня воды во время работы гидроэлектростанции приводит к тому, что ветровые волны воздействуют на дно водохранилищ. В заполненном состоянии резервуара ветровые волны не взаимодействуют с дном [5].

В пределах Чебоксарского водохранилища зона мелководья занимает большие площади, которые достигают значений в 40%. Это связано с тем, что Чебоксарское водохранилище функционирует на промежуточном уровне. Зона мелководья приурочена к левому берегу исследуемых водоемов.

Незначительная глубина выбранных зон приводит к затруднению водообмена и нагреву воды. В связи с этим зона мелководий характеризуется «цветением воды» летом из-за размножения сине-зеленых водорослей. Процесс «цветения воды» приводит к тому, что дно начинает заиливаться и в некоторых местах достигает 1 м [6, 7]. Процессы развития сине-зеленых водорослей, гибели рыбы и последующего заиливания наблюдаются и в Куйбышевском водохранилище, но масштабы заметно уменьшаются. Глубины здесь колеблются от 4 до 8 м, а площадь мелководья достигает всего 5–6%.

Для более детального анализа состояния акватории приведены результаты полевого выхода на ключевые участки Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ, в ходе которого были взяты пробы воды и измерены показатели кислотности и температуры воды (таблица).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ фактических данных гидрологических измерений показал, что средняя кислотность воды в пробах составляет 8,52.

Максимальное значение характерно для ключевого участка № 1 (поверхность верхнего створа Чебоксарского водохранилища) и составило 8,96.

Минимальное значение составило 7,78 (правый берег Куйбышевского водохранилища). Разница в значениях рН в ключевых зонах объясняется прямой корреляцией между уровнем кислотности и температурой воды.

Средняя температура воды в образцах составила 25,5°C. Максимальные значения

характерны для Чебоксарского водохранилища (27,5°C), минимальные – для Куйбышевского водохранилища (24,5°C). Повышенные температуры для Чебоксарского водохранилища объясняются высокой долей мелководья (рис. 1).

На основе полевых данных и аэрофотоснимков была составлена карта интенсивности степени эвтрофикации Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ Чебоксарского участка Чувашской Республики (рис. 2).

Данные гидрологических измерений Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ

№ ключевого участка	№ пробы	Створы	Дата и время отбора пробы	рН	Температура воды (°С)	Глубина взятия пробы (м)
1	1	Чебоксарское вдхр. в/с поверхность	08.08.2022 г. 15:56	8,96	27,3	0,5
	2	Чебоксарское вдхр. в/с дно	08.08.2022 г. 15:59	8,93	27,5	15
2	3	Чебоксарское вдхр. н/с правый берег поверхность	08.08.2022 г. 10:20	8,54	25,2	0,5
	4	Чебоксарское вдхр. н/с правый берег дно	08.08.2022 г. 10:22	8,49	25,4	10,2
3	5	Чебоксарское вдхр. н/с середина поверхность	08.08.2022 г. 10:27	8,81	25,5	0,5
	6	Чебоксарское вдхр. н/с середина дно	08.08.2022 г. 10:31	8,48	25,0	14,0
4	7	Чебоксарское вдхр. н/с левый берег поверхность	08.08.2022 г. 10:39	8,83	25,5	0,5
	8	Чебоксарское вдхр. н/с левый берег дно	08.08.2022 г. 10:41	8,81	25,7	10
5	9	Куйбышевское вдхр. середина	08.08.2022 г. 12:53	7,82	24,5	0,5
6	10	Куйбышевское вдхр. правый берег	08.08.2022 г. 12:50	7,78	24,5	0,5
7	11	ГЭС в.б.	08.08.2022 г. 11:42	8,79	25,7	0,5
8	12	ГЭС н.б.	08.08.2022 г. 12:25	8,04	25,0	0,5

Примечание: в/с – верхний створ водохранилища, н/с – нижний створ водохранилища, в.б – верхний бьеф водохранилища, н.б. – нижний бьеф водохранилища.



Рис. 1. Сине-зеленые водоросли в пределах Чебоксарского водохранилища

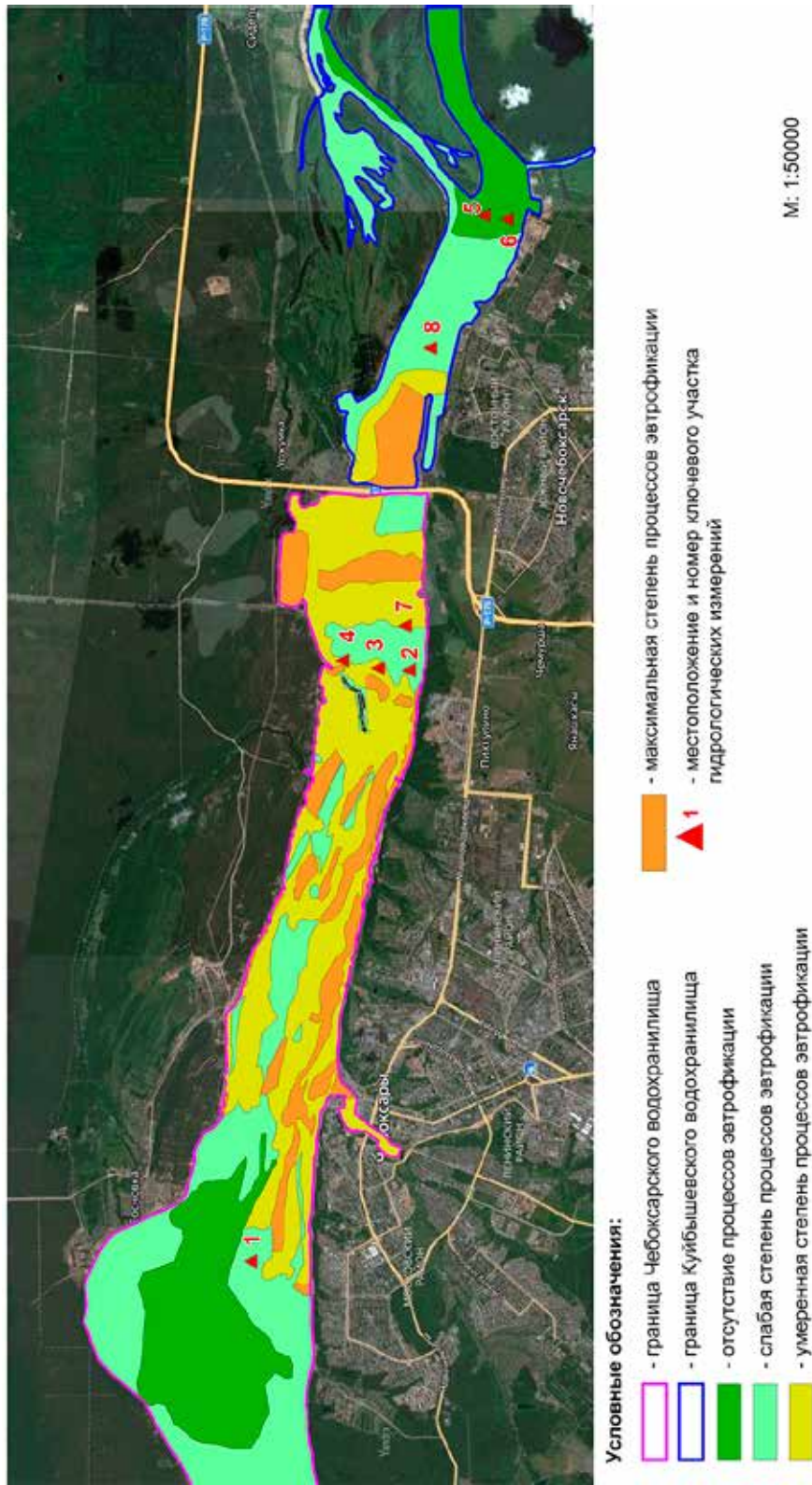


Рис. 2. Степень эвтрофикации Чебоксарского участка Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ

Карта показывает, что зоны максимальной эвтрофикации Чебоксарского водохранилища приурочены к районам с высокой долей площади мелководий и наблюдаются в основном вблизи г. Чебоксары и небольшого залива вблизи Чебоксарской ГЭС. Также можно отметить переходную зону между двумя водохранилищами [8].

Установлено, что на территории Чебоксарского водохранилища в пределах Чебоксарского района Чувашской Республики максимальная степень эвтрофикации составляет 13%, умеренная и слабая степень являются самыми высокими показателями интенсивности цветения воды (рис. 3).

На территории Куйбышевского водохранилища в пределах Чебоксарского района Чувашской Республики интенсивность цветения воды низкая, так как показатели умеренной и низкой степени эвтрофикации достигают наивысших значений, а максимальная степень составляет 10% (рис. 4).

Поскольку Чебоксарское водохранилище не заполнено до проектного уровня в 68 м, площадь мелководья составляет 38%, хотя согласно СНиП допускается 20%.

Мелководье является частой причиной эвтрофикации водоемов. Процессы эвтрофикации создают положительный эффект только вначале, а на заключительных стадиях водоем начинает испытывать неблагоприятные условия, поскольку растворенный в воде кислород идет на окисление мертвого органического вещества [9]. Когда уровень поднимется хотя бы на 2 м, площадь мелководий уменьшится и составит 19%.

С момента реализации мероприятий регионального проекта «Оздоровление Волги» (с 2019 г.) в Чувашии было построено 5 объектов: 1) коллектор хозяйственно-бытовой канализации с очистными сооружениями хозяйственно-бытовых и производственных стоков производительностью 1800 м³/сут. в п.г.т. Вурнары; 2) сооружения очистки дождевых стоков центральной части г. Чебоксары; 3) ливневые очистные сооружения в микрорайоне «Волжский-1,2»; 4) комплекс биологических очистных сооружений в с. Порецкое; 5) проведена реконструкция очистных сооружений АУ ФОЦ «Белые камни» Минспорта Чувашии.

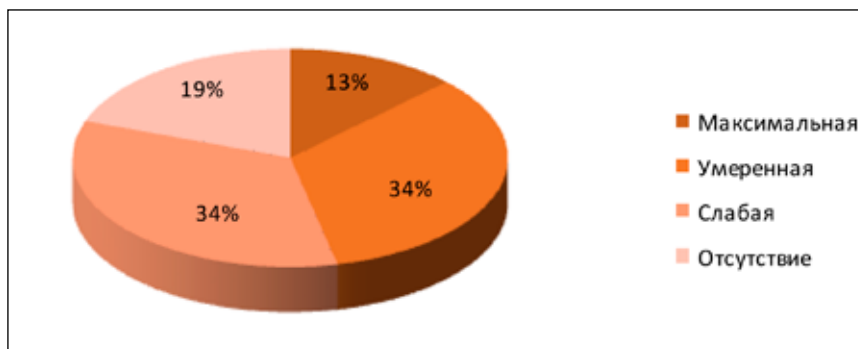


Рис. 3. Интенсивность цветения воды в Чебоксарском водохранилище в пределах Чебоксарского района

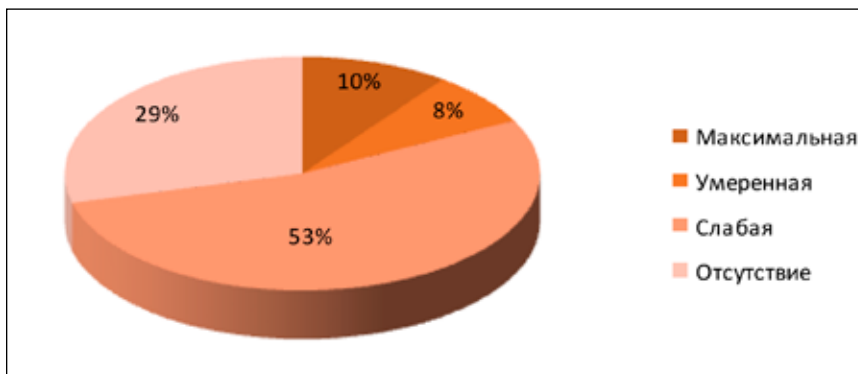


Рис. 4. Интенсивность цветения воды в Куйбышевском водохранилище в пределах Чебоксарского района

В 2023 г. продолжается строительство объекта «Внеплощадочные инженерные сети и сооружения жилого района “Новый город”» в г. Чебоксары. Региональная программа предусматривает переход к применению наилучших технологий очистки сточных вод и обеспечивает снижение объема попадающих в Волгу загрязненных сточных вод [10].

Попуски воды через ГЭС в период половодья способствуют очистке воды. По данным гидрологической сводки Русгидро, к концу весеннего половодья 2023 г., на 10 апреля, через гидроузел было пропущено 10300 м³ воды, включая 2920 м³, прошедших через основное русло Волги, а 7380 м³ воды – через боковую приточность [11]. Данные показатели соответствуют средним многолетним значениям.

Заключение

Река Волга является не только источником питьевого водоснабжения Чебоксар и Новочебоксарска, но и объектом круизного туризма «Великий Волжский путь». Поскольку Чебоксарское водохранилище заполнено только до промежуточной отметки в 63 м, а не до проектного уровня в 68 м, возникает ряд проблем. Например, площадь мелководий в некоторых районах достигает 38%, и это значительно превышает санитарную норму, которая составляет всего 20%. Решения по данному вопросу до сих пор нет, так как повышение уровня Чебоксарского водохранилища может спровоцировать ряд других негативных процессов, таких как увеличение площади затопляемых территорий. В Куйбышевском водохранилище ситуация более благоприятная, поскольку оно заполнено до проектного уровня, что не создает негативных последствий, а площадь мелководий не превышает допустимых норм.

Масштабы эвтрофикации можно сократить двумя способами: во-первых, уменьшить площадь мелководий, а во-вторых, усовершенствовать технологии по очистке сбросов сточных вод. Уменьшение мелководий возможно при поднятии нормального подпорного уровня Чебоксарской ГЭС, но данные вопросы могут быть решены только на федеральном уровне. Реализуя национальный проект «Экология», Министерство природных ресурсов и экологии

Чувашской Республики внедряет новые технологии очистки сточных вод, которые обеспечивают снижение объема попадающих в Волгу загрязненных сточных вод.

Список литературы

1. Чебоксарское водохранилище. Чувашская энциклопедия // Чувашский государственный институт гуманитарных наук, Чувашское книжное издательство, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://enc.cap.ru/?t=publ&lnk=112> (дата обращения: 05.04.2023).
2. Куйбышевское водохранилище. Чувашская энциклопедия / Чувашский государственный институт гуманитарных наук, Чувашское книжное издательство, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.enc.cap.ru/?t=publ&hry=156&lnk=113> (дата обращения: 05.04.2023).
3. Рахуба А.В., Турутина Т.В., Шмакова М.В. Донные отложения приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища (по данным экспедиционных исследований 2020 г.) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 3 (58). С. 107–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-3-107-115.
4. Никонорова И.В., Арчиков Е.И. Геолого-географические особенности формирования Чувашского участка Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ. Чебоксары: Издательство Чувашского университета, 2000. 104 с.
5. Назаров Н.Н., Никонорова И.В., Филиппов О.В., Фролова И.В. Крупные аккумулятивные образования береговых зон водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы. 2015. № 6. С. 199–207.
6. Terezinha Ferreira de Oliveira, Isabel Leidianny de Sousa Brandão, Chris M.Mannaerts, Rachel Ann Hauser-Davis, Antonio Augusto Ferreira de Oliveira, Augusto Cesar Fonseca Saraiva, Michele Araujo de Oliveira, Junior Hiroyuki Ishihara Using hydrodynamic and water quality variables to assess eutrophication in a tropical hydroelectric reservoir // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 256. P. 109932. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109932.
7. Qing Zhan, Sven Teurlinx, Frankvan Herpen, Nandini Vasantha Raman, Miquel Lüring, Guido Waajen, Lisette N.de Senerpont Domis Towards climate-robust water quality management: Testing the efficacy of different eutrophication control measures during a heatwave in an urban canal // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 828. P. 154421. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154421.
8. Carolina Acuña-Alonso, Xana Álvarez, Enrique Valero, Fernando António Leal Pacheco Modelling of threats that affect Cyano-HABs in an eutrophicated reservoir: First phase towards water security and environmental governance in watersheds // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 809. P. 152155. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152155.
9. Xiaoyu Zhang, Jian Zhao, Lin Ding, Yuan Li, Hai Xia Liu, Yan Fang Zhao, Guo Fu 2022 Eutrophication evolution trajectory influenced by human activities and climate in the shallow Lake Gehu, China // Ecological Indicators. 2022. Vol. 138. P. 108821. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108821.
10. О ходе реализации регионального проекта «Оздоровление Волги» // Министерство природных ресурсов и экологии Чувашской Республики. [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.cap.ru/news/2021/07/21/o-hode-realizacii-regionaljnogo-proekta-ozdorovlen> (дата обращения: 10.04.2023).
11. Данные гидрологической сводки Чебоксарской ГЭС Русгидро // Изменения уровней водохранилищ ГЭС Русгидро. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/?date=2023-04-10> (дата обращения: 12.04.2023).

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Климова Д.Н., Андреева Е.С.

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: espmeteo@yandex.ru*

Взвешенные вещества представляют собой группу загрязнителей воздуха различной крупности и свойств с выраженным негативным воздействием на респираторную и сердечно-сосудистую системы человека. Имеют сложный состав, в котором присутствуют органические и неорганические вещества, включая дисперсные частицы, а также возбудители аллергии и плесневые культуры. Основная опасность взвешенных частиц обуславливается не составом, в который могут входить различные химические соединения, а очень малым диаметром – от 0,1 мкм до 10 мкм, что позволяет им проникать в легкие и кровеносную систему. При вдыхании каждый день порядка 30–60 мг пыли и взвешенных веществ могут обостряться аллергические реакции; частицы менее 10 мкм способны проникать глубоко в легкие, а вещества менее 2,5 мкм беспрепятственно попадают из легких в кровеносную систему. В районах с высокой концентрацией взвешенных частиц растет распространенность бронхолегочных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. В связи с этим крайне важным становится определение точного количества и состава пыли в атмосферном воздухе, что подчеркивает необходимость оптимизации существующих сетей мониторинга. Отсюда целью данного исследования является оптимизация системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах Ростова-на-Дону для обеспечения достаточного уровня экологической безопасности населения. В результате реализации цели исследования произведена оптимизация сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и обосновано добавление семи дополнительных стационарных станций. Расчет канцерогенного риска здоровью населения позволил выявить чрезвычайно высокий (недопустимый) уровень опасности в отношении бенз(а)пирена. Опасный уровень неканцерогенного риска установлен для оксида углерода. Районирование по степени загрязнения городского воздуха взвешенными веществами, включая взвешенные частицы, позволило выделить три района с рядом секторов. Как представляется авторам, проведенная оптимизация системы управления качеством воздуха города позволит существенно повысить уровень экологической безопасности населения в ближайшем будущем.

Ключевые слова: атмосфера, мониторинг, индекс загрязнения атмосферы, предельно допустимая концентрация, класс опасности загрязняющего вещества

OPTIMIZATION OF THE MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF LARGE CITIES

Klimova D.N., Andreeva E.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: espmeteo@yandex.ru

Suspended substances are a group of air pollutants of various sizes and properties with a pronounced negative impact on the human respiratory and cardiovascular systems. They have a complex composition in which organic and inorganic substances are present, including dispersed particles, as well as allergy pathogens and mold cultures. The main danger of suspended particles is not due to the composition, which can include various chemical compounds, but to a very small diameter – from 0.1 microns to 10 microns, which allows them to penetrate into the lungs and circulatory system. When inhaled every day, about 30–60 mg of dust and suspended solids, the population may exacerbate allergic reactions; particles less than 10 microns are able to penetrate deep into the lungs, and substances less than 2.5 microns freely enter the circulatory system from the lungs. In areas with a high concentration of suspended particles, the prevalence of bronchopulmonary, cardiovascular and oncological diseases is increasing. In this regard, it becomes extremely important to determine the exact amount and composition of dust in the atmospheric air, which highlights the need to optimize existing monitoring networks. Hence, the purpose of this study is to optimize the system of atmospheric air quality management within Rostov-on-Don to ensure a sufficient level of environmental safety of the population. As a result of the goal of the study, the air pollution monitoring network was optimized and the addition of 7 additional stationary stations was justified. The calculation of the carcinogenic risk to public health made it possible to identify an extremely high (unacceptable) level of danger in relation to benzo(a)pyrene. A dangerous level of non-carcinogenic risk has been established for carbon monoxide. Zoning according to the degree of pollution of urban air with suspended solids, including suspended particles, made it possible to identify 3 districts with a number of sectors. It seems to the authors that the optimization of the city's air quality management system will significantly increase the level of environmental safety of the population in the near future.

Keywords: atmosphere, monitoring, air pollution index, maximum permissible concentration, hazard class of the pollutant

Урбанизация, как объективный процесс, обусловленный социально-экономическими причинами, сопряжена с развитием экономики регионов, созданием более безопасных и здоровых условий жизни для на-

селения. В этом смысле указанный процесс несет с собой не только положительные, но и отрицательные изменения, поскольку наиболее существенный вклад в уровень загрязнения приземного слоя воздуха вносят

промышленные районы крупных городов и урбанизированных зон [1–3].

Как известно, на территории Российской Федерации мониторингу загрязнения воздуха в пределах крупных городов и урбанизированных зон уделялось большое внимание. Так, необходимые методические разработки документов и оборудования для проведения мониторинга состояния атмосферного воздуха появились еще в 1970-х гг. Однако в тот период времени эколого-социальная роль взвешенных веществ, включая взвешенные частицы PM_{2,5} и PM₁₀, еще не была ясна, в связи с чем отдельных наблюдений за указанными частицами не было предусмотрено. В настоящее время по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Международного агентства изучения рака (МАИР) взвешенные частицы разной крупности (PM_{2,5} и PM₁₀) не только активно участвуют во всех физических процессах, протекающих в нижнем слое атмосферы, активно воздействуя на климатическую систему Земли, но и ухудшают качество воздуха, повышая главным образом канцерогенные риски здоровью населения. Так, по данным периодических бюллетеней МАИР взвешенные вещества, включая взвешенные частицы, уже в 2016 г. были признаны канцерогенными, доказана их роль в росте частот онкогенных заболеваний органов дыхания и мочевыделительной системы. Важно отметить, что на взвешенных частицах в связи с различной крупностью могут присутствовать включения из микрокомпонентов выбрасываемых токсичных веществ, как первичных, так и вторичных, уже содержащихся в воздухе ранее. В ряде государств с начала XXI в. в этой связи стали создаваться сети мониторинга взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀. В пределах Российской Федерации подобной сети мониторинга частиц PM_{2,5} и PM₁₀ до настоящего времени не имеется, однако несколько специализированных постов расположены в пределах Европейской части страны и Восточной Сибири.

Отсюда, как представляется авторам, наиболее актуальной проблемой для Российской Федерации в данный момент является создание расширенной сети мониторинга взвешенных веществ, включая взвешенные частицы различной крупности (PM_{2,5} и PM₁₀), которая должна входить в состав единой системы государственного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Получение объемной информации о составе и концентрации основных загряз-

няющих воздух урбанизированных сред и городов, являясь наиболее важной составляющей системы управления качеством атмосферного воздуха, позволит выявлять территории с высоким уровнем экологического риска, а разработка эффективных мероприятий по снижению уровня установленной опасности позволит оптимизировать указанную выше систему, обеспечивая экологическую безопасность населения.

Таким образом, целью данного исследования является оптимизация системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах Ростова-на-Дону для обеспечения достаточного уровня экологической безопасности населения.

Основными задачами при этом являются следующие:

- изучение и оптимизация существующей системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха;
- осуществление количественных оценок канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением городского воздуха;
- районирование территории города с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха.

Материалы и методы исследования

Для реализации цели были использованы материалы Ежегодников Федерального государственного бюджетного учреждения Главная геофизическая обсерватория им А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО») за 2016–2021 гг. [4]. В числе использованных методов были литературно-исторический анализ научных источников, математико-статистические и графо-аналитические методы осмысления информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Взвешенные вещества, представляющие собой смесь твердых частиц различного диаметра, включая частицы диаметрами 2,5 мкм (PM_{2,5}) и 10 мкм (PM₁₀), находящихся во взвешенном состоянии, поступают в нижний слой воздуха практически повсеместно, так как связаны с различными причинами, как антропогенными (выбросы промышленного производства и пр.), так и природными (пыльные бури, извержения вулканов, обвалы и оползни в горных районах) [5–8].

В настоящее время в ряде государств национальные правительства осуществляют общенациональный мониторинг загрязнения воздуха, устанавливают национальные стандарты качества окружающего воздуха и стандарты выбросов от различных источников. В частности, разработка и ввод в действие национального плана действий Китая по предотвращению и контролю загрязнения воздуха (2013–2017 гг.) привели к снижению уровня $PM_{2,5}$ на 40% в некоторых его регионах. Кроме того, многие страны подписали региональные соглашения, такие как, например, Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, для решения проблемы загрязнения воздуха в результате переноса загрязнений на большие расстояния. В Российской Федерации вопросам мониторинга загрязнения воздуха всегда уделялось и уделяется большое внимание.

Как представляется авторам, именно в пределах городов, как крупных населенных пунктов с числом жителей более 100 тыс. чел., необходимо совершенствовать систему управления качеством воздуха. В частности, в настоящее время такая система должна включать по крайней мере следующие три аспекта:

– непосредственный мониторинг качества воздуха для измерения и характеристики текущих уровней загрязнения воздуха и его динамики для решения ряда последующих задач;

– количественные определения канцерогенных и неканцерогенных рисков здоро-

вья населения как результатов повышений уровня загрязнения воздуха;

– районирование территории города (населенного пункта) с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки интенсивности выбросов и источников выделения загрязняющих веществ для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха.

В этой связи реализация такой трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах крупных городов и населенных пунктов может позволить существенно снизить темп стремительного ухудшения его качества в начале XXI в.

Мониторинг уровня загрязнения воздуха, как первый и основной пункт указанной выше системы управления качеством воздуха, позволяет решать несколько ключевых задач: накопление данных инструментальных наблюдений с созданием специальной базы данных, а также прогнозирование уровня загрязнения воздушного слоя на некоторую перспективу на основе разработанных математических моделей с включенных в них эмпирических параметров.

Так, в пределах территории Ростова-на-Дону, на примере которого удобно рассмотреть принципы совершенствования системы управления качеством атмосферного воздуха как одного из городов-миллионеров юга России, на 2022 г. имеются семь стационарных станций мониторинга, таких как городские («фоновые») – 2, 55, 21; промышленные – 44, 52; автотранспортные станции – 29, 51 (рис. 1).

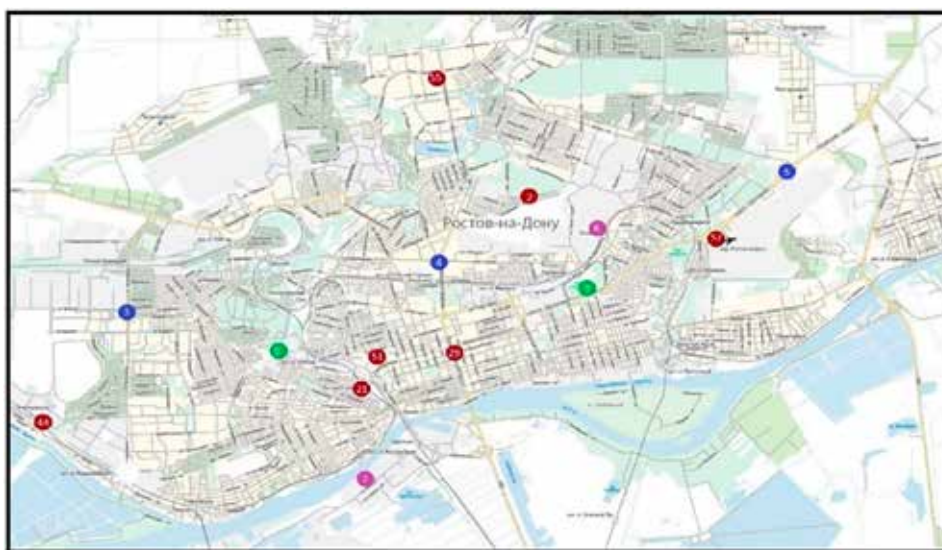


Рис. 1. Предлагаемое расположение стационарных станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в пределах г. Ростова-на-Дону

По-видимому, представленная выше сеть мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха не является достаточной для города-миллионера с постоянно растущим числом жителей и городских микрорайонов. Кроме того, существенным недостатком указанной выше сети является и тот факт, что взвешенные вещества входят в перечень контролируемых примесей, взвешенные частицы PM_{2,5} и PM₁₀ в данном перечне отсутствуют. Поэтому, по мнению авторов исследования, в настоящее время рекомендуется добавить к существующим семи стационарным станциям еще как минимум семь станций мониторинга взвешенных частиц, которые необходимо разместить:

- вблизи крупных транспортных магистралей с автомобильными заторами и интенсивным движением (3 станции: 3, 4, 5);
- вблизи промышленных зон в пределах городской среды (2 станции: 6, 7);
- внутри парковых зон (2 фоновые станции: 8 и 9) (рис. 1).

Поскольку в настоящее время на территории Ростова-на-Дону нет станций и постов, осуществляющих наблюдения за концентрацией взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀, в составе которых могут присутствовать различные загрязняющие вещества, токсичные и канцерогенные, для осуществления оценок уровня экологического риска приземного слоя воздуха в пределах города были использованы данные непосредственных наблюдений за наиболее опасными для здоровья населения веществами [9]. Так, на втором этапе предложенной трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха была произведена количественная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения как результатов повышения уровня загрязнения воздуха на основе методического документа Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке

риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утверждено главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [10].

В частности, канцерогенный риск (*CR*) в течение жизни определялся по формуле

$$CR = ADD \cdot SF, \quad (1)$$

где *SF* – фактор канцерогенного потенциала, (мг/(кг · сутки))⁻¹;

ADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг · день);

$$ADD = [C \times cr \times ED \times EF] / [BW \times AT \times 365], \quad (2)$$

где *LADD* – среднесуточная доза поступления вещества в течение жизни, мг/кг · день,

C_i – концентрация вещества, мг/м³,

cr – скорость поступления среды (воздух), м³/день,

ED – продолжительность воздействия, годы,

EF – частота воздействия, дней/год,

BW – масса тела человека, кг,

AT – период усредненной экспозиции.

Результаты оценки канцерогенного риска по основным веществам, превышающим значения среднесуточных и максимальных разовых ПДК в течение 2015–2022 гг. в пределах Ростова-на-Дону, приведены в табл. 1.

Применяя известную интерпретацию полученных результатов, изложенную в документе [10], можно видеть, что уровень канцерогенного риска здоровью, обусловленный содержанием бензапирена является чрезвычайно опасным, недопустимым (табл. 1), что, конечно, требует разработки соответствующих мероприятий по его снижению [11–13].

В табл. 2 приведены результаты оценки неканцерогенного риска здоровью для веществ, превышающих значения среднесуточных и максимальных разовых ПДК в пределах г. Ростова-на-Дону за 2015–2022 гг. (табл. 2).

Таблица 1

Результаты оценки канцерогенного риска здоровью населения г. Ростова-на-Дону для приоритетных веществ по материалам отчетов Росгидромета за 2015–2022 гг. [4]

Вещество	<i>C_i</i> , мг/м ³	<i>Add</i> , мг/(кг · день)	<i>Sf_i</i> , (мг/(кг · сутки)) ⁻¹	<i>Cr</i>	Уровень опасности
Бензапирен	1,7	0,496	7,3	3,6176	Чрезвычайно опасный, недопустимый риск
Формальдегид	0,013	0,004	0,046	0,0002	Риск, вызывающий беспокойство
Сажа	0,087	0,025	0,0156	0,0004	Риск, вызывающий беспокойство

Таблица 2

Результаты оценки неканцерогенного риска здоровью населения г. Ростова-на-Дону по материалам отчетов Росгидромета за 2015–2022 гг. [4]

Вещество	C_i , мг/м ³	Rfc , мг/м ³	Hq	Уровень опасности
Оксид углерода	1,9	3,0	5,7	Опасный риск
Диоксид азота	0,048	0,04	0,00192	Допустимый, не вызывающий беспокойства
Взвешенные вещества	0,238	0,3	0,07140	Допустимый, не вызывающий беспокойства

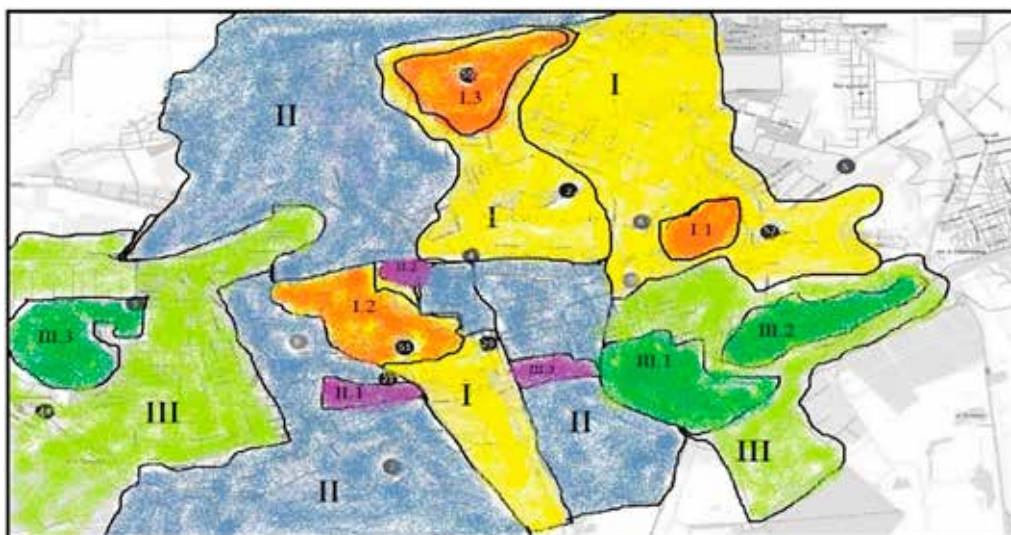


Рис. 2. Предлагаемое районирование г. Ростова-на-Дону

Неканцерогенный риск количественно оценивался на основе расчета коэффициента опасности (HQ) по формуле

$$HQ = C_i / RfC, \quad (3)$$

где C_i – средняя концентрация (для воздушной среды – мг/м³);

RfC – референтная (безопасная) концентрация (для воздушной среды – мг/м³).

В соответствии с документом [10], в результате расчетов неканцерогенного риска здоровью был выявлен опасный уровень неканцерогенного риска здоровью в отношении выявленного в приземном слое воздуха оксида углерода (табл. 2).

На третьем этапе реализации трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха проводилось районирование территории г. Ростова-на-Дону с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки интенсивности выбросов и источников выделения загрязняющих веществ для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха по аналогии с произведенным ранее

в работах П.В. Климова и др. [1]. Как представляется авторам данного исследования, в основу районирования по критериям качества атмосферного воздуха целесообразно включить следующие параметры:

– для выделения более крупных секторов (районов) следует руководствоваться концентрациями канцерогенных веществ и уровнем канцерогенного риска, включая неканцерогенный;

– для выделения участков секторов (подрайонов) целесообразно учитывать число жителей.

В соответствии с вышеизложенным, в пределах городской территории Ростова-на-Дону удалось выделить следующие районы (рис. 2):

I – с *высоким уровнем* экологической опасности, характеризуемой наибольшей концентрацией взвешенных веществ и уровнями рисков: Первомайский, Ворошиловский, Ленинский районы г. Ростова-на-Дону.

II – со *средним уровнем* экологической опасности: Октябрьский, Кировский, Железнодорожный районы.

III – с *низким уровнем* экологической опасности: Советский и Пролетарский районы.

Внутри районов также были выделены следующие сектора (подрайоны) в соответствии с числом жителей (по приоритетности):

– район I: сектора I.1 – 2-й квартал Орджоникидзе, I.2 – Новое Поселение, I.3 – Северный;

– район II: сектора II.1 – Красный Город-Сад, II.2 – Рабочий городок, II.3 – Богатыновка;

– район III: сектора III.1 – Нахичевань, III.2 – Александровка, III.3 – Левенцовский.

Как представляется, проведенное районирование целесообразно для разработки ряда мероприятий по улучшению качества воздуха непосредственно в районе I и его секторах I.1, I.2, I.3. Из всего перечня имеющихся в настоящее время мер повышения качества приземного слоя воздуха наибольшей эффективностью, особенно для снижения концентрации содержащихся в воздухе взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀, отличаются зеленые насаждения, включая городские леса и лесопарки. Однако при изучении карты города и нормативных документов Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области было отмечено, что в пределах района I зеленые парковые насаждения либо практически отсутствуют, либо наблюдаются в недостаточном количестве; реальная площадь зеленых насаждений города, включая городские леса и лесопарки, составляет около 3,84–4 тыс. га. Хотя в соответствии со «СП. 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» площадь озелененных территорий общего пользования, включая городские леса и лесопарки, в Ростове-на-Дону должна составлять не менее 5 тыс. га. В связи с чем выполненное районирование может быть полезным при проведении работ по благоустройству города, включая санацию имеющихся и создание новых городских лесов, включая лесопарковые зоны. Кроме создания внутренних зеленых зон, как представляется, необходимым является санация и создание новых лесных полос вокруг Ростова-на-Дону, чтобы снизить вероятность воздействия на территорию города пылевых частиц, развеивающихся в результате пылевых бурь и суховеев, образующихся в Ростовской области и прилегающих к ней территорий [14, 15].

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования изучена и оптимизирована существующая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха; осуществлена количественная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением городского воздуха; проведено районирование территории города с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с выявленными уровнями экологической опасности. Расчет рисков здоровью человека по таким веществам, как бензапирен, диоксид азота, оксид углерода, формальдегид, взвешенные вещества (пыль), сажа, показал, что по четырем веществам из шести изученных риски превышают допустимую норму, в некоторых случаях представляют большую опасность, как, например, в отношении бензапирена. Существующая сеть мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха требует модернизации. Как представляется, предложенные дополнения к уже существующей сети позволят получить более полную картину движения и концентрации взвешенных частиц, что представляет теоретическую и практическую ценность для дальнейших исследований, в том числе не только медицинского характера.

Список литературы

1. Андреева Е.С., Климов П.В., Штенске К.С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения города Ростова-на-Дону // *Geography and Natural Resources*. 2021. Vol. 42, Is. 1. P. 32–36.
2. Andreeva E.S., Lipovitskaya I.N., Lazareva E.O., Zharkova M.G., Andreev S.S. Ensuring the environmental safety of large cities based on an innovative approach to predicting atmospheric air pollution // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852. 012007.
3. Андреева Е.С., Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н. Применение метода «дерева принятия решений» для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург // *Вестник Московского государственного университета*. Серия 5. География. 2019. № 2. С. 55–60.
4. Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015–2022 гг. // Главная геофизическая обсерватория им А.И. Воейкова [Электронный ресурс]. URL: http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=40:perechen-materialov-izdannyykh-ggo&catid=41&Itemid=24&lang=ru (дата обращения: 10.04.2023).
5. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Абдурашулова Н.А., Абуллаева М.С. О температурных эффектах пыльной мглы // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. 2020. Т. 53. № 6. С. 455–460.
6. Назаров Б.И., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. Оптические и микрофизические параметры аридного пылевого аэрозоля // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2010. Т. 46. № 4. С. 505–511.

7. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Изменение оптических параметров сильно запыленного воздуха в условиях аридной зоны // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2007. Т. 50, № 7. С. 598–606.
8. Орловский Н.С., Орловская Л.Н., Индугу Р. Опасные и особо опасные пыльные бури в Средней Азии // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 4 (57). С. 49–58.
9. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году / По ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. А.П. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2022. 239 с.
10. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических факторов, загрязняющих окружающую среду (Р. 2.1.10.1920-04). М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.
11. Булыгин Ю.И., Романов В.А., Панченко О.С., Денисов О.В. Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств // Вестник Донского государственного технического университета. 2013. Т. 13, № 7/8 (75). С. 49–57.
12. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Легконогих А.Н., Гайденко А.Л. Математическое и компьютерное моделирование формирования параметров производственной среды в целях проектирования и оптимизации систем вентиляции помещений // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14, № 2 (77). С. 46–55.
13. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Маслов Е.И., Корончик Д.А., Тирацунян Л.Л. Модель массопереноса тяжелых примесей в вентилируемых помещениях участков обкатки и определение опасных зон загазованности по канцерогенам // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10, № 4 (47). С. 534–544.
14. De Wit A., Roerink G., Bartalev S., Virchenko O., Plotnikov D., Savin I., Kleschenko A. A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields // Open Data Journal for Agricultural Research. 2018. Т. 4. P. 22–27.
15. Клещенко А.Д., Долгий-Трач В.А. Агрометеорологический мониторинг – стратегия развития // Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С. 96–105.

УДК 550.4

DOI 10.17513/use.38052

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ВЕРХОВОГО ТОРФА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ КРИОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Кузнецова И.А.

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: kia.iepn@gmail.com

Арктическая и приарктическая зоны Северного полушария являются поглотителем загрязняющих веществ импактных и трансграничных источников. В приарктической зоне северо-запада России распространены подзолистые почвы и верховые болота, являющиеся конечными местами депонирования загрязняющих веществ – тяжелых металлов. В условиях хорошей изученности сорбционных свойств почв отмечается недостаток информации о перераспределении тяжелых металлов в почве под действием внешних факторов окружающей среды. Почвы арктических и приарктических территорий подвержены циклическому криогенному воздействию, влияние которого на их сорбционные свойства изучено недостаточно. В настоящем исследовании на примере подзолистой почвы и верхового торфа Архангельской области (Россия) показано изменение сорбционных свойств почв при криогенном воздействии. Установлено, что при сорбции ионов свинца горизонтами подзолистой почвы и торфом реализуется диссоциативный механизм адсорбции. Циклическое криогенное воздействие оказывает наибольшее влияние на вариативность показателя предельной адсорбции горизонтов почв с преобладающей минеральной составляющей. При этом абсолютное значение предельной адсорбции для иллювиально-железистого горизонта превышает таковое для органогенных почв при двух и трех циклах заморозки и может быть связано с особым строением органического вещества. При десорбции в условиях циклического криогенного воздействия отмечается наибольшая устойчивость богатых органическим веществом почв, что в связи с большим вкладом комплексообразования и ионного обмена в механизмы связывания свинца и лучшей устойчивостью почвенных органических почвенных коллоидов по сравнению с неорганическими гелями.

Ключевые слова: сорбция, подзолистая почва, торф, свинец, криогенез

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00552 «Исследование роли криогенеза при формировании состава и физико-химических свойств почв северной тайги на примере почв Онежского района Архангельской области».

SORPTION PROPERTIES OF PODZOLIC SOIL AND UPLAND PEAT UNDER CYCLIC CRYOGENIC IMPACT

Kuznetsova I.A.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, e-mail: kia.iepn@gmail.com

The Arctic and subarctic regions of the Northern Hemisphere act as a sink for pollutants from impact and transboundary sources. In the northwestern subarctic region of Russia, podzolic soils and upland bogs are widespread, serving as final depositional sites for pollutants, including heavy metals. While the sorption properties of soils are well-studied, there is a lack of information on the redistribution of heavy metals in the soil under the influence of environmental factors. Soils in arctic and subarctic territories are subjected to cyclic cryogenic impact, but their sorption properties under such conditions have not been adequately studied. In this study, changes in the sorption properties of podzolic soil and upland peat from the Arkhangelsk region of Russia were examined under cyclic cryogenic impact. It was found that a dissociative adsorption mechanism is activated during the sorption of lead ions by the podzolic soil horizons and peat. Cyclic cryogenic impact has the greatest effect on the variability of the maximum adsorption capacity of soil horizons with a predominantly mineral composition. The absolute value of the maximum adsorption capacity for the illuvial-iron horizon exceeds that of organic soils after 2 and 3 freeze-thaw cycles and may be related to the unique structure of organic matter. During desorption under cyclic cryogenic impact, organic soils exhibit the greatest stability, which can be explained by the predominance of complexation and ion exchange mechanisms during the binding of lead and the greater stability of organic soil colloids compared to inorganic gels.

Keywords: sorption, podzolic soil, peat, lead, cryogenesis

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 18-35-00552 “Investigation of the role of cryogenesis in the formation of the composition and physicochemical properties of soils in the northern taiga using the soils of the Onega district of the Arkhangelsk region as an example.”

Арктическая и приарктическая зоны являются поглотителем основных загрязняющих веществ в Северном полушарии, что делает их приоритетным местом для изуче-

ния миграции тяжелых металлов в объектах окружающей среды [1].

Одна из важных задач в вопросе загрязнения окружающей среды тяжелыми метал-

лами – это углубление текущего понимания их биогеохимического поведения в окружающей среде [2]. Б. Жанг [3] указывает на актуальную проблему установления взаимосвязи между пространственным распределением тяжелых металлов и факторами окружающей среды. Свинец среди тяжелых металлов долгое время находился на первом месте по объему антропогенного поступления в окружающую среду, исследователями отмечается его присутствие и накопление в отдаленных районах планеты [1], в связи с чем вызывает интерес направление миграции свинца в почвах разного типа.

Доступные сведения о процессах, протекающих в мерзлых почвах и породах, отражают в основном физическое преобразование минеральной составляющей почв и пород [4–6]. Несмотря на то, что было установлено влияние криогенеза на гранулометрический состав почв [6], их сорбционную способность [7], а также на седиментационную устойчивость металл-содержащих коллоидов природных водах [8], исследования не затрагивают вопрос изменения физико-химических свойств почвы, непосредственно связанных с ее сорбционной способностью. В приарктической зоне северо-запада России распространены подзолы, подзолистые почвы и верховые болота [9]. Почвы приарктической зоны подвержены циклическому криогенному воздействию и могут выступать моделями для изучения влияния криогенеза на их строение и свойства.

Цель исследования – уточнение механизма адсорбции ионов свинца компонентами подзолистой почвы и торфа при циклическом криогенном воздействии.

Материалы и методы исследования

Отбор проб типичных подзолистой почвы и верхового торфа Онежского района Архангельской области был произведен в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 неподалеку от юго-восточной границы озера Радница Онежского района (63°50,114' С.Ш. 38°25,003' В.Д. – 63°50,338' С.Ш. 38°24,948' В.Д.), под пологом сосново-елового леса. Подробная характеристика места отбора и почвенных профилей представлена в статье [10].

Сорбционные свойства почвы и термодинамические показатели процесса (по уравнению Ленгмюра) были определены в статических условиях. Навески торфа и почвы заливали дистиллированной водой и после полного набухания образцов добавляли растворы свинца заданной concentra-

ции и выдерживали 12 ч. Затем суспензию отфильтровывали и определяли содержание свинца.

Исследование влияния числа циклов криогенного воздействия на сорбционную способность почвы и торфа проводили аналогично. После добавления раствора соли свинца пробирки встряхивали и помещали в морозильную камеру на 12 ч при температуре -18 °С, затем размораживали при температуре +4 °С. Циклы повторяли от одного до пяти раз в двух параллельных экспериментах.

Для моделирования десорбции ионов свинца в условиях криогенного процесса брали навеску почвы, заливали ее 25 мл дистиллированной воды и оставляли на ночь для набухания. Затем приливали раствор свинца заданной концентрации (13,7 мг/л). Далее суспензию выдерживали при температуре +4 °С 12 ч и помещали в хладотермостат с температурой -18 °С до полного заморозания (12 ч). По истечении заданного времени суспензию переносили в хладотермостат с температурой +4 °С до полного размораживания, после чего отбирали 20 мл раствора для анализа и добавляли в систему 20 мл дистиллированной воды. Затем процедуру повторяли. Для сравнения с условиями без замораживания проводили аналогичный эксперимент при температуре +4 °С.

Определение содержания ионов свинца осуществляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе ContrAA-700 (Analytik Jena).

ИК-спектры получали для исходной почвы и после ее взаимодействия со свинцом под действием циклической заморозки и без такового. ИК-спектры высушенных и измельченных в агатовой ступке проб записаны с использованием ИК-Фурье-спектрометра Vertex 70 (Bruker, Германия) и приставки нарушенного полного внутреннего отражения с алмазной призмой GladiATR (Pike Tech., USA). В качестве фона использовался атмосферный воздух.

Результаты исследования и их обсуждение

Термодинамические показатели процесса приведены в табл. 1.

Величины термодинамических показателей адсорбции позволяют описать механизм процесса. Положительные значения изменения энтальпии сорбции указывают на эндотермический характер процесса, наиболее характерный для химической адсорбции.

Таблица 1

Термодинамические показатели сорбции Pb²⁺ горизонтами почв и торфом

Горизонт почвы	Энтальпия сорбции ΔH, кДж/моль	Энтропия сорбции ΔS, Дж/моль
Торф	15,2±0,2	35,6±0,3
Грубогумусовый	19,0±0,1	29,5±0,2
Подзолистый	21,4±0,3	57,7±0,1
Иллювиально-железистый	43,3±0,5	125,9±0,6

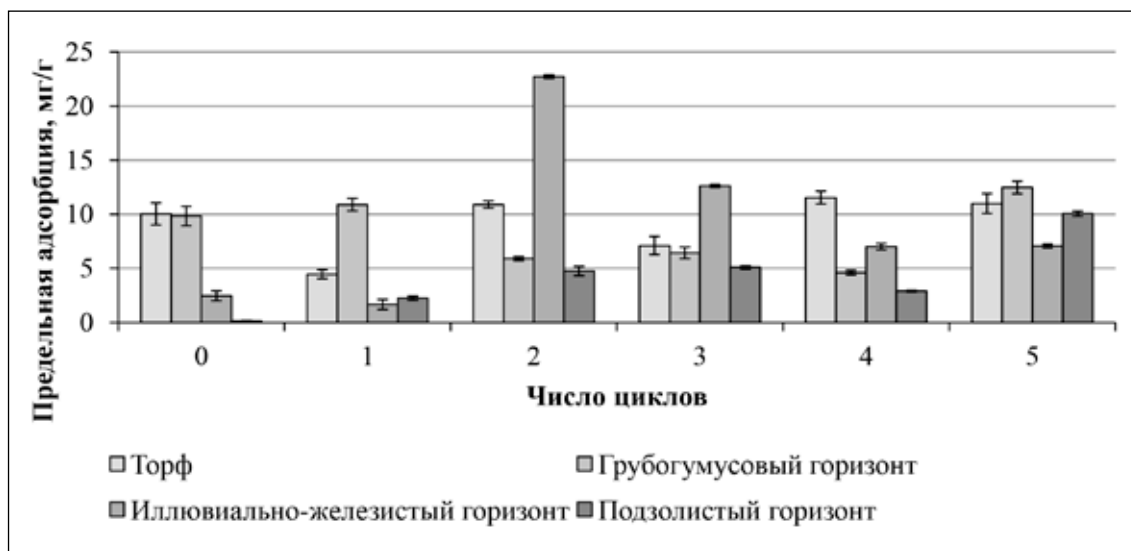


Рис. 1. Изменение предельной адсорбции при циклическом замораживании

Большое количество тепла расходуется на разрушение гидратной оболочки ионов, после чего они могут диффундировать во внутриассоциатный раствор [11] и адсорбироваться на активных центрах. По величине ΔH ионов свинца иллювиально-железистым горизонтом почвы (в отличие от остальных рассмотренных почв) можно утверждать, что стадия диффузии ионов к сорбенту не является лимитирующей стадией адсорбции, непосредственно адсорбция протекает быстро (ΔH > 42 кДж/моль) [12].

Положительные значения энтропии сорбции указывают на процессы разрушения гидратной оболочки ионов свинца [13]. Значение ΔS > -10 Дж/(моль·К) указывает на диссоциативный механизм адсорбции [14], при котором адсорбированные ионы находятся в менее упорядоченном состоянии, чем в растворе. Изменение энтропии процесса положительно для всех почв, т.е. во всех случаях наблюдается диссоциативный механизм адсорбции.

Циклическое криогенное воздействие оказывает наибольшее влияние на вари-

ативность показателя предельной адсорбции горизонтов почв с преобладающей минеральной составляющей (увеличение предельной адсорбции до 10–54 раз по сравнению с нормальными условиями) (рис. 1). При этом абсолютное значение предельной адсорбции для иллювиально-железистого горизонта превышает таковое для органомогенных почв при двух и трех циклах заморозки и может быть связано с преобразованием органического вещества.

Гуминовое вещество иллювиально-железистого горизонта почвы характеризуется высокой долей ароматических и алкильных соединений, что предполагает высокую связывающую способность по отношению к тяжелым металлам [15]. Кроме того, в сорбции ионов свинца иллювиально-железистым горизонтом участвуют также оксиды железа [16].

Криогенное воздействие снижает сорбционную емкость и устойчивость к десорбции свинца почв, что может быть связано с вымораживанием физически связанного

свинца. Наиболее чувствительными к криогенному воздействию оказались минеральные горизонты почв: для иллювиально-железистого горизонта наблюдалось постепенное снижение адсорбционной способности с ростом числа циклов воздействия, а для подзолистого горизонта такое снижение произошло при первом воздействии и далее не менялась. Богатые органическим

веществом грубогумусовый горизонт и торф показали устойчивость к криогенному воздействию (табл. 2). Наблюдаемые закономерности можно объяснить большей устойчивостью органических почвенных коллоидов по сравнению с минеральными гелями, обусловленной совокупностью реализуемых механизмов связывания – ионного обмена и комплексообразования.

Таблица 2

Содержание Pb в почве при десорбции
в условиях циклической заморозки и без нее, мг/г

№ цикла	Условия без замораживания			
	Торф	Грубогумусовый горизонт	Иллювиально-железистый горизонт	Подзолистый горизонт
1	1,892±0,090	1,812±0,065	0,708±0,032	0,824±0,037
2	1,892±0,072	1,812±0,084	0,708±0,039	0,756±0,033
3	1,882±0,093	1,797±0,072	0,694±0,037	0,758±0,024
4	1,880±0,050	1,765±0,081	0,613±0,029	0,661±0,031
5	1,880±0,088	1,754±0,090	0,556±0,024	0,661±0,028
№ цикла	Криогенные условия			
	Торф	Грубогумусовый горизонт	Иллювиально-железистый горизонт	Подзолистый горизонт
1	1,771±0,088	1,772±0,062	0,493±0,022	0,666±0,022
2	1,771±0,077	1,765±0,059	0,439±0,019	0,614±0,038
3	1,725±0,081	1,754±0,061	0,370±0,011	0,615±0,023
4	1,741±0,079	1,708±0,055	0,244±0,009	0,615±0,034
5	1,681±0,084	1,708±0,048	0,238±0,016	0,611±0,027

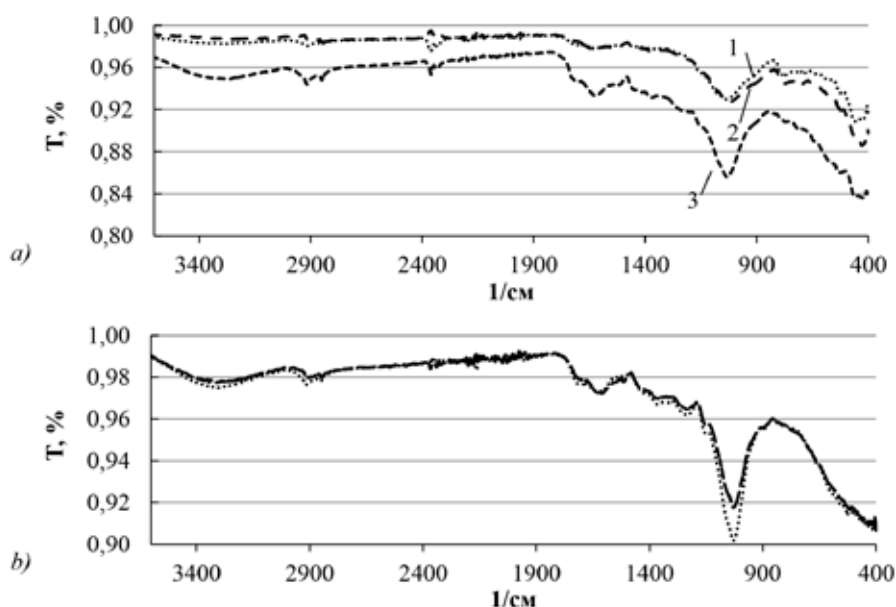


Рис. 2. ИК-спектры торфа (а) и грубогумусового горизонта (б): 1 – исходный образец, 2 – после криогенного воздействия, 3 – после криогенного воздействия в присутствии свинца

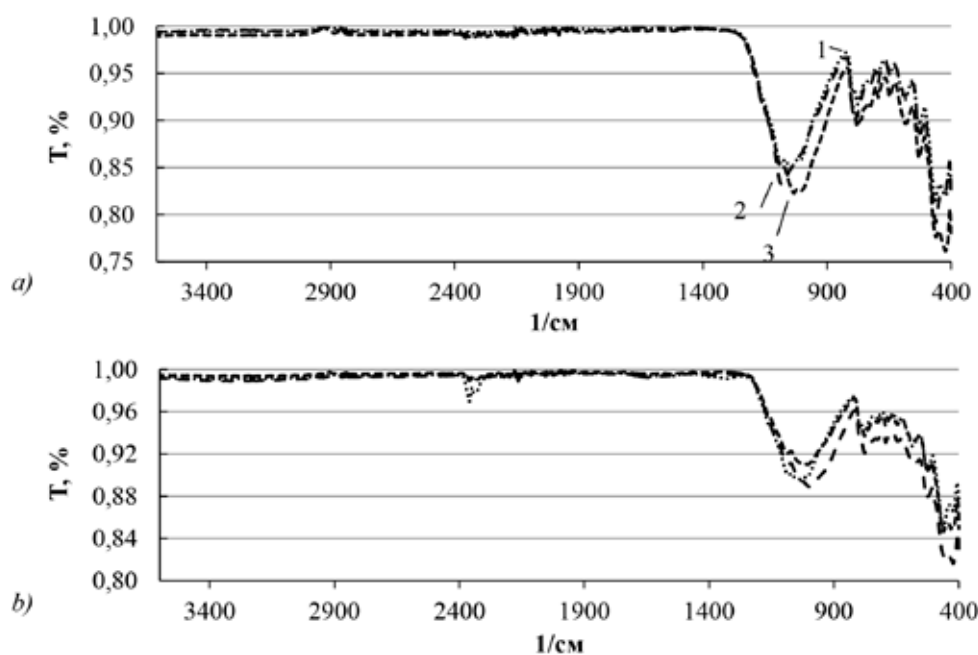


Рис. 3. ИК-спектры подзолистого (а) и иллювиально-железистого (б) горизонтов: 1 – исходный образец, 2 – после криогенного воздействия, 3 – после криогенного воздействия в присутствии свинца

ИК-спектры исходных образцов почвы содержат полосы поглощения активных групп минеральной (Al-O-Al, Si-O, O-Si-O) и органической (органических кислородсодержащих групп, ионизированных -COO- групп и C=C ароматических структур) составляющих [10].

ИК-спектрометрическое исследование горизонтов почв и торфа после взаимодействия со свинцом при циклическом замораживании-оттаивании и без него (рис. 2, 3) показало одинаковое снижение интенсивности полос поглощения во всем диапазоне для минеральной составляющей почвы. Увеличение интенсивности поглощения характеристических полос группировки – COO- органической составляющей указывает на активное протекание процесса ионного обмена и хелатообразования.

Заключение

Установлено, что при сорбции ионов свинца горизонтами подзолистой почвы и торфом реализуется диссоциативный механизм адсорбции. При этом наименьшие величины энтальпии адсорбции характерны для торфа, грубогумусового и подзолистого горизонта, где адсорбцию лимитирует стадия диффузии ионов к сорбенту.

Циклическое криогенное воздействие оказывает наибольшее влияние на вариатив-

ность показателя предельной адсорбции горизонтов почв с преобладающей минеральной составляющей (увеличение предельной адсорбции до 10–54 раз по сравнению с нормальными условиями). При этом абсолютное значение предельной адсорбции для иллювиально-железистого горизонта превышает таковое для органогенных почв при двух и трех циклах заморозки и может быть связано с особым строением органического вещества (более высоким содержанием ароматических и алкильных соединений).

Исследование показало наибольшую удерживающую способность органической составляющей почв при десорбции ионов свинца в криогенных условиях, по сравнению с минеральной составляющей, что связано с большей стабильностью органического вещества почвы (за счет сложной структуры, обеспечивающей связывание ионов по механизмам физической адсорбции, ионного обмена и комплексообразования) по сравнению с неорганическими гелями.

Список литературы

1. Wei Y., He J., Xue Y., Nie Y., Liu X., Wu L. Spatial distribution of multi-elements in moss revealing heavy metal precipitation in London Island, Svalbard, Arctic // Environmental Pollution. 2022. Vol. 315. 120398.
2. Li C., Wang H., Liao X., Xiao R., Liu K., Bai J., Li B., He Q. Heavy metal pollution in coastal wetlands: A systematic

- review of studies globally over the past three decades // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 424. P. A. 127312.
3. Zhang B., Jia T., Peng S., Yu X., She D. Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in the cultivated soil of the Qinghai-Tibet Plateau region: Case study on Huzhu County // *Global Ecology and Conservation*. 2022. Vol. 35. P. e02073.
 4. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. 515 с.
 5. Рогов В.В. Особенности морфологии частиц криогенного элювия // *Криосфера Земли*. 2000. Т. 4, № 3. С. 67–73.
 6. Шмелев Д.Г. Криогенез рыхлых отложений полярных областей Земли: дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2015. 155 с.
 7. Wang G.-P., Liu J.-S., Zhao H.-Y., Wang J.-D., Yu J.-B. Phosphorus sorption by freeze-thaw treated wetland soils derived from a winter-cold zone (Sanjiang Plain, Northeast China) // *Geoderma*. 2007. Vol. 138. P. 153–161.
 8. Бычков А.Ю., Раудина Т.В., Маркова Е.А. Экспериментальное исследование поведения микроэлементов в циклических геокриологических процессах // *Материалы V конференции геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.)*. М., 2016. Т. 3. С. 17–23.
 9. Федоров А.С., Горячкин С.В., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. География почв: учеб. пособие. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2013. 256 с.
 10. Кузнецова И.А., Мироненко К.А., Бедрина Д.Д. Характеристика состава подзолистой почвы Онежского района // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 12–2. С. 288–293.
 11. Raghav S., Kumar D. Adsorption equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies of fluoride adsorbed by tetrametallic oxide adsorbent // *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2018. Vol. 63 (5). P. 1682–1697. DOI: 10.1021/acs.jced.8b00024.
 12. Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. Химический состав и сорбционные свойства торфа – основа ресурсного потенциала типичных верховых болот северо-запада России // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 7. С. 165–170.
 13. Zhao X., Zhang G., Jia Q., Zhao C., Zhou W., Li W. Adsorption of Cu(II), Pb(II), Co(II), Ni(II), and Cd (II) from aqueous solution by poly(aryl ether ketone) containing pendant carboxyl groups (PEK-L): Equilibrium, kinetics, and thermodynamics // *Chemical Engineering Journal*. 2011. Vol. 171. P. 152–158.
 14. Scheckel K.G., Sparks D.L. Temperature effects on nickel sorption kinetics at the mineral-water interface // *Soil Science Society of America Journal*. 2001. Vol. 65. P. 719–728.
 15. Lopes-Mazzetto J.M., Schellekens J., Vidal-Torrado P., Buurman P. Impact of drainage and soil hydrology on sources and degradation of organic matter in tropical coastal podzols // *Geoderma*. 2018. Vol. 330. P. 79–90.
 16. Tiberg C., Sjöstedt C., Gustafsson J.P. Metal sorption to Spodosol Bs horizons: Organic matter complexes predominate // *Chemosphere*. 2018. Vol. 196. P. 556–565.

УДК 91:338.48

DOI 10.17513/use.38053

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ «В КРАЙ ОЗЕР И ВОДОПАДОВ» НА ТЕРРИТОРИИ КАТУНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Легачева Н.М., Прудникова Н.Г., Праздникова Н.Н., Дудник А.В., Дудник М.А.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул, e-mail: legacheva2015@mail.ru

В данной работе предложена концепция проектирования экологической тропы на особо охраняемой природной территории Республики Алтай. В статье охарактеризованы особенности Катунского биосферного заповедника. Была определена существующая стадия рекреационной дигрессии. В связи с переориентацией направлений отдыха на внутренний туризм отдыхающих в заповеднике становится больше и, соответственно, нагрузка на подстилающую поверхность увеличивается и имеет накопительный характер, так как тропы за зимне-весенний период не успевают восстанавливаться. Уникальными объектами маршрута являются озера Среднее Мультигинское, Верхнее Мультигинское и Поперечное, а также водопады на реке Поперечная. Даны рекомендации по проектированию отдельных участков тропы с учетом природных особенностей территории. В период реализации проекта предлагается моделирование элементов экотропы и малых архитектурных форм в местах стоянок туристов, а также представление материалов на интерактивных картах. Данный маршрут «В край озер и водопадов» обладает аттрактивностью, интересен уникальными ландшафтами, редкими краснокнижными растениями. Проектирование экологических троп необходимо и для повышения экологических знаний у посетителей заповедника. Полученные результаты: визуализация основных элементов тропы, видовые точки в виде 3D-моделей и интерактивная туристская карта в ГИС-приложении с аудиогидом по всей экологической тропе.

Ключевые слова: экологическая тропа, экологический туризм, заповедник, особо охраняемые природные территории, рекреационная дигрессия, Республика Алтай

DESIGNING AN ECOLOGICAL TRAIL “TO THE EDGE OF LAKES AND WATERFALLS” ON THE TERRITORY OF THE KATUN BIOSPHERE RESERVE

Legacheva N.M., Prudnikova N.G., Prazdnikova N.N., Dudnik A.V., Dudnik M.A.

Altai State University, Barnaul, e-mail: legacheva2015@mail.ru

This paper proposes the concept of designing an ecological trail in a specially protected natural area of the Altai Republic. The article describes the features of the Katunsky Biosphere Reserve. The existing stage of recreational digression was determined. This is especially true for the study reserve, which attracts a large number of tourists and experiences a high recreational load. Its territory includes natural complexes and objects of significant ecological and aesthetic value. The most attractive objects of this route are the lakes SredneeMultinskoe, Upper Multinskoe and Poperechnoe, as well as waterfalls on the river Poperechnaya. Recommendations are given for the design of individual sections of the trail, taking into account the natural features of the territory. During the implementation of the project, it is proposed to model elements of the ecotrail and small architectural forms in tourist camps, as well as present materials on interactive maps. This route “To the Land of Lakes and Waterfalls” has properties typical for areas with high recreational potential. The design of ecological trails is also necessary to increase the ecological knowledge of visitors to the reserve. The results obtained: visualization of the main elements of the trail, viewpoints in the form of 3D models and an interactive tourist map in a GIS application with an audio guide along the entire ecological trail.

Keywords: ecological trail, ecological tourism, nature reserve, specially protected natural territories, recreational digression, Altai Republic

Приоритетным направлением развития туризма в РФ является экологическое [1]. Перспективность развития экологического туризма на ООПТ в целом Северной Азии [2] и, в частности, Алтайского региона [3, с. 116; 4] выходит на первый план. В последнее время пространственно-временная трансформация туристских центров в Алтайском регионе претерпевает ряд количественных и качественных изменений [5]. Исследуемая территория по количеству ООПТ занимает третье место среди субъектов, но по количеству экологических троп находится практически на последнем, поэто-

му проектирование и создание таких маршрутов актуально, они будут сохранять существующую экосистему и при грамотном обустройстве стоянок привлекать отдыхающих.

Катунский заповедник имеет высокую рекреационную нагрузку, так как каждый год привлекает все большее число организованных и самостоятельных туристов. Для регулирования рекреационной нагрузки необходимо обустройство экологических троп на экскурсионных маршрутах заповедника. С этой целью рассмотрены стадии деградации участков тропы и предложены проекты оптимизации элементов экологической

тропы «В край озер и водопадов» на территории Катунского заповедника. Правильно спроектированная экологическая тропа позволит сохранить природу: уникальные ландшафты, редкие краснокнижные растения и животный мир заповедника.

Планируемый результат: визуализация основных элементов тропы, видовые точки в виде 3D-моделей и интерактивной туристической карты в ГИС-приложении с аудиогидом по всей экологической тропе.

Материалы и методы исследования

Методология настоящей работы основана на собственных материалах исследований на маршруте «В край озер и водопадов», анализа развития экологического туризма в Республике Алтай. Методологической основой исследования является системный подход, сравнительный анализ, программы для 3D-моделирования и визуализации, картографическая основа Усть-Коксинского района Республики Алтай.

Результаты исследования и их обсуждение

В Республике Алтай 25 % площади имеет статус особо охраняемых природных территорий, но официально на настоящее время разработаны только три экологические тропы: Катунская, Инегеньская и Шавлинская – в связи с чем идет работа по организации экотроп [6].

Первой подготовленной для туристических целей экотропой на территории ООПТ Республики Алтай является тропа на территории природного парка «УчЭнмек» протяженностью 4,3 км, идущая вверх по левому притоку р. Арыгем (система р. Каракол) к одноименному озеру (так называемая Арыгемская тропа). Эта тропа частично обустроена, информационно обеспечена и активно используется как туроператорами, так и самодельными туристами.

Данная территория относится к турзоне района Белухи [7]. На территории природного парка «Белуха» были сформированы и внесены в ЕГРН земельные участки под две экотропы – Кучерлинская (22 км) и Аккемская (17,7 км), оснащение троп планировалось в 2021 г. Было запланировано создание экотроп на территории природных парков Республики Алтай – Калгутинская и Бертекская тропы (Зона покоя Укок), Верхне-Каракольская тропа (УчЭнмек), Кара-Тюрекская тропа (Белуха), Чулышманская тропа (Ак Чулушпа).

Катунский биосферный заповедник в Республике Алтай основан в июле 1991 г., в январе 2000 г. получил статус биосферного. Заповедник расположен в Усть-Коксинском районе Республики. На юге территория заповедника граничит с Казахстаном. В настоящее время на территории ГПБЗ «Катунский» функционируют шесть экскурсионных маршрутов (рис. 1).



Рис. 1. Схема экскурсионных маршрутов ГПБЗ «Катунский»
Источник: составлено по [6]

Заповедник расположен на Катунском хребте – самой высокогорной части Алтая, на его северном макросклоне, и на части северного макросклона хребта Листвяга. Площадь заповедника – 151637 га, 61,6% от всей территории – это высокогорная зона (высокотравные луга сочетаются с ледниками и тундрой – ерниковой, каменистой, осоковыми болотами); 23,5% занимает среднегорная часть. Основная и уникальная часть занята снежниками, озерами высокогорий и ледниками.

На тропе к Мультигским озерам проходит однодневный пеший маршрут. Дистанция тропы составляет около 9 км. Антропогенное воздействие характеризуется линейным воздействием, а не площадным. На проектируемой экотропе «В край озер и водопадов» два озера и несколько водопадов на р. Поперечная.

Однодневный маршрут начинается с кордона заповедника на Среднем Мультигском озере, где работают инспекторы, которые следят за порядком в заповеднике и инструктируют туристов, входящих в за-

поведную зону. Около кордона находится «Визит-центр», в котором туристы могут изучить флору и фауну заповедника, а также оставить запись в книге отзывов. Далее 3,5 км тропа поднимается вверх вдоль р. Мульга до устья р. Поперечная (стоянка Развилка). Здесь расположен водопад на р. Поперечная. Далее есть два варианта движения – налево к Поперечному озеру вдоль одноименной реки, и второй вариант – направо, переходя реку и вдоль реки Мульга к озеру Верхнее Мультигское (максимальные параметры: ширина 425 м, длина 1425 м, длина береговой линии 3260 м, максимальная глубина составляет 47,7 м, высота 1795 м над уровнем моря). В него впадают, питающиеся от таяния снежников и ледников четыре ручья (47 м – самый высокий водопад). Озеро вытянуто меридиально, подпружено мореной. Озеро Поперечное (высота 1885 м, длина 1860 м). Глубина котловины в узкой северной части составляет 13,4 м, на юге – 22,6 м. Из озера вытекает левый приток Мульги р. Поперечная [8].



Рис. 2. Стадии дигрессии на маршруте: а) вторая; б) третья; в) четвертая (фото Т.Н. Мухтаровой и Д.О. Яковлева, 25–27.06.2022)

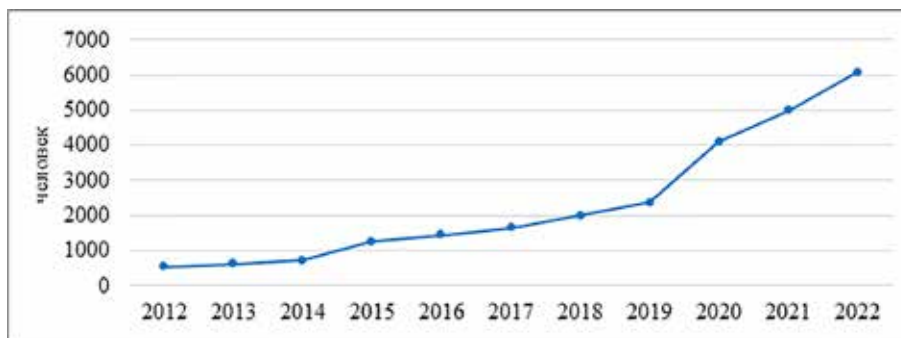


Рис. 3. Динамика количества туристов на маршруте «В край озер и водопадов»
Источник: составлено авторами по [6]

Флора Катунского заповедника насчитывает более 670 видов и подвидов сосудистых растений. На территории Катунского заповедника отмечено 7 видов, внесенных в Красную книгу РФ (2008), и 18 видов, внесенных в Красную книгу Республики Алтай (2007) [9]. На предлагаемой тропе можно узнать о краснокнижных растениях – горькуше Ревякиной, пионе гибридном, родиоле розовой, ревене алтайском, а также познакомиться с фауной – рысью, медведем и копытными (маралом и косулей). В реках и озерах обитает много видов рыб – чаще всего интересен хариус.

В начале работы необходимо оценить экологическое состояние маршрутов заповедника [10]. В процессе проектирования экологической тропы была проведена оценка рекреационной нагрузки и выделено четыре стадии дигрессии. Для улуч-

шения комфорта посетителей ООПТ необходимо дополнительно благоустроить и оборудовать имеющиеся стоянки, а лучше создать новые. Предлагаемые мероприятия позволят сохранить естественные ландшафты и восстановить нарушенные участки. Маршрут начинается с труднопроходимой тропы в виде корней деревьев и курумов. На третьей стадии дигрессии по тропе видно множество обходных тропинок, на главной тропе сильно обнажены корни деревьев, нарушена лесная подстилка, почва переувлажнена. Далее тропа переходит в четвертую стадию, для которой характерны деревья с повреждением стволов, у многих из которых обнажены корни, которые выступают на поверхность (рис. 2). В ходе маршрута наблюдаются и труднодоступные места – заболоченные луга и заросли кустарников.



Рис. 4. Элементы участков маршрута с визуализацией 3D-моделированием

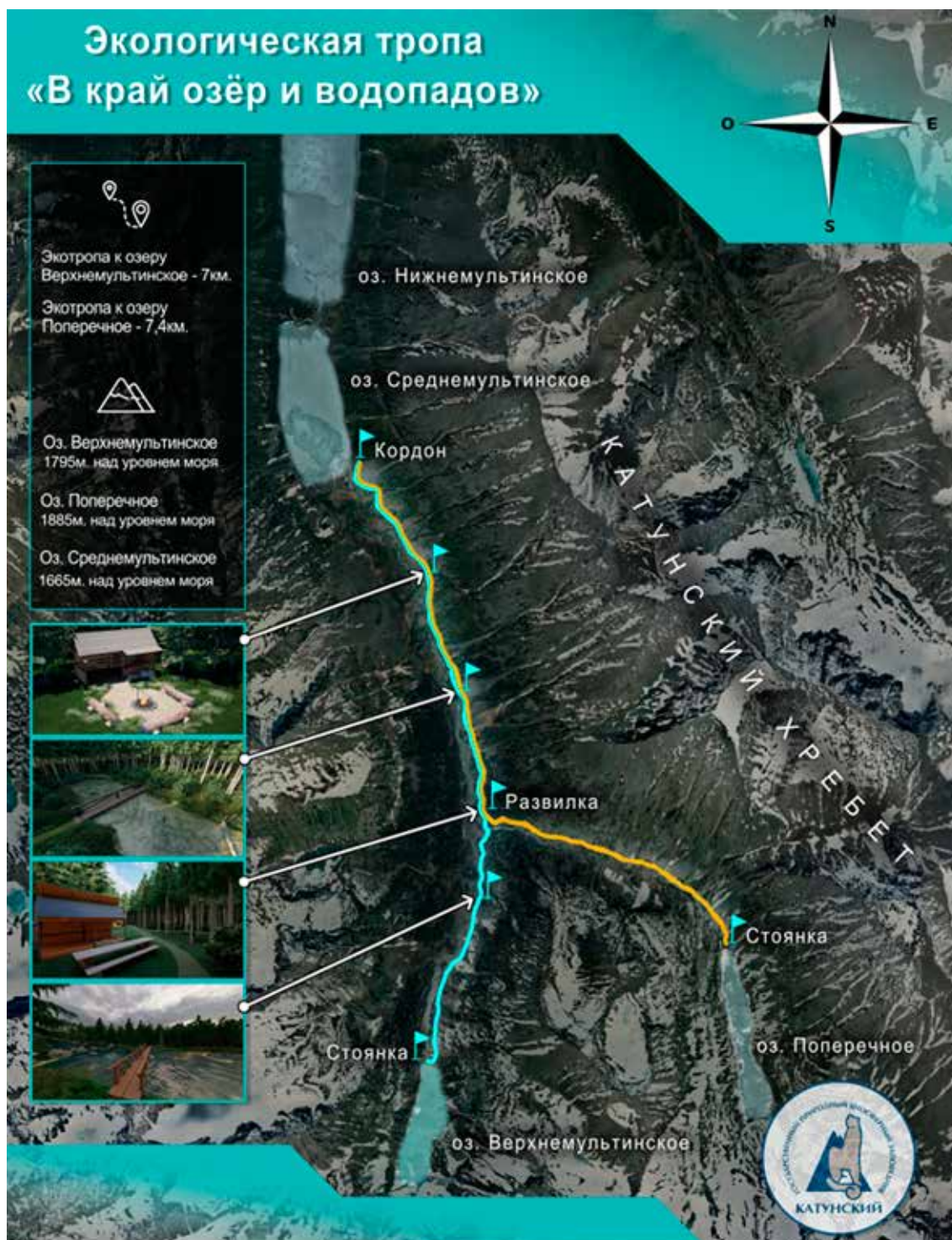


Рис. 5. Карта-схема проектируемой экотропы

Стоянка на развилке находится на третьей стадии дигрессии, где лесная подстилка сильно спрессована с множеством оголенных корней и камней, там есть оборудованное место для костровища и туалет. На стоянке прикреплены информационное табло, табличка, призывающая к бережному

отношению к природе, и указатели по направлению озер. Тропы окружены хвойными деревьями, кустарниками и частично проходят через курумы. Маршрут вдоль р. Попереchnая и Мультя от развилки находится на второй стадии дигрессии. Кроме человека, причиной дигрессии может быть

степень увлажненности территории. В начале туристского сезона во время активного снеготаяния ручьи размывают тропу и несформированный растительный покров, получая минимальные нагрузки, приводит к дигрессии.

Видя динамику туристов, посетивших Катунский биосферный заповедник с 2012 по 2022 г. (рис. 3), можно сказать, что при увеличении количества туристов [11] идет нагрузка на ландшафты, чтобы этого избежать, необходимо обустройство экотропы.

С каждым годом количество отдыхающих увеличивается в связи с развитием внутреннего туризма, и тропа за зимне-весенний период не успевает восстанавливаться, нагрузка имеет накопительный характер. Для того чтобы сохранить экосистему, защитить тропы от повышенной влажности, нужно сооружать деревянные настилы или делать насыпь специальным грунтом [12]. В проекте предложены визуализации основных элементов сложных участков тропы, стоянки с костровищем, мостов через реки и беседок с террасами и навесами (рис. 4).

Периодически на территории заповедника проводятся волонтерские смены для очищения троп. Используемый в настоящее время туристский маршрут предлагается обустроить и создать информационное обеспечение для внесения в дальнейшем в реестр экологических троп. Предлагается нами разработка и запись аудиоэкскурсии. Фрагменты будут пронумерованы по тропе с помощью QR-кода и привязаны к карте-схеме проектируемой тропы (рис. 5).

Проектирование и предлагаемое природообустройство тропы позволит сохранить существующие ландшафты, привлечь на качественные стоянки с элементами сервиса туристов и позволит сбалансированно регулировать процесс природной территории. Социальный эффект от организации экотропы состоит в снижении уровня безработицы жителей ближайшего населенного пункта за счет занятости части жителей в обустройстве, содержании экотропы и оказании туристических услуг: обеспечение местными продуктами питания, обеспечение гидами-проводниками, прокат лошадей, доставка на транспорте до кордона.

Заключение

Таким образом, была предложена концепция проектирования экологической тропы на особо охраняемой природной территории Катунского биосферного заповедника на существующем маршруте «В край озер

и водопадов», который испытывает повышенную нагрузку. Были определены существующие стадии рекреационной дигрессии участков маршрута. Даны рекомендации по проектированию отдельных участков тропы с учетом природных особенностей территории. В период реализации проекта предлагается моделирование элементов экотропы и малых архитектурных форм в местах стоянок туристов, а также представление материалов на интерактивных картах.

Авторы выражают особую благодарность Галошину Антону Дмитриевичу и Яковлеву Даниилу Олеговичу за предоставленные материалы визуализации и карту-схему проектируемой экотропы.

Список литературы

1. Андреева И.В. Экологический туризм в заповедниках и национальных парках России: состояние, доступность, технологии развития // Известия Сочинского государственного университета. 2013. № 2 (25). С. 9–18.
2. Санжеев Э.Д., Раднаев Н.Д., Цырендоржиева Т.Б., Ширапова С.Д. Перспективы развития экологического туризма на особо охраняемых природных территориях Северной Азии (на примере Джергинского заповедника Республики Бурятия) // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, № 4. С. 521–528.
3. Легачева Н.М. Возможности и проблемы развития экологического туризма в Алтайском крае и Республике Алтай. // Использование потенциала особо охраняемых природных территорий для развития экотуризма: материалы научно-практической конференции (Барнаул, 12 декабря 2014 г.) / Под ред. И.Н. Ротановой, М.В. Танковой. Барнаул, 2014. 255 с.
4. Самыкова М.А. Текущее состояние и перспективы развития туризма в Республике Алтай // Материалы I-й Международной НПК «Туризм как фактор устойчивого развития горных территорий». Горно-Алтайск, 2018. С. 5–12.
5. Дзагоева Е.А. Пространственно-временная трансформация туристских центров в Алтайском регионе // Вестник КемГУ. 2015. № 2–7 (62). С. 38–42.
6. Официальный сайт государственного природного биосферного заповедника «Катунский». [Электронный ресурс]. URL: <http://katunskiy.ru/> (дата обращения: 05.05.2023).
7. Оборин М.С., Аликаева М.В. Территория Горного Алтая: исследование и анализ природно-рекреационного потенциала // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 4. С. 476–484.
8. Байлагасов Л.В. К характеристике озер бассейна Мульта (Катунский биосферный заповедник) // География и природопользование Сибири. 2003. Вып. 6. С. 185–202.
9. Красная книга Республики Алтай (растения) / Под ред. И.М. Красноборова. Горно-Алтайск, 2007. 272 с.
10. Ханов Т.Ч., Струначова И.М., Мамиев М.Б., Кашковская И.М. Оценка рекреационного потенциала и экологического состояния особо охраняемых природных территорий заповедника «Черные земли» Республики Калмыкия // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 41–46.
11. Прудникова Н.Г., Игнатенко М.Н., Дудник А.В. Туристская индустрия и развитие туризма в Республике Алтай // География и природопользование Сибири. 2019. № 26. С. 174–181.
12. Праздников Н.Н., Прудникова Н.Г., Стрижева О.С., Дудник А.В. Перспективы развития туристской индустрии в Алтайском крае (на основе социально-экспертного анализа) // Вестник Аграрного государственного университета. 2017. № 10. С. 60–65.

УДК 91:502.7

DOI 10.17513/use.38054

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ СОСТОЯНИЯ РЕК И ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

¹Николаева Н.А., ²Копырина Л.И.

¹ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
обособленное подразделение Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru;

²ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
обособленное подразделение Институт биологических проблем криолитозоны
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Бассейн р. Виллой расположен на территории Западной Якутии, наиболее освоенной и промышленно развитой части Якутии, имеющей важное экономическое и стратегическое значение для России. Регион является центром алмазодобывающей промышленности РФ, где разрабатываются коренные и россыпные месторождения алмазов, расположен каскад ГЭС на р. Виллой и Виллойское водохранилище. Это влечет экологические и социальные проблемы, негативно воздействуя на все компоненты природной среды. При исследовании различных аспектов состояния природной среды необходимо изучение устойчивости северных ландшафтов к техногенному воздействию и изучение гидробиологического состояния водных экосистем, в частности состояния альгофлоры водотоков. Проведена оценка степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Виллой к техногенному воздействию по мерзлотным и биоклиматическим показателям. Выявлено, что северотаежные редколесные и маревые ландшафты обладают преимущественно слабой степенью устойчивости, среднетаежные – средней степенью устойчивости. Наиболее неустойчивыми по всем показателям являются горно-тундровые ландшафты, характеризующиеся наиболее холодными и влажными условиями. Проведено исследование современного гидробиологического состояния рек бассейна Виллой, в результате которых определено низкое развитие фитопланктона и фитоперифитона в р. Ирелях, М. Ботубуйа и в верхнем течении р. Виллой, состоящего из однообразного видового состава диатомовых и зеленых водорослей. Максимальная средняя численность водорослей варьирует от 82290 кл/л до 20700 кл/л, наибольшая биомасса отмечена на одном участке и составляет 1,58 мг/л. Индекс биоразнообразия по Шеннону – Уиверу варьирует по точкам отбора проб по течению р. Виллой от 0,19 бит/экз. и 1,00 бит/экз. до 2,40 бит/экз. По санитарно-биологической характеристике выявлены массовые виды – индикаторы сапробности воды, что говорит о III-м классе чистоты воды, определенной как умеренно загрязненная. Таким образом, состояние альгофлоры находится под влиянием техногенной нагрузки от предприятий алмазодобычи и энергетики.

Ключевые слова: Западная Якутия, бассейн р. Виллой, воздействие промышленности, устойчивость ландшафтов, гидробиологическое состояние, альгофлора

Работа выполнена по госзаданию по теме «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023; номер госрегистрации в ЕГИСУ: AAAA-A21-121012190038-0) и в рамках проекта государственного задания (№ FWRS-2021-0014) программы по приоритетному направлению ПФНИ РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.).

EVALUATION OF SOME ASPECTS OF THE STATE OF RIVERS AND LANDSCAPES IN WESTERN YAKUTIA UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

¹Nikolaeva N.A., ²Kopyrina L.I.

¹Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

²Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

The Basin of the Vilyui river is located on the territory of Western Yakutia, one of the most developed and industrialized parts of Yakutia, which is of great economic and strategic importance for Russia. The region is the center of the diamond mining industry of the Russian Federation, where primary and alluvial diamond deposits are developed, a cascade of hydroelectric power stations is located on the river Vilyui. This causes environmental and social problems, negatively affecting all components of the natural environment. It is necessary to study the stability of northern landscapes to technogenic impact and study the hydrobiological state of aquatic ecosystems, in particular, the state of the alga flora of watercourses. As a result of studying the degree of stability of landscapes in the basin of the river Vilyui to technogenic impact on permafrost and bioclimatic indicators, the degree of their resistance is determined. It was revealed that, according to the permafrost characteristics, the northern taiga open forest and haze landscapes are defined as predominantly weakly resistant, the middle taiga as medium resistant. The most unstable in terms of bioclimatic indicators were mountain-tundra landscapes, characterized by the coldest and most humid conditions. As a result of studies of the current hydrobiological state of the rivers in the basin of the river

Vilyui determined the low development of phytoplankton and phytoplankton in the river Irelyakh, M. Botuobuya and in the upper reaches of the river Vilyui, consisting of a monotonous species composition of diatoms and green algae. The maximum average number of algae varies from 82290 cells/l to 20700 cells/l, the highest biomass was noted in one area and is 1.58 mg/l. The Shannon-Weaver biodiversity index varies by sampling points along the river. Vilyuy from 0.19 bits / copy. and 1.00 bits/copy. up to 2.40 bits/copy. According to the sanitary-biological characteristics, mass species-indicators of water saprobicity were identified, which indicates the III class of water purity, as moderately polluted. Thus, it was determined that the state of phytoplankton and phytoplankton is under the influence of the technogenic load of diamond mining and hydropower enterprises.

Keywords: Western Yakutia, basin of the river Vilyui, the impact of industry, landscape sustainability, hydrobiological state, algoflora

The work was carried out according to the state assignment on the topic "Vegetation cover of the permafrost zone of the taiga Yakutia: biodiversity, habitat-forming functions, protection and rational use" (scientific topic code: FWRS-2021-0023; draft state task (No. FWRS-2021-0014) of the program in the priority area of the PFNI RF for the long-term period (2021–2030).

Западная Якутия, расположенная в бассейне р. Вилюй, является одним из самых развитых промышленных регионов Якутии, что обусловлено прежде всего деятельностью крупнейшей алмазодобывающей компании «АЛРОСА», имеющей стратегическое значение для страны и региона. Россия обладает самой большой ресурсной базой алмазов в мире, составляя 45 % мировых разведанных запасов алмазных месторождений, что позволяет России обеспечивать 25 % мировой алмазодобычи. Из них более 90 % алмазов добывается в Республике Саха (Якутия). Горные работы ведутся открытым и подземным способами на коренных и россыпных месторождениях алмазов [1].

Вместе с тем добыча алмазов оказывает негативное воздействие на все составляющие природной среды: рельеф, недра, воду, воздух, почвенно-растительный покров, животный мир – что влечет экологические последствия и наносит ущерб окружающей среде [2].

Добыча алмазов повлекла сооружение инфраструктурных объектов – энергетики, транспорта, населенных пунктов, сельскохозяйственных производств. Наиболее масштабным и значимым объектом является каскад ГЭС на р. Вилюй, включающий Вилюйскую ГЭС-I–II общей мощностью 680 мВт и Вилюйскую ГЭС-III, мощность которой составляет 270 мВт.

Но наряду с решением энергетической проблемы создание каскада ГЭС и Вилюйского водохранилища создало ряд экологических и социальных проблем. Так, произошло перераспределение гидрологического стока реки, изменение климатических условий, усиление эрозионно-русловых процессов и переработки берегов, тепловое и гидрохимическое загрязнение воды, влияние на гидробионты и ихтиофауну, изменение условий судоходства [3].

Изучение различных аспектов экологического воздействия промышленного освоения на природную среду бассейна р. Вилюй является предметом многих научных исследований и не теряет своей актуальности. Так, на этой территории, относящейся к районам Крайнего Севера, «достаточно широко известен феномен низкой устойчивости северных экосистем к различным формам антропогенного воздействия» [4, с. 80]. Также важны изучение и оценка гидробиологического состояния рек, в частности альгофлоры (фитопланктона и фитоперифитона).

Целью работы является оценка степени устойчивости ландшафтов и современного состояния альгофлоры водотоков бассейна р. Вилюй.

Материалы и методы исследования

Для сбора и обработки альгологических проб были применены унифицированные гидробиологические методики [5]. Видовое разнообразие фитопланктона оценивали при помощи индекса Шеннона [6], расчет численности и биомассы проведен счетно-объемным методом. Количественный учет клеток водорослей проводили под микроскопом Микмед-6 с использованием счетной камеры Нажотта объемом 0,01 и 0,05 см³ в трехкратной повторности. Для санитарно-биологической характеристики исследованных водных объектов принадлежности видов водорослей к той или иной зоне сапробности использован «Атлас водорослей – индикаторов сапробности» [7]. Названия таксонов приведены согласно базе данных [8] с учетом дополнений и уточнений последних отечественных и зарубежных выпусков. Материалом послужили данные полевых исследований в сентябре 2018 г. и в августе 2020 г. на р. Ирелях выше и ниже дражных полигонов, устье; р. М. Ботуобуя выше и ниже р. Ирелях, р. Вилюй выше и ниже устья р. М. Ботуобуя.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Характеристика объекта исследования

Территория бассейна р. Виллой характеризуется существенным разнообразием природных условий, обуславливающим неоднородность строения рельефа с горными и равнинными участками, растительности и весьма сложный рисунок распределения как ландшафтной структуры, так и водного режима рек. Климат суровый, резко континентальный. Криолитозона сплошного распространения мощных низкотемпературных мерзлых пород.

Река Виллой – основная водная артерия Западной Якутии, левый приток Лены. Длина реки составляет 2654 км, площадь водосбора – 448655 км², среднеголетний сток – 72,4 км³, среднегодовой расход воды – 1450 м³/с. [3]. Гидроэнергетическое строительство ведет к изменению гидрографических параметров водотоков, величины и режима стока. Каскад водохранилищ привел к перераспределению внутригодового стока реки: произошло уменьшение стока весеннего половодья и частично летне-осенних паводков в сторону зимней межени. Так, суточные колебания уровня воды прослеживаются в Виллое на расстоянии 300–400 км ниже плотины ГЭС-3, недельное регулирование – до 700–850 км от плотины. Сезонное и межгодовое регулирование стока сохраняется вплоть до устья р. Виллой, а отдельные его элементы прослеживаются на нижнем участке Лены. До начала заполнения Виллойского водохранилища на весенний (май – июль), летне-осенний (август – октябрь) и зимний гидрологические сезоны в створе ГЭС-1,2 приходилось 79, 20 и 1% годового стока воды соответственно. В период нормальной эксплуатации гидроузла распределение по сезонам составляет 26, 18 и 56% соответственно. После зарегулирования изменился и режим стока наносов, ледово-термические условия среднего и нижнего участков Виллой: стока наносов – на 34%, теплового стока на значительном протяжении реки – до 25–50% [9].

Вода р. Виллой и его притоков гидрокарбонатного класса кальциевой группы, малой минерализации. В настоящее время качество воды рек бассейна оценивается 3-м классом разряда «б» и характеризуется как «очень загрязненная» и 3-м классом разряда «а», «загрязненная» [10]. До конца 1989 г. вода р. Виллой находилась под прямым воздействием сбросов высокоминерализован-

ных вод алмазодобывающего производства, которые вызвали в начале 1990-х гг. высокую минерализацию воды р. Ирелях и Малая Ботубуйа. На протяжении последних лет для бассейна р. Виллой наиболее характерными загрязняющими веществами остаются трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), железо общее и фенолы. Только по содержанию меди в 2021 г. было отмечено значительное снижение, максимальная величина составила 3,9 ПДК [10]. Среднегодовое содержание органических веществ и фенолов в среднем по бассейну составило: по ХПК – 2,6 ПДК, фенолов – 5,4 ПДК. Сохранялась загрязненность бассейна реки железом общим, среднегодовая концентрация которого превышала ПДК в 1,6 раза, максимальная – в 8,7 раза. Среднегодовая величина азота нитритного была ниже ПДК, максимальная превышала норматив в 6,7 раза. Фиксировалось отклонение от нормативных требований содержания легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), азота аммонийного, цинка и нефтепродуктов, хотя их среднегодовые концентрации не превышали критерии ПДК. Среднее содержание растворенного в воде кислорода по бассейну составило 9,87 мг/л, минимальное 7,63 мг/л.

Оценка устойчивости ландшафтов

Территория бассейна р. Виллой относится к физико-географической стране Северо-Восточная Сибирь и представлена северо-таежными горноредколесными и средне-таежными ландшафтами зоны сплошного распространения горных пород [11].

Оценка устойчивости ландшафтов бассейна рек Виллой была произведена путем применения методики покомпонентного анализа влияния основных мерзлотных и биогидроклиматических факторов на снижение устойчивости ландшафтов [12]. Они были приведены в ряд, ранжированный по присвоенным баллам экспертных оценок, разграничивающих степени устойчивости, что дало возможность оценить степень устойчивости каждого ландшафта по суммарному количеству баллов. При этом наибольшие баллы присвоены наименее устойчивым ландшафтам, а наименьшие – наиболее устойчивым.

Расположение ландшафтов бассейна р. Виллой в области сплошного распространения мерзлых пород обуславливает их потенциальную неустойчивость, но при этом имеются различия в зависимости от соотношения температуры и льдистости. Так, северо-таежные редколесные ландшафты,

имеющие очень низкую температуру горных пород, достигающую до -8°C , и невысокую льдистость (до 0,2 и 0,2–0,4 отн.ед.), определены как относительно устойчивые, а северотаежные маревые слабодренированные интразональные ландшафты, хотя имеют низкие температуры до -3 и -8°C , содержат высокое количество льда (0,4–0,8 отн. ед.) и являются слабоустойчивыми. Среднетаежные ландшафты со средней температурой до -3°C определены как слабоустойчивые [13].

По биоклиматическим показателям (запасам фитомассы, биопродуктивности, по теплообеспеченности и увлажнению) североредколесные ландшафты определены как слабоустойчивые и неустойчивые, а среднетаежные – как преимущественно среднеустойчивые. Так, северотаежные ландшафты по запасам фитомассы и продуктивности определены как слабоустойчивые, по показателям тепло- и влагообеспеченности они относительно неустойчивы и неустойчивы. Среднетаежные комплексы

отмечены как преимущественно среднеустойчивые по всем показателям. Наиболее неустойчивыми по всем биоклиматическим показателям определены горно-тундровые ландшафты, характеризующиеся наиболее холодными и влажными условиями [13].

Состояние альгофлоры

Фитопланктон и фитоперифитон являются биоиндикаторами экологического состояния водной среды [14, 15]. В период осенней межени 2018 г. произошел выброс большого количества загрязняющих веществ из нескольких дамб на р. Ирелях и Малая Ботубуйа в р. Виллой. Были проведены гидробиологические исследования по количественному и качественному состоянию водорослей, в результате которых количество видов во всех исследованных участках рек оказалось низким и составило на трех участках р. Ирелях (от 6 до 12 видов), на трех участках р. М. Ботубуйа (4–5 видов) и на двух участках верхнего течения р. Виллой (от 9 до 13 видов) (таблица).

Число видов, количественные показатели численности (N – кл/л) и биомассы (B – мг/л) по годам (2018/2020) в исследованных притоках р. Виллой

№	Участки	Год	Число видов	N	B	Доминирующие виды
1	Р. Ирелях выше дражных полигонов	2018	12	8460	0,023	<i>Diatoma vulgare</i> , <i>Hannaea arcus</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
		2020	20	71,9	0,0006	<i>Cocconeis pediculus</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
2	Р. Ирелях ниже дражных полигонов	2018	7	1620	0,02	<i>Closterium moniliferum</i> , <i>Spirogyra varians</i> , <i>Ulanaria ulna</i>
		2020	9	270	0,001	<i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Sphaerocystis polycocca</i>
3	Устье р. Ирелях	2018	6	20700	0,04	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>
		2020	7	163,0	0,003	<i>Cymatopleura elliptica</i> <i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Spirogyra varians</i>
4	Р. М. Ботубуйа выше устья р. Ирелях	2018	5	16380	0,3	<i>Chantransia sp.</i> , <i>Hannaea arcus</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
		2020	20	3,30	0,0007	<i>Cymatopleura elliptica</i>
5	Р. М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях	2018	4	61350	1,58	<i>Spirogyra condensata</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
		2020	15	371,6	0,006	<i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Cymatopleura elliptica</i> , <i>Pediastrum boryanum</i>
6	Устье р. М. Ботубуйа	2018	5	11565	0,01	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>
		2020	6	62,7	0,0003	<i>Melosira varians</i>
7	Р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа	2018	13	82290	0,20	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Fragilaria virescens</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tolypothrix distorta</i> , <i>Tribonema ulotrichoides</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
		2020	14	2130,5	0,002	<i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Stigeoclonium tenue</i>
8	Р. Виллой ниже устья Р. М. Ботубуйа	2018	9	36405	0,03	<i>Fragilaria virescens</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Tribonema viride</i> , <i>Ulanaria ulna</i>
		2020	14	2865	0,06	<i>Cladophora fracta</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Ulothrix zonata</i>

По количественному развитию водорослей максимальная средняя численность водорослей отмечена на станциях р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа – 82290 кл/л, М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях – 61350 кл/л, р. Виллой ниже устья р. М. Ботубуйа – 36405 кл/л, устье р. Ирелях – 20700 кл/л. Наибольшая биомасса отмечена на участке р. М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях – 1,58 мг/л. В основном в формировании численности и биомассы водорослей участвовали нитчатые зеленые водоросли – *Spirogyra condensata*, *Ulothrix zonata*; диатомовые – *Melosira varians*, *Pinnularia viridis*, *Tabellaria fenestrata*, *Ulnaria ulna*.

Среди диатомовых водорослей есть виды, которые практически постоянно присутствовали в составе фитопланктона рек (*Aulacoseira italica*, *Cymatopleura elliptica*, *Melosira varians*, *Navicula radiosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Ulnaria acus*, *U. ulna* и др.) и являются доминирующими видами на всех исследованных станциях. Кроме диатомовых и зеленых, в формировании численности фитопланктона играли определенную роль виды из синезеленых водорослей – *Aphanizomenon flos-aquae* и др.

По нашим наблюдениям, число видов в 2020 г. немного увеличилось по сравнению с 2018 г. Так, на участке р. Ирелях обнаружено 25 видов водорослей из 4 отделов: Bacillariophyta (17 видов), Chlorophyta (5), Xanthophyta (2), Cyanobacteria (1), среди них число видов на участке выше дражных полигонов – 20 видов, ниже дражных полигонов – 9, в устье – 7 видов. Наибольшая численность водорослей отмечена в реке ниже дражных полигонов (270 кл/л), биомасса в устьевой части реки (0,003 мг/л). Выявлены массовые виды и индикаторы сапробности воды: *Cymatopleura elliptica* (b), *Sphaerocystis polycoeca*, *Spirogyra varians* (b-a), *Stigeoclonium tenue* (a) и др., показывающие сильную антропогенную нагрузку.

На участке р. М. Ботубуйа выявлено 32 вида из 4 отделов: Bacillariophyta (16 видов), Chlorophyta (13), Dinophyta (2), Cyanobacteria (1). Среди исследованных участков наибольшее число видов отмечено на участке выше устья р. Ирелях (20), где средняя численность составила 371,6 кл/л. Биомасса – 0,006 мг/л (ниже устья р. Ирелях). Массовыми видами явились *Cymatopleura elliptica* (b), *Melosira varians* (b), *Pediastrum boryanum* (b), *Stigeoclonium tenue* (a).

На двух участках р. Виллой найдено по 14 видов водорослей. Количественное развитие водорослей низкое. Средняя

численность составила 2865 кл/л, биомасса – 0,06 мг/л (р. Виллой, ниже устья р. Малая Ботубуйа) и 2130,5 кл/л, биомасса 0,002 мг/л (р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа). В пробах часто встречались индикаторы сапробности воды: *Cladophora fracta* (b), *Cymatopleura elliptica* (b), *Fragilaria capucina*, *Pediastrum boryanum* (b), *Stigeoclonium tenue* (a), *Tabellaria fenestrata* (b-o), *Ulothrix zonata* и др.

Индекс биоразнообразия по Шеннону – Уиверу варьирует по точкам отбора проб от 0,19 бит/экз. (р. Виллой участки выше и ниже устья р. М. Ботубуйа) и 1,00 бит/экз. (устье р. Ирелях) до 2,40 бит/экз. (р. М. Ботубуйа в 200 м ниже устья р. Ирелях).

По санитарно-биологической характеристике выявлены массовые виды – индикаторы сапробности воды от β-бета-олигосапробной до β-бета-мезосапробной зоны самоочищения, что говорит о III-м классе чистоты вод, оцениваемых как умеренно загрязненные.

Заключение

В результате оценки степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Виллой к антропогенному воздействию по мерзлотным и биоклиматическим показателям определена степень их устойчивости к антропогенным воздействиям. Северотаежные редколесные и маревые ландшафты обладают преимущественно слабой степенью устойчивости, среднетаежные – средней степенью устойчивости.

В результате исследований современного гидробиологического состояния рек бассейна р. Виллой за 2018 и 2020 гг. определено, что состояние фитопланктона в исследованных участках рек все еще остается под антропогенной нагрузкой. Это подтверждается низким развитием фитопланктона в р. Ирелях, М. Ботубуйа и верхнего течения р. Виллой, состоящих из однообразного видового состава диатомовых и зеленых водорослей. Развитие фитопланктона и его состав, количественные показатели зависят главным образом от уровня режима, концентрации биогенных веществ, рельефа, проточности, степени зарастания высшей прибрежной и водной растительностью в мелководьях.

Кроме антропогенных факторов, важной характеристикой водных объектов является проточность, которая имеет большое значение для формирования качества воды в них и их способности к самоочищению. В связи с этим существует необходимость

мониторинговых долгосрочных гидробиологических наблюдений водных объектов бассейна р. Вилюй.

Список литературы

1. Сидоревич А.С., Инякина Е.Е. Территориальная организация алмазодобывающей промышленности России // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19, № 3. С. 1058–1060.
2. Курочкина А.А., Семенова Ю.Е. Экологические проблемы алмазодобывающей промышленности в условиях Арктики // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 6. С. 56–61.
3. Вилюйский гидроузел: социально-экологические последствия. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plo-tina.net/experts/vilyujskij-gidrouzel-socialno-ekologicheskie-posledstviya/> (дата обращения: 20.04.2023).
4. Вольперт Я.Л. Трансформация наземных экосистем в результате воздействия алмазодобывающей промышленности // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 80–82.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
6. Magurran A.E. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton Univ. Pres. 1988. P. 192.
7. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИПрироды. 2000. 150 с.
8. Guiry M.D. in Guiry G.M. Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 22.06.2023).
9. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты на Нижней Лене и Вилюе // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85–95.
10. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2015 году. Якутск: СВФУ, 2016. 546 с.
11. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
12. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. 1994. № 1. Сер. 5. География. С. 56–65.
13. Николаева Н.А. Устойчивость ландшафтов бассейна р. Вилюй в Западной Якутии // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 88–94.
14. Дрозденко Т.В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. Вып. 2. С. 225–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231.
15. Bessudova A.U., Tomberg I.V., Firsova A.D., Kopyrina L.I., Likhoshway Y.V. Silica-scaled chrysophytes in lakes Labyntyr and Vorota, of the Sakha (Yakutia) Republic, Russia // Nova Hedwigia. 2019. № 148. P. 35–48.

УДК 911.375.631
DOI 10.17513/use.38055

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ КРАТКОСРОЧНОЙ АРЕНДЫ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ЧИТЫ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

¹Седищева А.В., ²Новиков А.Н.

¹ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения
Российской академии наук, Чита, e-mail: nastia_aquarius@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, e-mail: geonov77@mail.ru

Город Чита является центром притяжения жителей из районов Забайкальского края, которые приезжают на короткий срок с целью получения медицинских услуг, отдыха, командировок, поступления в вузы. В данной работе проанализированы географические особенности краткосрочной аренды жилой недвижимости самого развитого из четырех в социально-экономическом плане – Центрального района. Среди методов исследования использование получили: сравнительно-географический, географического зонирования и картографический. Исследуемый район концентрирует большое количество объектов инфраструктуры и имеет самую высокую плотность населения. Доля Центрального района в городском объеме рынка краткосрочной аренды составляет 79%. В границах изучаемого района по показателю плотности сдающихся объектов жилой недвижимости наблюдается поляризация на центр и периферию. Авторы выделили один центральный сектор, с повышенной концентрацией по изучаемому показателю, а также четыре периферийных сектора, где этот показатель ниже. Наиболее востребованным на рынке района является эконом-класс жилья – однокомнатные квартиры. Также в работе были определены факторы, влияющие на ценообразование рынка краткосрочной аренды жилой недвижимости. Вычислены и изучены средние цены на временное размещение по различным категориям жилья.

Ключевые слова: социально-экономическая география, краткосрочная аренда жилья, рынок недвижимости, сравнительно-географический анализ

ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF THE ASSESSMENT OF SHORT-TERM RENTAL OF RESIDENTIAL REAL ESTATE IN THE CENTRAL DISTRICT OF CHITA, TRANS-BAIKAL TERRITORY

¹Sedisheva A.V., ²Novikov A.N.

¹*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: nastia_aquarius@mail.ru;*

²*Transbaikal State University, Chita, e-mail: geonov77@mail.ru*

The city of Chita is the center of attraction for residents from the districts of the Trans-Baikal Territory, who comes for a short time to receive medical services, rest, business trips, and admission to universities. This paper analyzes the geographical features of short-term rental of residential real estate of the most developed in socio-economic terms of the four – the Central district. Among the research methods, the following were used: comparative geographical, geographical zoning and cartographic. The area under study concentrates a large number of infrastructure facilities and has the highest population density. The share of the Central district in the urban volume of the short-term rental market is 79%. Within the boundaries of the studied area, in terms of the density of residential real estate for rent, there is a polarization into the center and periphery. The authors identified one central sector with an increased concentration according to the studied indicator, as well as four peripheral sectors where this indicator is lower. The most popular in the market of the district is economy-class housing – one-room apartments. Also, the factors influencing the pricing of the market for short-term rental of residential real estate were identified in the work. The average prices for temporary accommodation for various categories of housing were calculated and studied.

Keywords: socio-economic geography, short-term rental housing, real estate market, comparative geographical analysis

Актуальность исследования рынка краткосрочной аренды жилья в Чите определена тем, что город является центром притяжения жителей из районов Забайкальского края, которые приезжают на короткий срок с целью получения медицинских услуг, отдыха, командировок, поступления в вузы.

Для выявления исследований по данной проблематике использовалась российская платформа «Elibrary.ru» (по состоянию на январь 2023 г.). Количество публикаций в электронной библиотеке по аренде жи-

лой недвижимости за 2022 г. составило 154. Из них почти половина публикаций – 44% (68 шт.) посвящена проблемам и правовым механизмам регулирования рынка аренды недвижимости [1], 32% (50) – становлению и развитию арендных отношений, а также способам повышения доступности аренды жилья [2], 15% (23) – вопросам ценообразования и сравнению цен на жилую недвижимость в разных регионах [3], 9% (13) – влиянию современных онлайн-платформ на жилищную политику [4].

Работ по городской микрогеографии рынка недвижимости, подразумевающих исследование территориальных различий между центром и периферией, привокзальными (припортовыми) и спальными районами, промышленными и рекреационными территориями, в электронной библиотеке «Elibrary.ru» не обнаружено. Работ по исследованию рынка краткосрочной аренды жилья в Чите ранее не проводилось. Однако нельзя не отметить, что рынок аренды жилья уже попал в сферу изучения географии, но это исследования влияния глобальных процессов образования экономических платформ на формирование городской конкурентной среды и проблем работы крупных гостиц [5].

Цель исследования – экономико-географический анализ оценки краткосрочной аренды жилой недвижимости Центрального района Читы.

Материалы и методы исследования

Первоначальным методом исследования стал пространственно-статистический анализ данных онлайн-платформы «Авито» с целью выявления особенностей территориализации рынка в Чите.

Главным методом исследования является сравнительно-географический, который позволил авторам выделить территориальные различия в плотности предложений в разрезе кварталов ЦР. На основе выявленных различий авторы выделили несколько секторов, что можно признать реализацией метода географического зонирования. Проведенное зонирование показало направление территориальных различий в направлении «центр – периферия».

Выявленные пространственные различия получили визуализацию в виде картографического выражения.

Результаты исследования и их обсуждение

Город Чита находится в Восточной Сибири и является административным центром Забайкальского края. Это крупный транспортный узел, расположенный на площади 534 км².

По оценке Федеральной службы государственной статистики численность населения (постоянных жителей) Читы в 2022 г. составила 350 047 чел. [6]. Плотность населения невысокая – 655 чел./км². Промышленность Читы представлена предприятиями строительной индустрии, машиностроения, энергетики, предприяти-

ями добывающей промышленности, пищевой отрасли [7].

Территория города разделена на четыре административных района: Железнодорожный, Ингодинский, Центральный и Черновский. Каждый из районов отличается особенностями демографического, социально-экономического, культурного развития, обусловленными историей формирования районов, выгодами экономико-географического положения.

Наиболее развитым в социально-экономическом отношении является Центральный район (ЦР) Читы. На востоке и юге ЦР граничит с Ингодинским районом, на западе – с Железнодорожным. С западной и южной частей граница района проходит по р. Чита, а с восточной части – по ул. Столярова. С севера к району примыкает лесной массив.

В настоящее время территория ЦР составляет 83,76 км², площадь застройки 200 га, в состав района входят два поселка: Каштак и Ясный; 12 микрорайонов: Северный, Кольцевой, Сенная Падь, Солнечный, Геофизический, Светлый, Чистые поляны, Гвардейский, Октябрьский, Отрадный, Каштакский, Царский, 138 улиц (в том числе переулки), 41 садовое товарищество.

Район является самым населенным в городе. Согласно данным Росстата от 27.07.2022 численность постоянного населения района на 01.01.2022 года составляет 121 605 чел. [3]. Плотность населения – 1452 чел./км². Удельный вес численности населения района – 34,7% от общей численности городского округа «Город Чита».

По территории района проходит железная дорога протяженностью около 3,5 км, находится железнодорожная станция Чита-П сквозного типа, осуществляющая пассажирские и почтово-багажные перевозки. Основная протяженность троллейбусных линий приходится на ЦР. Сеть автомобильных дорог с твердым покрытием имеет выход на загородные автотрассы: Чита – Улан-Удэ, Чита – Хабаровск. На территории района расположен аэродром РОСТО севернее п. Каштак [6].

Центральный район динамично развивается и обладает мощным экономическим потенциалом. На его территории расположено 5089 организаций, предприятий, учреждений различных форм собственности и организационно-правовых форм. Основными отраслями являются: энергетика, связь, машиностроение, пищевая отрасль. <...> В районе сосредоточено около 3000 объектов потребительского рынка. Это

составляет 49,2% от общего числа объектов по городу. Из них предприятий торговли порядка 2000, общественного питания – 380, количество предприятий по оказанию услуг – 480 [8].

На территории района находятся ведущие объекты социальной инфраструктуры: учреждения здравоохранения, образования, культуры. В ЦР активно развивается строительство. За последние годы увеличилось строительство зданий, появились новые микрорайоны. Введение в эксплуатацию новых жилых объектов создает благоприятные условия для расширения рынка аренды жилой недвижимости.

В представленной работе было использовано общепринятое деление жилой недвижимости на классы: элит-класс, бизнес-класс и эконом-класс [9].

В процессе исследования было выявлено, что преобладающее число предложений посуточной аренды жилья приходится на ЦР Читы (всего предложений по городу – 505, из них в ЦР – 399). Его доля составляет 79% от всего объема рынка краткосрочной аренды (данные на январь 2023 г.). Поэтому в данной статье именно этот район был выбран для анализа.

В Центральном районе, по данным сайта «Авито», преобладающая часть предложений – 88% (352 из 399) представлена объектами недвижимости эконом-класса. Из всех предложений по эконом-классу 71% (286) составляют однокомнатные квартиры (рис. 1), 15% (58) – двухкомнатные и 2% (8) – трехкомнатные. Квартиры бизнес-класса занимают – 11% (43), а элит-класса всего

1% (4). Из этого следует, что объекты эконом-класса, в особенности однокомнатные квартиры, – самый востребованный вид жилой недвижимости в Чите. Это объясняется низкими затратами на временное размещение гостей города.

Из таблицы видно, что однокомнатные квартиры эконом-класса предлагают минимальную стоимость аренды – 1300 руб./сутки и соответственно минимальную среднюю стоимость аренды – 1859 руб./сутки. Для сравнения в Москве средняя цена аренды за сутки аналогичного жилья составляет 2563 руб./сутки, в Новосибирске – 2249 руб./сутки, Иркутске – 2413 руб./сутки, Улан-Удэ – 1808 руб./сутки, Хабаровске – 2075 руб./сутки, Владивостоке – 2733 руб./сутки. Данные для расчета средней цены взяты с платформы «Cian.ru».

По данным на конец 2022 г. средняя стоимость аренды квартиры в Чите за сутки составляла 2991 руб. Средний диапазон цен на краткосрочную аренду недвижимости элит-класса варьировался от 2700 до 10000 руб./сутки; бизнес-класса – от 1500 до 5000 руб./сутки; эконом-класса – от 1300 до 4000 руб./сутки. Такой широкий диапазон цен обусловлен многими факторами: состояние объекта недвижимости (качество ремонта, наличие балкона), местоположение дома, возраст здания, этажность, уровень инфраструктуры района, благоустройство придомовой территории.

Применив картографический метод исследования, авторы разделили ЦР на секторы плотности сдающихся объектов жилой недвижимости: I–VI (рис. 2).

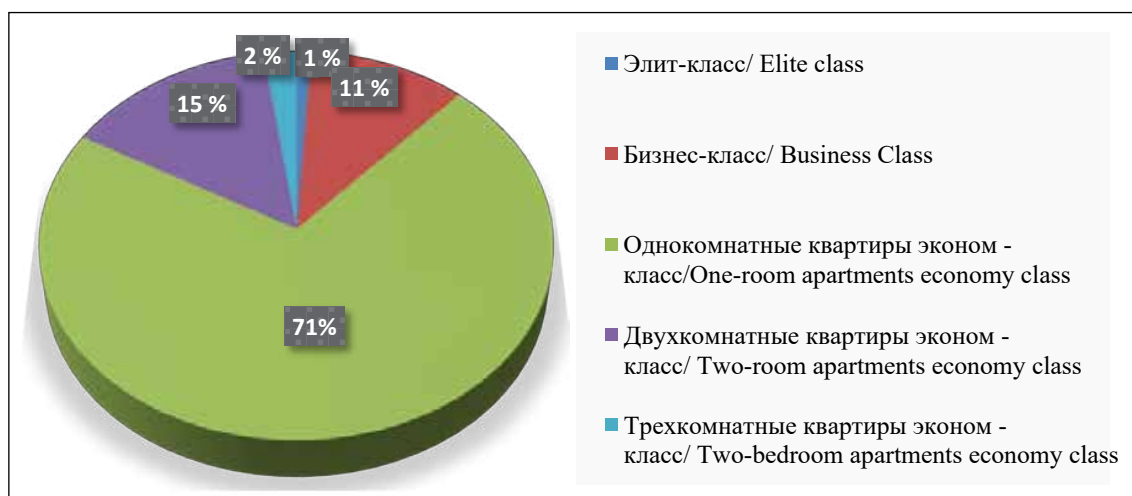


Рис. 1. Краткосрочная аренда жилья Центрального района г. Читы (декабрь 2022 г.)

Стоимость предложения на рынке краткосрочной аренды жилья
Центрального района г. Читы (руб./сутки, декабрь 2022 г.)

Класс жилья	Минимальная стоимость	Максимальная стоимость	Средняя стоимость
Элит-класс	2700	10000	4875
Бизнес-класс	1500	5000	2826
Эконом-класс:			
– однокомнатные	1300	3000	1859
– двухкомнатные	1600	4000	2421
– трехкомнатные	2000	4000	2978

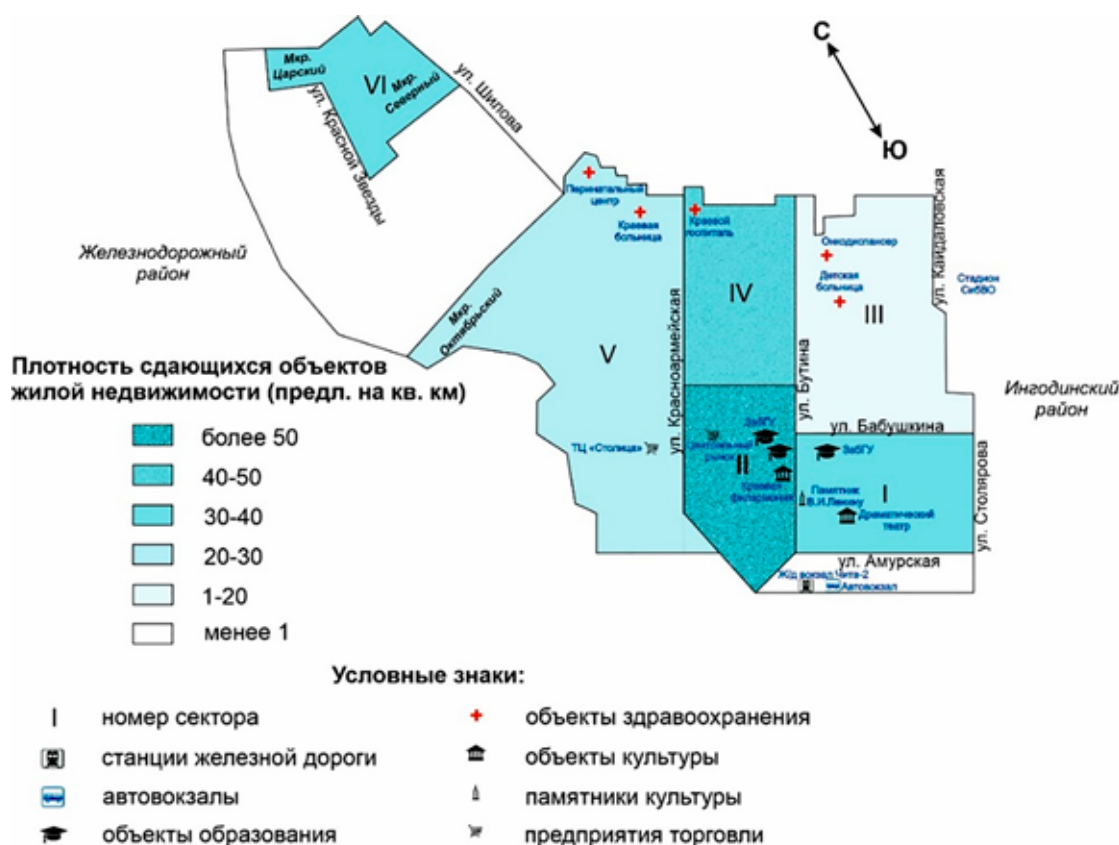


Рис. 2. Плотность сдающихся объектов жилой недвижимости

Сектор с самой высокой плотностью предложений – II (115 предл./км²) ограничен улицами: Бутина, Угданская, Красноармейская. Этот сектор площадью 1,17 км² выделяется на фоне остальных большим количеством предложений, превышая следующий сектор по данной величине в 3 раза. Это объясняется сосредоточением важных социальных объектов. Так, например, здесь находится значительная часть объектов высшего образования: корпуса Забайкальского государственного университета (ул.

Чкалова, 140; ул. Бабушкина, 125; ул. Бабушкина, 129; ул. Бабушкина, 143; ул. Журавлева, 48; ул. Бутина, 65; ул. Кастринская 1/1; ул. Кастринская 1/2). А также ссузы: Читинский техникум отраслевых технологий, Читинский техникум железнодорожного транспорта (филиал ЗаБИЖТ); профессионально ориентированные школы: многопрофильный лицей (филиал ЗаБГУ), лицей для одаренных и творческих детей (филиал ЗаБКУИ). На территории сектора расположены основные предприятия розничной тор-

говли города: ТК «Центральный», ТК «Старый рынок», ТЦ «Ся-ян», ТЦ «Европейский», ТЦ «LikerkaPlaza», ТЦ «Империал», ТЦ «Меркурий», ТЦ «Галерея», ТЦ «Фестиваль», ТЦ «Город Мастеров», ТЦ «Березка», ТЦ «Виктория», ТЦ «Панорама», ТЦ «Богилья», ТЦ «Искра», ТЦ «Елизаветинский», ТЦ «Мона Лиза», ТЦ «Караван», ТЦ «PLAZA». Объекты здравоохранения: Забайкальский краевой центр медицинской реабилитации, поликлиническое подразделение № 2, железнодорожная поликлиника, многопрофильные медицинские клиники («Аркмед», «Здоровье»). Культурные объекты инфраструктуры: Забайкальская краевая филармония им. О.Л. Лундстрема, театр песни и танца «Забайкалье», центральная детская музыкальная школа им. Б.Г. Павликовской, дворец молодежи «Мегаполис». Среди памятников архитектуры отметим Читинский почтамт, кинотеатр «Родина», памятник борцам за советскую власть в Забайкалье, дом архитектора Никитина, особняк Полутова и др.

В южной части сектор II находится в непосредственной близости с железнодорожным и автовокзалами. Сектор имеет разветвленную сеть аптек, предприятий общественного питания. Все это свидетельствует об очень развитом уровне инфраструктуры, высокой транспортной доступности и эстетической привлекательности данного сектора. Этот сектор пользуется большим спросом среди местного и приезжего населения, поэтому количество предложений на 1 км² превышает все остальные в несколько раз.

Показатель плотности сдающихся объектов во всех направлениях от сектора II уменьшается, но с разной интенсивностью. Сектор IV, граничащий с II на северо-востоке по ул. Угданской, продолжаясь вдоль по тем же улицам до лесопарковой зоны, снижает плотность сдающихся объектов жилой недвижимости до 41 предл./км². На этой территории уровень транспортной освоенности достаточно высок, имеются несколько парковых зон отдыха, медицинских учреждений городского и краевого значений, развита сеть торговли, объектов общественного питания. Но в отличие от предыдущего сектора, с которым они имеют одинаковую площадь, в этом отсутствуют архитектурные памятники, культурные объекты, образовательные учреждения среднего и высшего звена, плотность инфраструктурных сооружений гораздо ниже.

Следующий по убыванию плотности сектор – I с площадью 1,01 км². Плотность сдающихся объектов жилой недвижимости – 39 предл./км². Ему соответствует территория, ограниченная улицами: Бутина, Бабушкина, Столярова, Амурская. Этот сектор является частью исторического центра г. Читы, поэтому здесь находится большое количество объектов старинной и современной архитектуры: (храмы, соборы, церкви, дома купцов, офицеров, доходные дома). Также в этом секторе расположены объекты высшего и среднего образования: Забайкальский институт предпринимательства, Читинский институт (филиал БГУ), Забайкальский государственный университет, Читинский медицинский колледж, Читинский политехнический колледж. Кроме того, в секторе локализованы объекты здравоохранения (поликлинические подразделения различных ведомств); объекты культуры (Забайкальский краевой драматический театр, Дом офицеров Забайкальского края, Забайкальский краевой краеведческий музей им. А.К. Кузнецова, музейно-выставочный центр Забайкальского края, музей МВД по Забайкальскому краю, Забайкальская краевая универсальная научная библиотека им. А.С. Пушкина, кинотеатр «Удокан»). Имеются в секторе и места рекреации: площадь им. В.И. Ленина, парк «Окружного дома офицеров Российской армии», площадь Декабристов. В данном секторе плотность сдающейся недвижимости снижается из-за невысокой плотности жилой застройки.

Схожим по плотности сдающихся объектов жилой недвижимости (32 предл./км²) является сектор VI. Площадь территории – 0,75 км². В его состав входят микрорайоны Северный и Царский. Инфраструктура района включает в себя социально значимые объекты: поликлиники, образовательные учреждения дошкольного и школьного звена, предприятия торговли и общественного питания. Местами рекреации здесь служат небольшие площадки для отдыха, Аллея Славы и Мужества, лесная зона, примыкающая к Северному микрорайону с востока. В этом секторе большое количество домов с улучшенной планировкой и построенных в последние десятилетия. Экологическая составляющая городской среды в этих микрорайонах гораздо благоприятнее, чем в историческом центре, транспортная доступность на высоком уровне, но небольшая удаленность от центра снижает плот-

ность сдающихся объектов жилой недвижимости и спрос на нее.

Самую большую территорию в ЦР занимает сектор V, площадью – 3,4 км² и плотностью сдающихся объектов жилой недвижимости – 25 предл./км². Одним из факторов, снижающих плотность, является низкая плотность жилой застройки и занятость больших территорий другими объектами. Так, на северо-востоке сектора территория площадью 0,5 км² занята организациями здравоохранения, где сконцентрированы такие объекты, как краевая клиническая больница, краевой перинатальный центр, краевая детская больница № 2, инновационная клиника «Академия Здоровья», краевой кожно-венерологический диспансер и др. С западной стороны ул. Шилова располагаются городской родильный дом, детский клинический медицинский центр, станция скорой медицинской помощи, клиника медакадемии. Кроме этого, более 1 км² (30%) территории занято частной и малоэтажной жилой застройкой, гаражными кооперативами. Концентрация объектов социального обслуживания, образования, культуры в этом секторе невысокая. Транспортная доступность имеет хорошие показатели, общественный транспорт здесь представлен троллейбусами, автобусами и маршрутными такси. В связи с этим предложения по аренде недвижимости в основном сосредоточены в непосредственной близости с линиями маршрутов общественного транспорта. В целом по причинам, описанным выше, сектор имеет низкую плотность сдающихся объектов жилой недвижимости.

Самым разреженным сектором по описываемому нами показателю является сектор III, ограниченный ул. Бутина, Бабушкина, Столярова, стадионом СибВО и лесным массивом. Площадь этой территории – 1,88 км², плотность сдающихся объектов жилой недвижимости – 18 предл./км². Экологическая обстановка на большей части сектора благоприятная для проживания. Объекты культуры, образования, обслуживания населения представлены, но не так широко, как в соседних секторах. Сеть общественного транспорта хорошо развита только по ул. Бутина и Бабушкина, на остальной части представлена плохо. Так, например, со спортивного комплекса СибВО, являющегося местом отдыха и занятия спортом и пользующегося большим спросом среди горожан и го-

стей города, невозможно уехать во многие районы Читы, даже до такого важного объекта, как железнодорожный вокзал, который расположен в 2 км от него. От этого неудобства в первую очередь страдают местные жители, а приезжие не выбирают объекты для аренды, находящиеся в таких труднодоступных местах. Организации здравоохранения здесь представлены хорошо, но большая их часть расположена на севере сектора и тяготеет к границе с соседним сектором IV, где социальная инфраструктура развита лучше и с которым сектор III конкурирует. Кроме того, хорошая экологическая обстановка, отсутствие интенсивного транспортного движения, шумового загрязнения создают здесь благоприятные условия для проживания, поэтому собственники жилой недвижимости в этом секторе предпочитают пользоваться самостоятельно своим имуществом, а не сдавать его в аренду.

Выводы

Впервые для исследуемой территории выявлены особенности территориализации краткосрочного рынка аренды жилья. Проведенный экономико-географический анализ стоимости краткосрочной аренды жилой недвижимости и географическое зонирование ЦР позволяют сделать следующие выводы:

1. Самым востребованным видом жилой недвижимости в Чите являются однокомнатные квартиры эконом-класса.

2. В сравнении с другими административными центрами средняя стоимость аренды однокомнатных квартир эконом-класса г. Читы является самой низкой, за исключением г. Улан-Удэ.

3. Широкий диапазон цен в одной категории жилья обусловлен многими факторами: состояние объекта недвижимости, местоположение дома, возраст здания, этажность, уровень инфраструктуры района, благоустройство придомовой территории, транспортная доступность района.

4. Территориальные различия в ЦР прослеживаются в направлении «центр – периферия».

5. На территориальные различия плотности сдающихся объектов жилой недвижимости влияют следующие факторы: плотность жилой городской застройки, инфраструктурная оснащенность, уровень развития транспортной сети, близость или отдаленность от центра города.

Список литературы

1. Кузнецов Д.А. «Теневая» аренда жилья: проблемы, пути решения // Вестник Академии знаний. 2020. № 41 (6). С. 187–191.
2. Соболева Е.О. Социальная аренда жилья в правовом аспекте: национальный и европейский опыт // Интернаука. 2018. Т. 3. № 9 (49). С. 77–79.
3. Багуля В.С. Анализ рынка посуточной аренды жилья в Санкт-Петербурге // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2019. № 4. С. 28–32.
4. Скорых Н.Н., Вальяк Н.И. Тенденции реализации государственной политики Новосибирской области в жилищной сфере // Дискурс. 2018. № 5 (19). С. 233–243.
5. Блануца В.И. Географическое изучение платформенной экономики: существующие и возможные подходы // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 2. С. 155–167.
6. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 27.05.2023).
7. Торгово-промышленный портал Метапром – отраслевые межрегиональные торговые площадки. [Электронный ресурс]. URL: <https://metaprom.ru/regions/chita.html> (дата обращения: 20.05.2023).
8. Ермоленко Е.Е. Образовательная система в условиях конкурентной среды: предпосылки развития, территориальная дифференциация (на примере учреждений среднего общего (полного) образования г. Читы): дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 2014. 178 с.
9. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Девелопмент недвижимости: Справочник для профессионалов. М.: Омега-Л, 2009. 1034 с.

СТАТЬИ

УДК 552.086

DOI 10.17513/use.38056

**ГЕОЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ЧЕРТЫ ДЕВОНСКОГО ВУЛКАНИЗМА
РАСТАЙСКОГО ГРАБЕН-РИФТА (КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)****Гринёв О.М., Адылбаев Р.Р., Семиряков А.С., Морозова Е.Н.***ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, e-mail: tomskgrom@yandex.ru, ruslan_ggf@mail.ru*

Изучение Растайского грабена показало, что он приурочен к унаследованной зоне глубинного разлома и формировался в осевой зоне растяжения девонского палеосвода, в пределах которого размещается Кузнецко-Алатауская щелочная провинция. В пределах грабена установлено два типа морфо-структур: вулканические, сложенные ритмичным переслаиванием базальтов, и вулcano-плутонические купольные, в которых вулканические купола интродированы телами щелочных габброидов провинции. Стратиграфическое и петрографическое изучение вулканитов грабена послужило основанием к корреляции нижней, средней и верхней его толщ со свитами Горячегогорского вулканического плато северо-восточной части провинции. Петрографический и вещественный состав вулканитов показал, что нижняя толща грабена коррелируется с трахибазальт-базальтовой базальтовой свитой плато, средняя – с базанит-тефрит-фонолитовой берешской свитой плато. Анализ петро-геохимических данных установил в составе вулканитов три (серии) тренда: субщелочной (базальский), щелочно-базальтоидный (берешский) и фойдитовый, соответствующий нижней части берешской свиты плато. В качестве исходных расплавов магмогенерирующего очага рассматриваются трахипикробазальты и пикробазальты, которые формировались под воздействием тепла девонского плюма и его флюидной составляющей, обусловивших взаимодействие вылавок с литосферной гетерогенной мантией и низами земной консолидированной коры. Кроме вещества плюма, шпинелевого и гранат-шпинелевого лерцолита (протолита) геохимически в составе вулканитов установлено участие вещества PM, EM2, E-MORB, OIB, IAB и земной коры (BCC и ACC). По составу вулканиты грабена специализированы на Al, Ti, P, Fe, Ca, Na, K, Sr, Ba, U, Th, Nb, Ta, Zr, P3Э и сопоставимы с щелочными базальтами рифтовых зон. С вулканитами грабенов связана барит-полиметаллическая, редкоземельно-редкометалльно-радиоактивная минерализация и золото-серебро-висмутовая аномалия. Одна из купольных вулcano-плутонических морфо-структур перспективна на обнаружение уртитов Кия-Шалтырского типа.

Ключевые слова: Растайский грабен, Кузнецкий Алатау, Алтай-Саянская складчатая область, морфо-структура*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 20–35–90032, а также ООО «НПО ГРИМС».***PETROGRAPHY, PETROLOGY AND VOLCANO-PLUTONIC MAGMATISM
OF THE RASTAY GRABEN-RIFT (KUZNETSK ALATAU)****Grinev O.M., Adylbaev R.R., Semiryakov A.S., Morozova E.N.***National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: tomskgrom@yandex.ru, ruslan_ggf@mail.ru*

The study of the Rastay graben showed that it is confined to the inherited deep fault zone and was formed in the axial extension zone of the devonian palaeosphere, within which the Kuznetsk-Alatau alkaline province is located. Two types of morphostructures have been established within the graben: volcanic, composed of rhythmically interbedded basalts, and volcano-plutonic domes, in which volcanic domes are intruded by bodies of alkaline gabbroids of the province. Stratigraphic and petrographic studies of the graben volcanics have led to the correlation of the lower, middle and upper strata with the Goryachegorskiy volcanic plateau formations in the northeastern part of the province. Petrographic and material composition of volcanics showed that the lower sequence of the graben correlates with the trachybasalt-basaltic bazarskaya formation of the plateau, the middle sequence with the basaltic-tephritic-phonolitic Bersh Formation of the plateau. The analysis of petro-geochemical data revealed three (series) trends in the composition of volcanics: subalkaline (Bazarskiy), alkaline-basaltic (Bereshkiy) and foiditic, corresponding to the lower part of the bereshskaya plateau formation. Trachypicrobasalts and microbasalts are considered as initial melts of the magma generating chamber, which were formed under the influence of heat of devonian plume and its fluid component, which caused interaction of melts with lithospheric heterogeneous mantle and lower earth consolidated crust. In addition to the substance of the spinel plume and garnet-spinel lherzolite (protolith), participation of the substance of PM, EM2, E-MORB, OIB, IAB, and crust (BCC and ACC) is established geochemically in composition of volcanics. By composition, the graben volcanics are specialized in Al, Ti, P, Fe, Ca, Na, K, Sr, Ba, U, Th, Nb, Ta, Zr, REE and are comparable to the alkaline basalts of the rift zones. Barite-polymetallic, rare-earth-rare-metal-radioactive and gold-silver-bismuth anomalies are associated with the graben volcanics. One of the domed volcano-plutonic morphostructures is promising for the discovery of Kiya-Shaltyrskiy type urtites.

Keywords: Rastayskiy graben, Kuznetsk Alatau, Altai-Sayan folded region, propilitization*The study was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20–35–90032, as well as by NPO GRIMS LLC.*

Щелочные породы во всем мире привлекают пристальное внимание специалистов по двум причинам. Во-первых, эти редкие образования являются индикаторами глубинных мантийных процессов, включая геодинамические режимы. Во-вторых, с комплексами щелочных пород связаны крупные и уникальные месторождения большинства стратегических металлов.

В северо-восточной части Кузнецкого Алатау расположена широко известная щелочно-габброидная провинция, в которой девонский магматизм проявился в виде грабен-рифтовых вулканитов, включая Растайский грабен-рифт, а также в совокупности щелочно-габброидных плутонов, нередко тесно ассоциирующих с грабенами. С массивами провинции связаны крупные месторождения нефелиновых руд с сопутствующим золото-платиноидным оруденением. С грабенами известны геохимические и геофизические редкоземельно-радиоактивные аномалии и россыпи золота, но их коренные источники пока не определены. На богатых нефелиновых рудах уртитах (фоидолитах) больше полувека работает крупнейший в мире Ачинский глиноземный комбинат (АГК). Однако руды разрабатываемого Кия-Шалтырского месторождения на исходе, и в связи с этим остро стоит проблема поиска новых подобных объектов.

Из истории следует отметить, что первые находки нефелиновых пород в регионе были сделаны в конце XIX и начале XX в. В 1971 г. был запущен АГК, однако первое системное описание щелочного магматизма провинции было выполнено только в 1990 г. одним из авторов настоящей статьи. В последующие 30 лет породы массивов изучались геохимически и изотопно-геохимически. А вот грабены провинции и их вулканиты оставались вне поля зрения исследователей, несмотря на то, что именно они соединялись с прямыми каналами в мантийные глубины, в которых зарождался щелочной магматизм, достигал земной поверхности или застывал на глубине в виде щелочно-габброидных плутонов. Положение дел не изменилось и после последней государственной геологической съемки масштаба 1:200000 (лист N-45-XI, Белогорск, 2019). По этой причине авторами была составлена программа специального изучения грабен-рифтов и их магматитов с целью оценки их петрологических, геодинамических и минерагенических особенностей. Растайский грабен расположен в центральной труднодоступной части провинции по соседству с действующим Кия-Шалтырским рудником.

Научная значимость. Для грабена впервые проведен морфотектонический анализ, позволивший определить его раздвиговую природу в пределах формировавшегося в девоне сводового поднятия Кузнецкого Алатау. Установленные в пределах грабена купольные вулcano-плутонические морфоструктуры свидетельствуют о вулcano-плутоническом характере магматизма грабена и щелочной Кузнецко-Алатаусской провинции в целом. В составе вулканитов грабена установлены три тренда дифференциации магм: субщелочной трахибазальтовый, щелочной – тефрит-фонотефритовый и высокощелочной – фоидитовый, максимально нефелиноносный для провинции. Породы трендов обладают геохимическим родством и характерной для щелочных образований минерагенической специализацией, имеющей минералогическое выражение. Источники магматизма имели плюмово-рифтогенную природу с источниками типа PM, EM2, OIB, IAB и E-MORB с участием вещества литосферной мантии и корового материала.

Практическая значимость. Изучена потенциально рудоносная морфоструктура, в пределах которой установлены частные морфоструктуры с прогнозируемым в одной из них фоидолитовым оруденением, подобным Кия-Шалтырскому. Это подтверждается установленными петрохимическими трендами дифференциации, характерными для грабена и провинции в целом. Для пород установлены геохимические и минералогические признаки редкометалльно-редкоземельно-радиоактивного оруденения, представленного минералами, характерными для промышленного оруденения подобного типа. Оруденение имеет барит-полиметаллическую, редкоземельно-радиоактивную и висмут-золото-серебряную специализацию.

Цель исследования – на основе изучения морфотектоники, стратиграфии, вещественного состава вулканитов и структуры Растайского грабен-рифта, взаимоотношений, корреляции его с вулканитами Горячегогорского плато и плутонами, охарактеризовать его как один из основных типов вулcano-плутонических структур исследуемой Кузнецко-Алатауской щелочно-базитовой провинции.

Материалы и методы исследования

Методика исследования имела комплексный характер, позволяющий получить данные как по геолого-тектоническим, так и по минералого-геохимическим, петро-

логическим и минерагеническим аспектам проявления субщелочного и щелочного магматизма грабена.

Геолого-тектоническая информация получалась непосредственно в районе в ходе маршрутных пересечений грабена, разрезов вулканитов, с параллельным отбором образцов пород, сопровождаемым привязкой по GPS. Впервые для грабена проведен морфоструктурный анализ на современной космической фотооснове и с использованием теневого рельефа. Метод позволяет оценить морфологические особенности структуры, ее внутреннее строение, взаимоотношение с вмещающими толщами. Каменный представительный материал основных фаций магматитов изучался под микроскопом в проходящем и отраженном свете с фотофиксацией структур, текстур, минерального состава пород. Далее породы изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ) методом построчного сканирования препаратов с целью не только определения порообразующих минералов, но и микровключений в них (не менее 3–5 мкм), определением их спектров и состава, формы выделений для установления минерагенической специфики оруденения магматизма. Изучение вещества пород, помимо исследований на РЭМе, проводилось определением их петрохимического состава, а также геохимического спектра микроэлементов. Интерпретация материалов выполнялась при помощи диаграмм, применяемых для уточнения классификации и номенклатуры пород, геохимической их специфики путем сравнения спектров с известными реперами геодинамических режимов (OIB, IAB, N-MORB, E-MORB и др.).

Приборная база проводимых анализов в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» НИ ТГУ ГГФ характеризуется следующим образом: а) определение концентраций микроэлементного состава горных пород проводилось методом индуктивно-связанной плазмы масс-спектрометрии (ICP-MS) (Agilent 7500cx); б) состав и содержание петрогенных элементов определялись методом ICP-AES (iCAP 7400 Duo); в) минералогические исследования и изучения внутренней структуры пород устанавливались на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU с использованием энерго-дисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy 350, детекторов обратно-рассеянных электронов и детектора катодолюминесценции.

Для ряда представительных образцов проводились изотопно-геохимические ис-

следования Sm-Nd, Rb-Sr, а также определение их возраста U-Pb методом по цирконам.

Результаты исследования и их обсуждение

Протяженность субмеридионального Рас-тайского грабена составляет около 34–35 км, хотя останцы и тектонические клинья девонских вулканогенно-терригенных пород, присутствующие в ряде мест за пределами грабена, свидетельствуют, что первоначально он имел протяженность не менее 40 км при ширине в 3–7 км. Отчетливо проявлены вариации по ширине грабена, обуславливающие его четковидное строение в плане. В современной структуре видны три четковидные расширения и разделяющие их сужения (шейки) грабена, шириной до 1,5–2 км. В северной части к основному стволу грабена причленяется дополнительная грабенообразная структура – Вехнепетропавловская, имеющая восток-северо-восточное простирание и размеры 7x2,5x–1,5 км (рис. 1, б). Заложение грабена предопределялось растяжением совокупности продольных и поперечных разломов, первые из которых являются ответвлениями от Кузнецко-Алатауского линеамента. Растяжение и сдвиговые напряжения осуществлялись на фоне роста раннедевонского магматогенного куполообразного свода [1] в пределах провинции. В односторонних сегментах грабена наблюдается резко несогласное залегание девонских толщ на складчато-глыбовых сооружениях додевонского цоколя (R–V–C) (рис. 1, а, б).

Вулканы Растайского грабена представлены тремя дифференцированными сериями: короткой субщелочной трахибазальтовой; наиболее полной щелочных базальтоидов; и короткой основных фойдитов Na и в основном K-Na рядов. По составу и последовательности формирования они сопоставимы с вулканитами базырской и берешской свит Горячегогорского плато провинции. Размещение Растайского грабена в осевой зоне ареала щелочной провинции и петро-геохимическая идентичность с вулканитами Горячегогорского плато [2, 3] подтверждают их принадлежность к единой вулканоплутонической щелочной провинции Кузнецкого Алатау.

Феномен вулканизма грабена и Горячегогорского плато состоит в последовательном формировании в начале субщелочной, затем щелочной и завершающей снова субщелочной серии вулканитов, которые пред-

шествовали и сопровождали формирование щелочно-мафитовых плутонов.

Изотопно-геохронологические исследования цирконов из вулканитов U-Pb методом показали на повсеместное нарушение U-Pb изотопной системы минерала, вследствие чего был получен лишь ориентировочный (омоложенный) возраст вулканитов (берешиты – $385 \pm 9,29$ млн лет; трахибазальты – $373,28 \pm 9,78$ млн лет), который не отражает их истинный возраст. Требуются дополнительные исследования подобного рода и, вероятнее всего, на основе изучения бадделита. Тем не менее установлен факт нарушения изотопной системы цирконов из вулканитов, по-видимому, связанный с поствулканическим прогревом пород. Это может быть связано, например, с внедрением тел щелочно-габброидного комплекса (габбро, тералитов), внедрением даек того же состава, а также развитием повсеместной кливажной трещиноватости по вулканитам, выполненной карбонат-кварцевыми жилами, проявлениями барит-полиметаллической и редкоземельно-редкометалльной-радиоактивной минерализации.

Морфотектоника и взаимоотношения девонского вулканизма и плутонизма грабена

Заложение и формирование Растайского грабена сопровождалось не только активным вулканизмом, но и внедрением щелочно-габброидных плутонов. Это подтверждает вулкано-плутонический характер как грабена, так и Кузнецко-Алатауской щелочно-мафитовой провинции и дает возможность оценить характер взаимоотношений вулканитов и комагматичных им щелочно-габброидных плутонов. Важным обстоятельством в этом отношении является расположение грабена во внутренней зоне ареала развития провинции и в ассоциации с несколькими плутонами, тогда как большинство плутонов ареала непосредственной связи с вулканитами не имеют.

В соответствии с доминирующим составом пород [4] в пределах провинции выделены петрографические зоны: южная – габбро-уртитовая; средняя – габбро-тералит-плаггиоклазовый ийолит – нефелин-сиенитовая; и северная – плаггиоклазовый ийолит-полевошпатовый уртит – нефелин-сиенитовая. Массивы Подтайга, Урюпский, Учкурюпский и Горячегогорский прорывают вулканиты базырской и берешской свит Горячегогорского плагио, расположенного в северо-восточной части провинции (рис. 1, б).

Урюпский шток и Подтайга образуют небольшие вулкано-плутонические постройки с соответствующими по составу вулканитами берешской свиты – берешитами и нефелинитами соответственно. Из остальных плутонов провинции только Бархатно-Кийский прорывает вулканиты Растайского грабена.

Тектоническая позиция Растайского и других грабенов Мартайги. Обстановка грабенообразования предопределяется строением дорифтового субстрата и характером рифтогенной активизации. Это относится и к грабенам северо-восточной части Кузнецкого Алатау – Саралинскому, Растайскому и Талановскому. Для них прослеживаются два основных фактора дорифтового контроля. Первый из них заключается в контроле грабенов унаследованными зонами глубинных разломов, являющихся ответвлениями от Кузнецко-Алатауского линеймента. Примечательно, что Растайский грабен занимает в пределах ареала провинции срединное положение, а кулисно расположенные к нему Саралинский [5] и Талановский также приурочены к глубинным разломам, ограничивающим Мартайгинский блок с востока и запада, предопределяя его горстообразный характер по отношению к Минусинскому прогибу с востока и Кузнецкому прогибу с запада. Это определяет тектоническую позицию Кузнецкого Алатау как обрамляющего западного плеча девонского Алтае-Саянского палеорифта [6]. Второй фактор контроля заключается в геологическом строении Мартайгинского блока, в котором и размещается Кузнецко-Алатауская щелочная провинция раннего девона. Мартайгинский геоблок отличается аномальной насыщенностью магматическими образованиями PR, C–O и D [7, 8]. Общая площадь магматов явно превышает стратифицированные осадочные толщи. На этом фоне выделяется так называемый Мартайгинский магматоген (выражение мартайгинских геологов). Он представлен глубоко эродированным площадным вулканогенным ареалом бериккульской свиты (C₂) с сохранившимися от эрозии реликтами вулканов центрального типа, представляющими господствующие вершины региона. В ходе раннедевонской плюм-рифтогенной активизации [9–11] произошло обновление как глубинных проницаемых зон, контролирующих грабены, так и сводообразного эродированного Мартайгинского магматогена, испытывавшего повторное сводообразование.

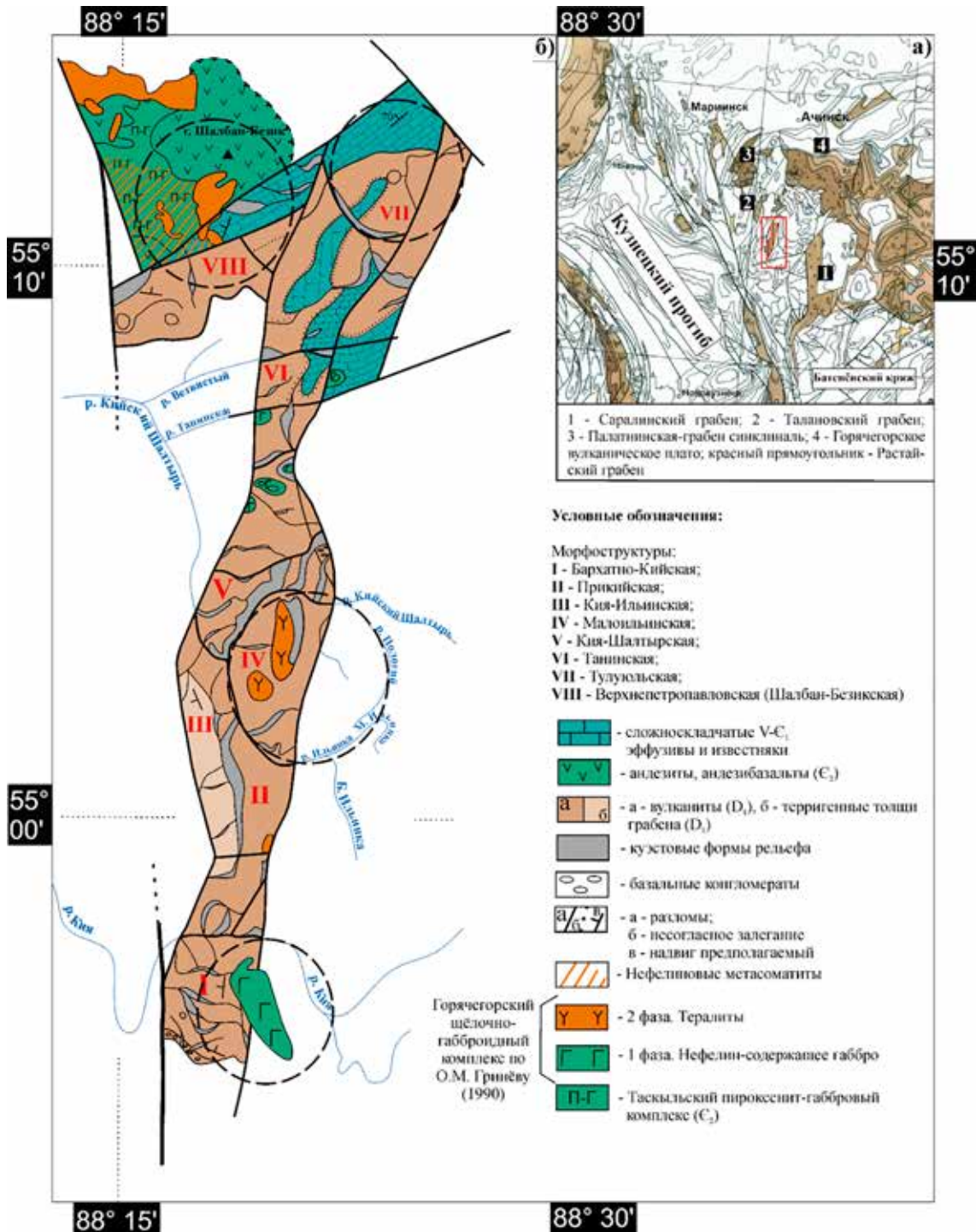


Рис. 1 (а, б). Внемасштабная схема выделенных основных типов вулcano-тектонических морфоструктур Растайского грабена

Морфоструктуры Растайского грабена. Расположение грабена в осевой продольной зоне девонского палеосвода Мартайги и форма грабена в плане с характерными раздувами и сужениями говорит о его формировании вследствие присводового рас-

тяжения-раздвига. Двухбортное строение южной половины грабена указывает на более интенсивные раздвиговые напряжения в этой части свода. Однобортный характер северной половины грабена показывает на проницаемость для вулканизма только

западного продольного разлома, ограничивающего его борт. В целом система структурообразующих разломов имеет у грабена типичный рифтовый характер: продольные прибортовые разломы раздвигового типа пересекаются поперечными (трансформными) нарушениями, делящими грабен на сегменты примерно равного размера.

Среди этих блоков-сегментов установлены два основных типа частных морфоструктур: 1) депрессионно-вулканические, выполненные приразломным напластованием лав, обладающих куэстообразным типом рельефа, отражающим ритмично-импульсный характер приразломного вулканизма. Потоки слагают пачки, а пачки – ритмы, слагающие толщи; 2) второй тип морфоструктур связан с раздувами грабена по ширине, в которых фоновый куэстообразный рельеф нарушается формированием купольных вулкано-плутонических построек. Выделяются три таких постройки: Бархатно-Кийская; Малоильинская и Верхнепетропавловская (Шалбан-Безикская). Основой их строения являются купольно-кольцевые вулканические постройки, интродуцированные сравнительно крупными телами щелочных габброидов. Характерно, что эти морфоструктуры «насажены» на ограничивающие грабен продольные разломы. Одна их часть располагается внутри грабена, а другая размещается в пределах обрамляющего «плеча» грабена, сложенного породами дорифтового цоколя (рис. 1, а). Характерно также, что в пределах грабена откартировано множество мелких штоков габбро, тералитов, но они не формируют купольных морфоструктур. Выделенные и в разной степени эродированные купольные вулкано-плутонические морфоструктуры непосредственно связаны с грабеном, но имеют при этом обособленную структурно-тектоническую позицию и согласованно вписаны в петрографическую зональность щелочной провинции. Плутоны выделенных морфоструктур связаны с вулканидами грабенов парагенетически и представляют собой самостоятельный этап интрузивного магматизма в рамках раннедевонского рифтогенного режима.

Стратиграфия и последовательность формирования магматитов грабена

В отсутствие вскрытого разреза грабена и его слабой обнаженности, стратиграфическая и петрогеохимическая корреляция толщ вулканидов грабена с базырской, берешской и ашпанской свитами горячего-

ского стратотипа позволяет воссоздать этот разрез с естественной для него последовательностью формирования толщ и отметить определяющее сходство и различия между толщами грабена и свитами стратотипа.

Нижняя слабодифференцированная толща трахибазальтов и базальтов грабена уверенно коррелируется с такой же по составу субщелочной базырской свитой. Состав пород толщи следует считать наиболее близким к исходным магмам генерирующего их глубинного очага. Парагенезис минералов у них также идентичен.

Средняя дифференцированная щелочная толща удовлетворительно коррелируется по составу и набору основных разновидностей с берешской свитой стратотипа. Однако отличается явно ограниченным развитием пород, богатых вкрапленниками нефелина – берешитов. Тем не менее по уровню щелочности на TAS-диаграмме занимает место щелочной серии. Следует отметить, что высокощелочные нефелинитовидные берешиты (фоидиты) и берешиты в разрезе берешского стратотипа залегают в основании свиты. Выше они сменяются дифференциатами менее богатыми нефелином, но с большим содержанием плагиоклаза – калинатрового полевого шпата.

Верхняя, существенно терригенная, толща грабена с ограниченным присутствием основных и средних пород требует доизучения. В стратотипе она представлена трахибазальтами, трахиандезитобазальтами, подобными по составу ашпанской свите Горячегогорского плато.

Установленные вулкано-плутонические морфоструктуры грабена позволяют утверждать, что вулканиды и плутоны провинции являются производными единого щелочно-мафитового очага, но разных этапов его эволюции – раннего вулканического и сменяющего его плутонического. Об этом, кроме единого ареала развития, говорит вся совокупность петрографических, петрохимических и геохимических данных, характеризующих плутоны [4], материалы настоящей статьи, а также ряд публикаций разных авторов последних двадцати лет [2].

Материнские магмы, условия генерации, дифференциации, мантийные и коровые источники

Для оценки указанных параметров анализ вещественного состава магматитов, как вещественных свидетелей работы мантии, имеет первостепенное значение. В нашем случае состав и последовательность вне-

дрения дифференциатов как вулканитов, так и пород плутонов щелочно-мафитовой провинции Кузнецкого Алатау позволяет предположить, что первичной магмой(ми) являлись пикробазальтовые и трахибазальтовые расплавы.

Сравнение трендов дифференциации петрогенных компонентов вулканитов и плутонов провинции с трендами главных магматических серий: габбро – диорит – гранит Урала и базальт – андезит – дацит – риолит острова Исландия – показало, что, начиная с первых дифференциатов исследуемых серий пород провинции, субщелочных базальтов и габбро, они значимо отклоняются от индикаторных серий в сторону явного накопления Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , и эта тенденция нарастает к конечным членам серий. При этом накопление имеет нелинейный характер. Если учесть, что тренд серии базальт – андезит – дацит – риолит формировался в условиях срединно-океанического хребта Атлантики, т.е. при отсутствии континентальной коры, то становится понятно, что в случае с исследуемыми дифференциатами наличие или отсутствие земной коры не играет решающей роли в петрогенезисе исследуемых серий провинции. Логичнее предположить, что в нашем случае проявлено активное участие плюмового флюидно-магматического взаимодействия в ходе выплавления и дифференциации исходных магм [4].

Редкие и рассеянные элементы. Анализ уровней содержания и распределения редких и рассеянных элементов серий пород провинции со своей стороны вскрывает ряд важных особенностей их выплавления и дифференциации. Так, согласно специальным исследованиям, известно, что характерные для мафитов Sr, Ni, Co, V связываются с различными степенями плавления мантийного вещества субстрата, а отношение Ni/Co используется для определения первичности магматических дифференциатов. В нашем случае это соотношение по средним составам вулканитов соответствует значениям: для субщелочных лав грабена (0,88), щелочных лав (1,31) и высокощелочных лав (2,0), что указывает на малые степени селективного плавления субстрата и на большую относительную близость фойдитов к первичным выплавкам.

Наиболее ярко геохимическая специализация пород выражена повышенными и высокими содержаниями Ba, Sr, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U, Ti, P. При этом для K, R, Ti и в меньшей степени Sr и Ba установлено, что специализация расплавов на них закладывает-

ся на ранних стадиях плавления мантийного субстрата и они полностью переходят в расплав. Подобная специализация характерна для определенного типа магм и продуцирующего их мантийного субстрата. В первую очередь это источники EM2, метасоматическая обогащенная мантия, магмы E-MORB, OIB и магмы рифтовых зон. При этом вариации и содержания TiO_2 (%) в субщелочных, щелочных и фойдитовых трендах изученных вулканитов составляют 0,75–2,12; 0,64–2,01 и 0,79–1,42 соответственно, что свидетельствует о близких глубинах выплавления исходных расплавов этих серий. Практически то же самое характерно и для распределения P_2O_5 вулканитов грабена.

Средние содержания типоморфных микроэлементов вулканитов в субщелочных, щелочных и фойдитовых сериях соответственно составляют (г/т): Ba – 439,2; 903,4; 923,0; Sr – 1233; 863,8; 1127,9; Zr – 166,3; 186,8; 169,1; Nb – 19,0; 33,17; 26,8; Th – 5,29; 6,15; 4,81; U – 2,1; 3,1; 3,81. Как видим, по содержанию микроэлементов рассматриваемые, разные по щелочности, серии щелочной провинции несколько разнятся, что можно расценивать как показатель вариации глубины залегания магматических центров и малых степеней плавления мантийного субстрата. Аналогичный вывод получен для вулканитов Горячегогорского плато провинции [2].

Важным фактором щелочного магмогенеза является флюидно-магматическое взаимодействие, которое обуславливает обогащение расплавов большей частью характерных для них микроэлементов, особенно крупноионных. Индикатором подобных процессов является содержание и отношение Th/U. Установлено, что у пород, представляющих кристаллизаты первичных магм, отношение Th/U является минимальным. Вариации содержаний Th составляют (г/т) в субщелочной серии ~ 1,17–11,22; щелочной – 1,34–9,88; и высокощелочной ~ 1,29–10,26; а U ~ 0,38–4,93; 0,93–6,43 и 0,61–9,05 соответственно. Th/U отношение по средним составам для субщелочной серии составляет 2,1, щелочной – 2,0 и фойдитовой – 1,3. Эти значения указывают на то, что субщелочные и щелочные породы характеризуются первично-магматическими отношениями Th/U, а фойдиты – магматическими с наложением метасоматических процессов. Вариации в количественных содержаниях, типоморфных для исследуемых пород, элементов определяются режимом взаимодействия плавления субстрата с флюидным потоком.

Редкоземельные элементы (REE) варьируют в сопоставимых и ограниченных пределах изученных серий (г/т): субщелочные (66,38–258,8, среднее 139,59), щелочные (69,24–275,74, среднее 167,04); высокощелочные (65,74–256,31, среднее 148,75). Вариации LREE/HREE составляют: у субщелочных 3,9–9,2; щелочных 3,6–9,2, среднее 6,6; и высокощелочных 4,0–7,9, среднее 5,9. Вероятно, это говорит о довольно стабильном составе мантийного субстрата, но подверженном вариациям степени его плавления, возможно глубине залегания и об устойчивых тенденциях дифференциации первичных расплавов в пределах серий и представляющих их разновидностей вулканитов. Анализ спайдерграмм выделенных серий, кроме отмеченных признаков явного генетического родства как между сериями, так и вулканитами базырской свиты Горячегогорского плато (рис. 2, а–е), позволяет выявить еще одну тенденцию процессов плавления мантийного субстрата и последующей дифференциации выплавов.

В правой части геохимических спектров (от Dy до Lu) наблюдается максимальное сближение содержаний и характера распределения REE у мантийных реперов (N-MORB, E-MORB), OIB, IAB и исследуемых вулканитов, тогда как в направлении левой части диаграмм геохимические спектры этих образований веерообразно расходятся, причем спектры N-MORB и E-MORB теряют элементы от Cs до Tb, а остальные породы обогащаются ими. При этом исследуемые вулканиты в наибольшей степени соответствуют OIB. В принципе это обогащение вулканитов является равнодействующей совокупности процессов селективного плавления, магматической дифференциации, а также, как показывают приведенные выше примеры и работы последних лет, флюидно-магматического взаимодействия и мантийно-корового взаимодействия. Параметры этих процессов в определенной степени конкретизируются при помощи комплекса геохимических индикаторов-диаграмм, приведенных на рис. 3, а–е.

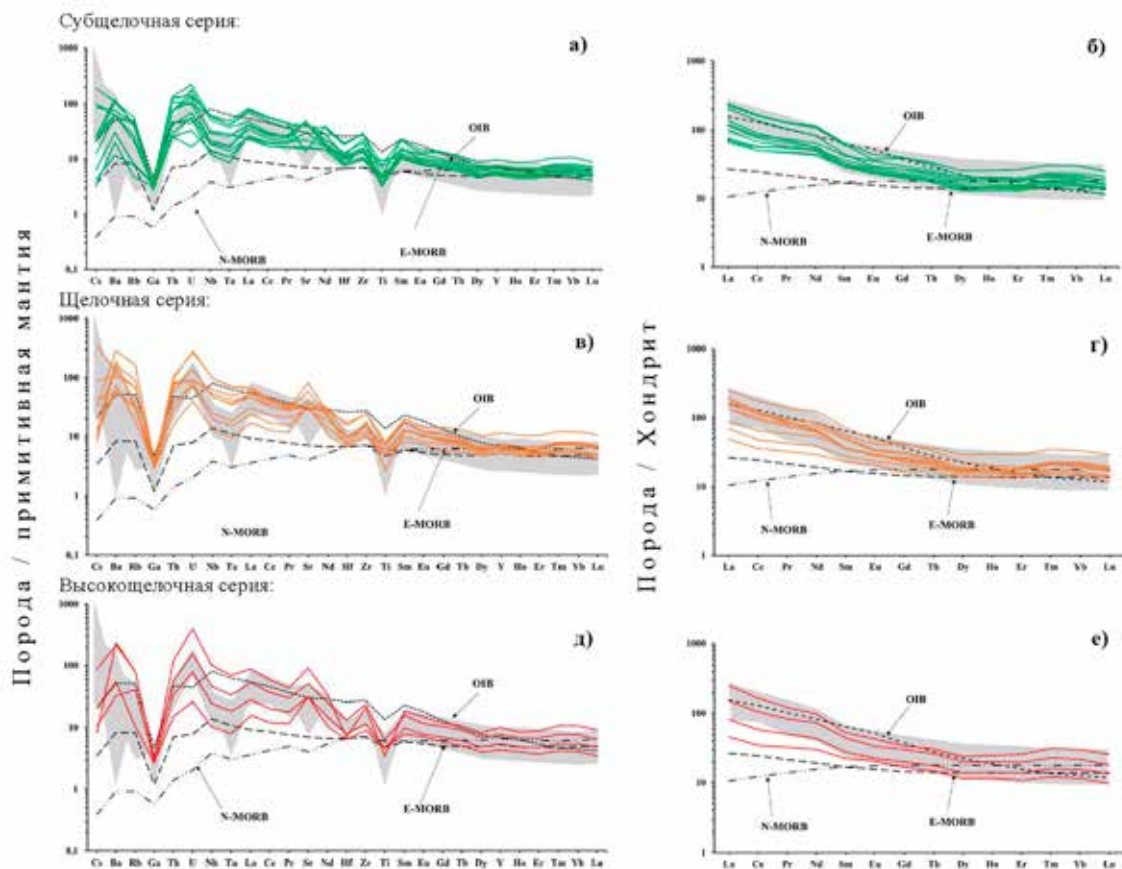


Рис. 2 (а–е). Мультиэлементные спайдерграммы содержания микроэлементов в вулканитах: а, б – субщелочной (базальт-трахибазальтовой) серии; в, г – щелочной (базанит-тефрит-фонотефритовой) серии; д, е – высокощелочной (флюидитовой) серии

Интерпретация полученных данных при анализе геохимических дискриминационных диаграмм (рис. 3, а–е) позволяет сказать следующее. Магмогенерирующий очаг Растайского грабена имел приразломный многоканальный характер, сопровождающийся декомпрессионными эффектами, обусловленными тектонической обстановкой присводового растяжения. Зона магмогенерирующего субстрата имела определенный вертикальный размах и включала мантийные «слои» разной геохимической специализации, унаследованной от сложной додевонской истории региона. Вулканизм имел волновой (импульсный) характер, возобновлявшийся генерацию последовательно проявившихся расплавов, соответствующих субщелочной базальтовой, щелочной базальтоидной и фойдолитовой сериям, одновременным с базырской, берешской и ашпанской свитами Горячегорского плато. Состав субстрата был специализирован на генерацию высокоглиноземистых, ще-

лочных магм при низких степенях его плавления (до 3%). По составу протолит соответствовал шпинелевому и гранат-шпинелевому лерцолитам. Система магмогенерации оживлялась плюмовыми эманациями, включавшими флюидно-магматическое взаимодействие вещества плюма и протолита. В пределах литосферы и земной коры, благодаря насыщенности флюидами, расплавы взаимодействовали с разноглубинным литосферным веществом с метками EM2, OIB, IAB, E-MORB, а также веществом нижней и средней коры, сохраняя плюмовые метки. Для фойдитов нельзя исключать ликвационную природу с отделением от первичных выплавов, под влиянием пересыщения их флюидными компонентами или образования самостоятельной выплавки.

Металлогеническая специализация вулканитов грабена выразилась в проявлении барит-полиметаллического, редкоземельно-радиоактивного и золото-серебро-висмутового оруденения.

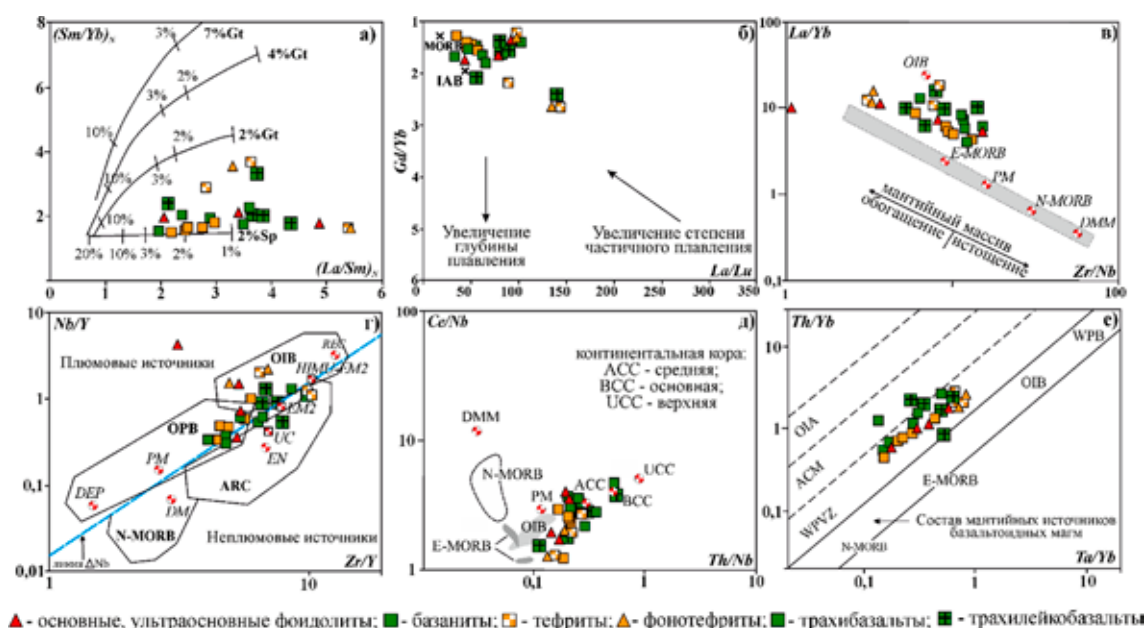


Рис. 3 (а–е). Источники параметров выплавления и геодинамической обстановки проявления вулканизма Растайского грабена по геохимическим данным: а – диаграмма $(Sm/Yb)_N - (La/Sm)_N$ [12] составов и степени равновесного плавления вероятных мантийных субстратов. Концентрации РЗЭ нормализованы по хондриту; б – диаграмма $Gd/Yb - La/Lu$ [13] сравнительной оценки глубины и масштабов плавления протолитов: IAB – базальты активных континентальных окраин и островных дуг; в–д – диаграммы $La/Yb - Zr/Nb$, $Nb/Y - Zr/Y$ [14] и $Ce/Nb - Th/Nb$ геохимических индикаторов источников вулканитов: OIB – внутриплитные континентальные и океанические базальты, E-MORB – базальты срединно-океанических хребтов (обогащенных редкими литофильными элементами); PM – примитивная мантия, N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов (деплетированных), DMM – деплетированная мантия MORB, REC – рециклинговый компонент, EM2 – обогащенная мантия с высоким Rb/Sr, UC – верхняя кора, EN – литосферная мантия, DM – деплетированная мантия, DEP – глубоко-деплетированная мантия, ARC – поле составов вулканитов островных дуг, OPB – базальты океанического плато; е – $Th/Yb - Ta/Yb$ [15]: OIA – островные дуги, ACM – активные континентальные окраины, WPVZ – внутриплитные вулканические зоны, WPB – зона составов внутриплитных базальтов

Заключение

Комплекс морфотектонических, петролого-геохимических и изотопно-геохронологических исследований Растайского грабена позволяет отметить ключевые характеристики его структурной эволюции и оценить параметры проявления щелочно-базитового магматизма в Кузнецко-Алатауской щелочно-мафитовой провинции.

Формирование грабена связано с девонской плюм-рифтогенной активизацией унаследованных глубинных зон и ростом регионального свода в северо-восточной части Кузнецкого Алатау, контролировавших проявление базальтового вулканоплутонизма. В обстановке присводового растяжения оживлялись субмеридиональные проницаемые зоны грабена, осложненные поперечными и диагональными нарушениями, служившие каналами поступления магм и формирования вулканотектонических, а затем вулканоплутонических морфоструктур грабена.

В вулканотектонических морфоструктурах накапливались ритмично построенные разрезы лав, с образованием слабо дифференцированных субщелочных базальтов; дифференцированных щелочных базальтоидов, а также фойдитов, затем снова субщелочных базальтов. Петрографически и петрохимически субщелочные, щелочные и фойдитовые вулканы коррелируются с базырской и берешской свитами Горячегорского плато.

В качестве исходных расплавов рассматриваются трахипикробазальты и пикробазальты, формировавшиеся под воздействием тепла плюма и его флюидов, которые взаимодействовали с гетерогенной литосферной мантией и земной корой. Кроме вещества плюма и шпинель-гранатового лерцолита (протолита) с 3% объемом его плавления, геохимически в составе вулканических зафиксировано вещество PM, EM2, E-MORB, IAB, земной коры (BCC и ACC) при доминанте OIB.

Установленная минерагеническая специализация вулканических грабена открывает перспективы выявления коренного баритополиметаллического, редкоземельно-радиоактивного и висмут-золото-серебряного оруденения.

Работа выполнена с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.

Список литературы

1. Гринёв О.М. О механизме формирования грабеновых структур северной части Кузнецкого Алатау // Вопросы геологии Сибири. Томск: Издательство Томского университета. 1994. С. 237–259.

2. Воронцов А.А., Гринёв О.М., Ярмолюк В.В., Никифоров А.В. Девонская трахитобазальт-фонотефрит-ийолит-тефритофолит-трахитовая ассоциация Урюп-Семёновского ареала Минусинского прогиба: геологическое строение, геохимические и Sr-Nd изотопные характеристики // Современные направления развития геохимии. 2022. С. 118–122.

3. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Геохимические и изотопные (O, Sr, Nd) свидетельства взаимодействия мантийных и коровых магм при формировании базальт-андезит-трахит-риолитовой серии Батеневского поднятия Минусинского прогиба // Геосферные исследования. Томск. 2017. № 1. С. 16–27. DOI: 10.17223/25421379/2/3.

4. Гринёв О.М. Эволюция щелочно-габброидного магматизма Кузнецкого Алатау: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 1990. 18 с.

5. Grinev O.M., Grinev R.O., Adylbaev R.R., Bogorodov A.A. O. Saralinsky graben-devonian rift of the Kuznetsk-Minusinsk zone, Altai-Sayan folded area // Geological Tour of Devonian and Ordovician Magmatism of Kuznetsk Alatau and Minusinsk basin. Altay-Sayan Region, Siberia. 2020. P. 43–77. DOI: 10.1007/978-3-030-29559-2_3.

6. Ernst R.E., Rodygin S.A., Grinev O.M. Age correlation of Large Igneous Provinces with Devonian biotic crises // Global and Planetary Change. 2020. Vol. 185. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103097.

7. Кузьмин М., Ярмолюк В., Кравчинский В. Глубинная геодинамика – основной механизм развития Земли // Наука в России. 2013. № 6. С. 10–19.

8. Воронцов А.А., Перфилова О.Ю., Крук Н.Н., Тарасюк А.С. Позднеордовикский вулканизм северной части Алтае-Саянской области и его геодинамическая природа: научное издание // Доклады Академии наук. М., 2019. Т. 485. № 4. С. 457–463. DOI: 10.31857/S0869-56524854457-463.

9. Vorontsov A.A., Perfilova O.Y., Kruk N.N. Geodynamic setting, structure, and composition of continuous trachybasalt-trachyandesite-rhyolite series in the north of Altai-Sayan area: the role of crust-mantle interaction in continental magma formation // Russian geology and geophysics. 2018. T. 59. № 12. P. 1640–1659. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.12.009.

10. Ветров Е.В., Уваров А.Н., Андреева Е.С., Ветрова Н.И., Жимулёв Ф.И., Степанов А.С., Вишневецкая И.А., Червяковская М.В. Среднепалеозойский магматизм Центрально-Тувинского прогиба (Восточная часть Алтае-Саянской складчатой области): петрогенезис, тектоника и геодинамика // Геология и геофизика. 2022. Т. 63, № 12. С. 1607–1629. DOI: 10.15372/GiG2021187.

11. Воронцов А.А., Перфилова О.Ю., Буслов М.М., Травин А.В., Махлаев М.Л., Дриль С.И., Катраевская Я.И. Плюмовый магматизм северо-восточной части Алтае-Саянской области: этапы, состав источников, геодинамика (на примере Минусинского прогиба) // Доклады академии наук. 2017. Т. 472, № 4. С. 449–455. DOI: 10.7868/S0869565217040223.

12. Bi J.H., Ge W.C., Yang H., Zhao G.C., Xu W.L., Wang Z.H. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of the Dongfanghong gabbroic complex at the eastern margin of the Jiamusi Massif, NE China: Petrogenesis and tectonic implications // Lithos. 2015. Vol. 234/235. P. 27–46. DOI: 10.1016/j.lithos.2015.07.015.

13. Boyce J.A., Nicholls I.A., Keays R.R., Hayman P.C. Variation in parental magmas of Mt Rouse, a

complex polymagmatic monogenetic volcano in the basaltic intraplate Newer Volcanics Province, southeast Australia // Contr. Miner. Petrol. 2015. Vol. 169, Is. 11. 21 p. DOI: 10.1007/s00410-015-1106-y.

14. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 491–504. DOI: 10.1016/j.lithos.2004.09.014.

15. Kelemen P.B., Hanghøj K., Greene A.R. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust // Treatise on Geochemistry, Elsevier Ltd. 2003. Vol. 3. P. 593–659. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/03035-8.

УДК 553.22:553.086(470.621)
DOI 10.17513/use.38057

ЛИСТВЕНИТЫ ДАХОВСКОГО ВЫСТУПА И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ РУДНЫЕ АССОЦИАЦИИ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

Долженко И.В., Попов Ю.В., Шарова Т.В.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: dolz@sfnedu.ru

Объектом изучения служат листвениты, приуроченные к северному флангу Даховского выступа, расположенного в северо-западной части Большого Кавказа (Республика Адыгея, бассейн р. Белой). Здесь в зоне крупного разлома известно около двадцати линзовидных тел лиственитов, ограниченных тектоническими контактами. Изучение минералого-петрографических особенностей пород проведено с использованием методов рентгенофазового анализа и электронно-зондовых исследований. Листвениты обладают микрокристаллической структурой, массивной или полосчатой текстурой, сложены карбонатными минералами, кварцем и гидратированным фукситом. Состав карбонатов изменчив, преобладают представители ряда доломит – анкерит, реже присутствуют близкие к сидериту железистые карбонаты. В зональных зернах и тонких прожилках центральные части часто образованы более железистыми разновидностями карбонатов. Реликтовые минералы представлены серпентинами, хлоритами и хромшпинелями, что указывает на серпентинитовый протолит. Состав хромшпинелей отличается от типичного для исходных серпентинитов: они близки к феррихромитам и от характерных для серпентинитов хромитов – субферрихромитов отличаются относительной обогащенностью Fe^{3+} и постоянной примесью цинка. Ассоциация рудных минералов (сульфиды и сульфосарсениды) тяготеет к железистым карбонатам, в ее составе преобладают миллерит, герсдорфит и зигенит. Ее возникновение связано с гидротермальными растворами, сопутствовавшими завершающей стадии развития герциньских гранитоидных очагов, активно транспортировавшими кобальт, медь, мышьяк, никель, свинец, серу, сурьму, цинк.

Ключевые слова: лиственит, Даховский выступ, миллерит, герсдорфит, зигенит

LISTVENITES OF THE DAKHOVSKY LEDGE AND THE RELATED ORE ASSOCIATIONS (GREATER CAUCASUS)

Dolzhenko I.V., Popov Yu.V., Sharova T.V.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: dolz@sfnedu.ru

The object of study is listvenites, confined to the northern flank of the Dakhovsky ledge, located in the northwestern part of the Greater Caucasus (Republic of Adygea, Belaya River basin). Here, in a zone of a large fault, about twenty lenticular bodies of listvenites, limited by tectonic contacts. Study of mineralogical and petrographic peculiarities of the rocks were studied using X-ray phase and electron-probe methods. Listvenites have a microcrystalline structure, massive or banded texture, composed of carbonate minerals, quartz, and hydrated fuchsite. The composition of carbonates is variable; representatives of the dolomite-ankerite series predominate, and iron carbonates, close to siderite, are present less frequently. In zonal grains and thin veins, the central parts are often formed by more ferruginous carbonate varieties. Relic minerals are represented by serpentines, chlorites, and chromspinels, indicating a serpentinite protolith. The composition of chromspinels differs from that typical of the original serpentinites: they are close to ferrichromites and differ from typical for serpentinites chromites-subferrichromites in relative Fe^{3+} enrichment and constant zinc admixture. The association of ore minerals (sulfides and sulfoarsenides) tends to ferruginous carbonates, with millerite, gersdorphyte, and zigenite predominating in its composition. Its occurrence is associated with hydrothermal solutions accompanying the final stage of Hercynian granitoid chambers development, actively transporting cobalt, copper, arsenic, nickel, lead, sulfur, antimony, zinc.

Keywords: listvenite, Dakhovsky ledge, millerite, gersdorffite, siegenite

Среди метасоматических образований, сопутствующих апогипербазитовым альпинотипным серпентинитам в доверхнепалеозойском кристалликуме Большого Кавказа, достаточно широко представлены листвениты. Интерес к изучению этих пород обусловлен в первую очередь их потенциальной рудоносностью [1, 2]. На Большом Кавказе с лиственитами связывают перспективные благороднометаллические, в частности, платиноидной минерализации [3, 4], обусловленной гидротермальной переработкой апогипербазитов. Различия в геологической позиции лиственитов и их минерального состава определяют необходимость минералого-петрографического изучения конкретных проявлений. К числу

геологических структур с наиболее масштабным развитием лиственитов относится Даховский выступ, представляющий собой тектонический блок кристаллических пород в северо-западной части Большого Кавказа. В его строении участвует комплекс метаморфических пород, вмещающих полифазный массив среднепозднепалеозойских гранитов, и приуроченные к зонам разломов альпинотипные серпентиниты. Последние секутся жилами гранитов завершающей фазы внедрения (с очагами которых связан региональный площадной кремнещелочной калиевый среднетемпературный метасоматоз, приведший к микроклинизации вмещающих пород) и несут следы гидротермальной переработки.

Цель исследования – изучение особенностей петрографического состава лиственитов Даховского кристаллического поднятия и связанной с ними рудной минерализации.

Материалы и методы исследования

Объектом изучения являлись листвениты, приуроченные к северной фланговой части Даховского кристаллического выступа, контролируемой зоной крупного Центрального разлома, содержащей тектонические линзы и пластины серпентинитов (рис. 1). В составе выступа порядка двадцати линзовидных тел лиственитов, ограниченных тектоническими контактами, залегают среди перемятых серпентинитов, на контактах последних с позднепалеозойскими коллизионными калиевыми гранитоидами или в зонах разломов, секущих гидротермально переработанные гранитоиды и вмещающие их метаморфозы (рис. 1, II). В 1960-х гг. в ходе поисковых работ на подолочные камни участок их развития в долине р. Сюк определен как Березовское месторождение лиственитов, в котором запасы последних оценены по категории С₂ в ~8 тыс. м³. Залегание тел субвертикальное, мощность изменяется от первых метров до 50 м, протяженность достигает 100–150 м. Приуроченность

к разломам, испытывавшим неоднократные активизации (вплоть до альпийского времени), определяет интенсивную дислоцированность пород, превращение их в тектонические брекчии и выветрелость, подчеркнутую развитием водных оксидов железа, поступающего из карбонатов и рудных минералов (рис. 2).

Изучение минералого-петрографических особенностей лиственитов проведено с использованием рентгенофазового анализа и электронно-зондовых методов. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре «ДРОН-7» при характеристическом излучении медного анода (CuK α_1 , 1,5406 Å). Электронно-зондовые исследования полированных препаратов проведены на растровом электронном микроскопе Tescan VEGA II LMU интегрированном с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/ XT производства фирмы OXFORD Instruments Analytical; измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 kV. Работы выполнены в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета.

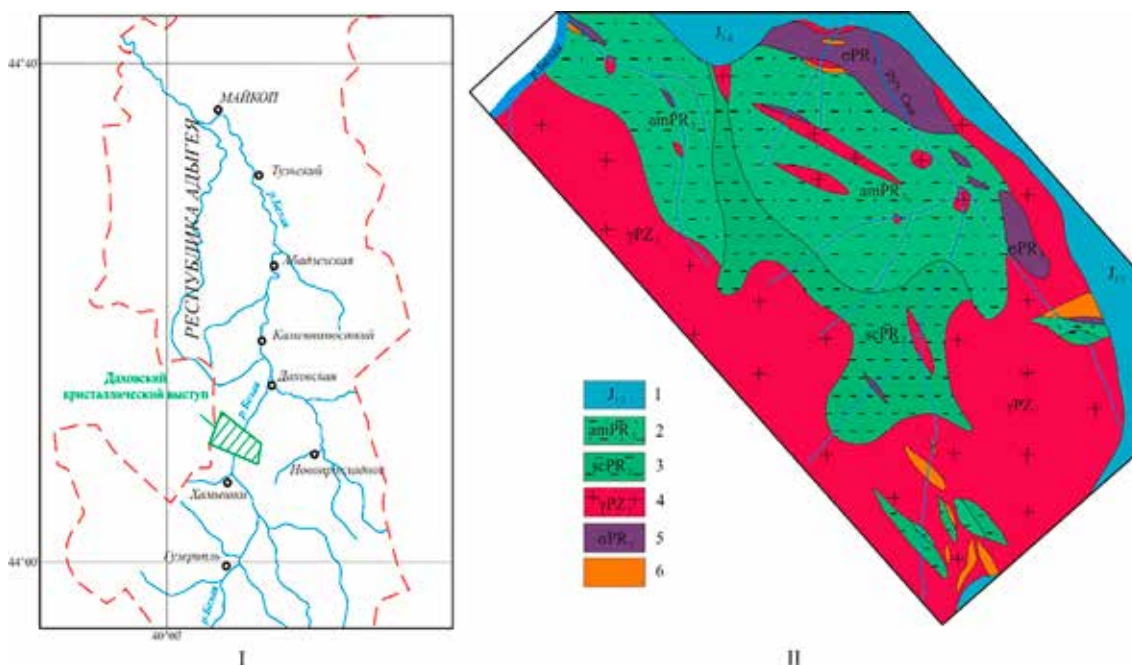


Рис. 1. Положение Даховского кристаллического выступа (I) и схема расположения основных тел лиственитов в составе выступа (II). Условные обозначения: 1 – нижне-среднеюрский осадочный комплекс, 2 – амфиболовые кристаллические сланцы, 3 – кварц-слюдяные кристаллические сланцы, 4 – граниты, 5 – серпентиниты, 6 – листвениты

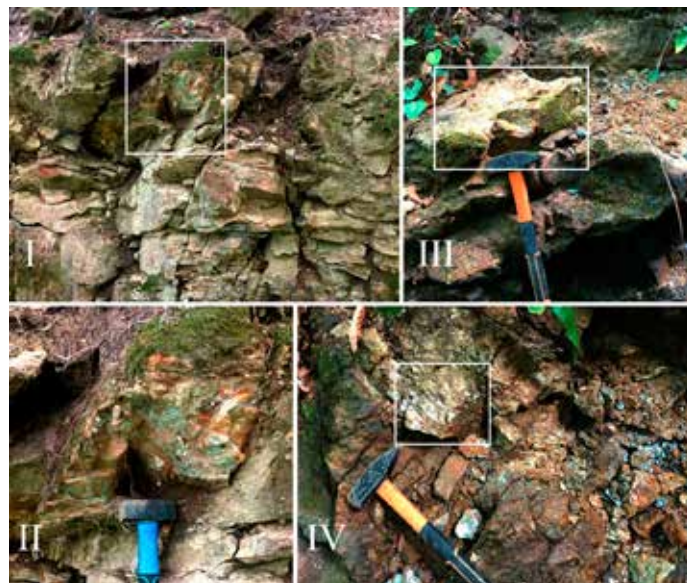


Рис. 2. Выходы лиственитов в составе Даховского поднятия: I, II – выход ожелезненных лиственитов на р. Сюк на контакте серпентинитов и кристаллических сланцев; III, IV – выход лиственитов на руч. Хризопразовый на контакте с гранитами

Результаты исследования и их обсуждение

Из-за сильной дислоцированности метасоматические колонки метасоматитов не прослеживаются, можно лишь отметить присутствие среди ассоциирующих серпентинитов фрагментов хлорит-тремолитовых, тальк-магнетит-хлорит-карбонатных и иных метасоматических пород разнотемпературных парагенезисов.

Макроскопически листвениты представляют собой массивные или полосчатые породы от серого и серо-зеленого до насыщенного зеленого цвета, местами коричневые или буроватые за счет ожелезнения. В полосчатых разностях (иногда с зигзагообразным рисунком) отмечается чередование серых, темно-серых, зеленых, коричневых полос.

Методами рентгенофазового анализа в составе пород диагностируются породообразующие кварц и доломит, а в выветрелых разностях также и каолинит (рис. 3). Отсутствие рефлексов слюд (присутствие которых устанавливается при микроскопических исследованиях) объясняется, видимо, их небольшой долей (с минимальным содержанием в серых карбонат-кварцевых разностях) и разной степенью гидратированности с изоморфным замещением щелочной катионом H_3O^+ .

Структура пород микрокристаллическая, образованная кристаллами карбонатных минералов в кварцевой массе и ред-

кими разрозненными листочками и агрегатами слюд (рис. 4). Содержание кварца, образующего зерна размером до 0,3 мм, обычно составляет 30–60%, но в некоторых разностях возрастает до 70–90%; высококварцевые окрашенные в аквамаринный цвет разности, образующие гнезда размером до 2–3 см в лиственитах, известны под названием «хризопразы» (проявление Хризопразовое, расположенное в правом одноименном притоке р. Сюк) [5]. Характерно зональное строение кристаллов карбонатов без единого тренда изменения состава от ядер к периферии, но чаще внутренние части кристаллов и тонких прожилков сложены более железистыми разностями. В целом преобладают кристаллы доломитового и анкеритового состава (вариации составов преимущественно происходят в диапазоне $Mg_{0,96}Ca_{0,93}Fe_{0,09}Mn_{0,02}[CO_3]_2 - Ca_{0,95}Mg_{0,79}Fe_{0,25}Mn_{0,01}[CO_3]_2$), в меньшем количестве отмечаются зерна сидеритового состава ($Fe_{0,83}Mg_{0,14}Mn_{0,03}[CO_3]$). Слюды соответствуют гидромусковиту – фукситу (с составом близким к $(K_{0,63}H_3O_{0,37})(Al_{1,44}Mg_{0,27}Cr_{0,14}Fe^{2+}_{0,11}Ni_{0,03}Ti_{0,01})_2[Si_{3,41}Al_{0,59}O_{10}(OH)_2 - (K_{0,54}H_3O_{0,46})(Al_{1,58}Cr_{0,20}Mg_{0,17}Fe^{2+}_{0,04}Ti_{0,01})_2[Si_{3,46}Al_{0,54}O_{10}(OH)_2]$). Редко отмечаются чешуйки хлоритов, талька, реликтовые корродированные хромшпинели (иногда в составе магнетит-хлорит-фукситовых агрегатов), аксессуарные апатит, рутил, циркон; в виде единичных зерен отмечаются минералы группы эпидота, гематит, гидрогетит.

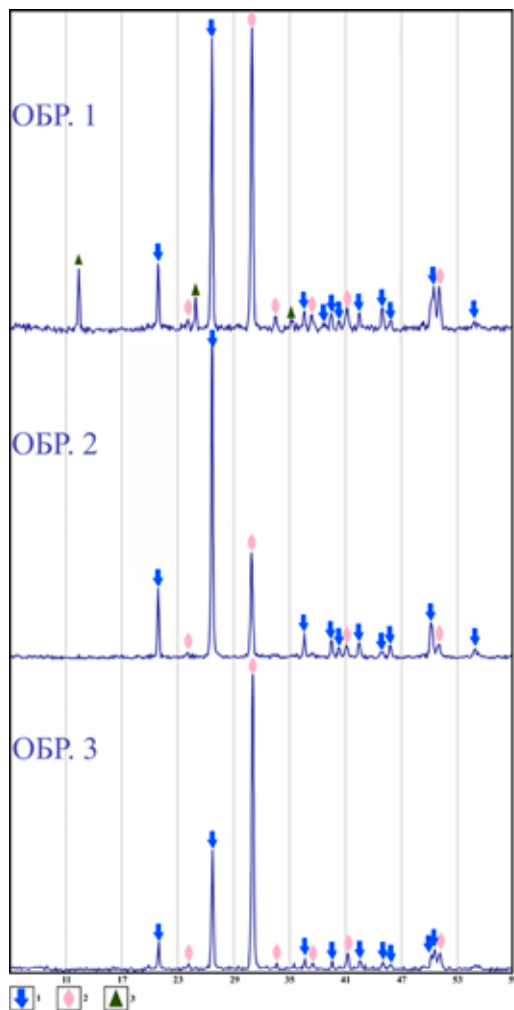


Рис. 3. Результаты рентгенофазового анализа лиственитов Даховского массива: выветрелый лиственит (полосчатый лиственит из выхода на р. Сюк) – обр. 1, типичные листвениты из выходов на руч. Хризопразовый (обр. 2) и руч. Щель (обр. 3). Указаны рефлексы фаз: 1 – кварц, 2 – доломит, 3 – каолинит

Примечательно, что состав хромшпиннелей отличается от типичных для ассоциирующих с лиственитами серпентинитов. Для последних типичны однородные по составу зерна хромитов – субферрихромитов, обрамленные тонкими оторочками магнетита [6], а присутствующие в лиственитах отличаются относительной обогащенностью Fe^{3+} со смещением в область феррихромитов, а также постоянной примесью цинка, магнетитовые оторочки в них отсутствуют. Зерна феррихромитов корродированы, включают многочисленные листочки фуксита. Рудные минералы приурочены к лиственитам и редки в других метасоматитах, отмечаемых в составе ассоциирующих с ними тектонических брекчий. Их вкрапленность тяготеет к железистым разновидностям карбонатов. Представлены преимущественно Со-содержащим миллеритом, герсдорфитом и зигенитом в виде кристаллов размером 0,01–0,02 мм, для которых характерны примеси Fe, Zn, Sb, а также арсенопиритом, галенитом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, редко встречается миметит.

Листвениты подверглись наложенному окварцеванию и пронизаны раннеюрскими баритовыми и кальцитовым прожилками (с флюоритом, галенитом, марказитом и пр.).

Наряду с лиственитами, кальциевые метасоматиты в ассоциации с серпентинитами в Даховском кристаллическом выступе представлены тектоническими блоками пренит-вюаньтитовых (с флогопитом и кварцем) родинитов, заключенных среди серпентинитов в приустьевой части руч. Липового, а также участками эпидотизации в диоритах и гранодиоритах, слагающих прилегающие к Центральному разлому блоки.

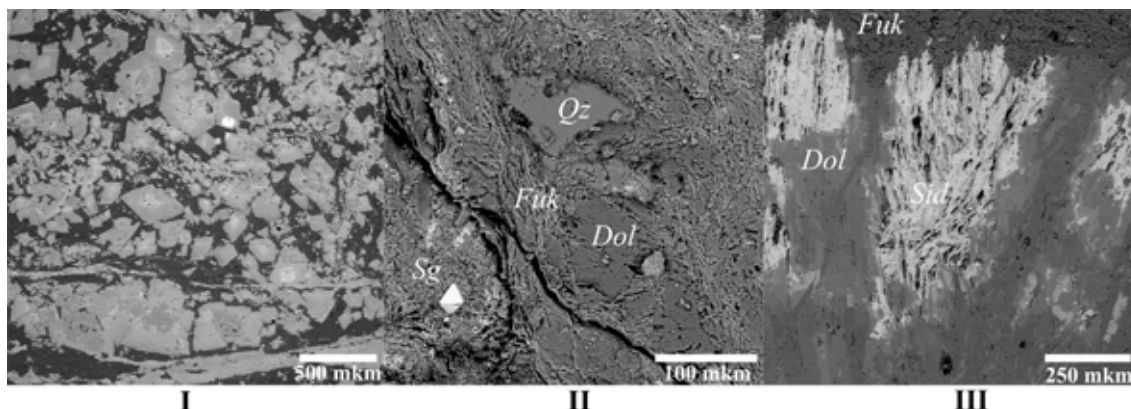


Рис. 4. Структура и минеральный состав лиственитов. Изображение в обратно-рассеянных электронах (BE). Обозначения минералов: Dol – доломит, Fuk – фуксит, Sid – сидерит, Sg – зигенит

Для родингитов примечательно присутствие торита, ураноторита, Th- и Hf-содержащего циркона, алланита-(Ce), Th-содержащего монацита-(Ce), ксенотима-(Y) (что определяет значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения для них ~ 0,30–0,60 мкЗв/ч при удельной активности ^{226}Ra ~500 Бк/кг, ^{232}Th ~85 Бк/кг), для гранитоидов – алланита-(Ce), торита, Th- и Hf-содержащего циркона (и значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения до ~ 0,35–0,42 мкЗв/ч) [7]. С этими образованиями связано рудопроявление торий-редкометалльной минерализации балки Колесникова на левобережье р. Белой [8]. Отличие состава рудных ассоциаций лиственитов и родингитов указывает на их связь с генетически различными метасоматическими системами.

Заключение

Листвениты Даховского выступа приурочены к области гидротермальной переработки кристаллических пород, где формировались по серпентинитовому протолиту, и их тела контролируются второстепенными разломами, входящими в зону Центрального разлома. Обогащенные калием гидротермальные растворы, генетически связанные с завершающей стадией эволюции герцинских гранитоидных очагов, активно перераспределяли элементы гипербазитов, формируя сульфидную и сульфоарсенидную вкрапленную минерализацию, ведущими минералами которой выступают миллерит, герсдорфит и зигенит. С растворами активно транспортировались также железо, кобальт, цинк, свинец, сурьма, входящие в состав самостоятельных минералов или изоморфных примесей. Состав рудных ассоциаций в лиственитах и родингитах, сопряженных с серпентинитами Центрального разлома, отражает разную

геохимическую специализацию определявших их формирование флюидных систем и, соответственно, их генетическую различность. Связь лиственитизации с контактово-реакционными процессами, вызванными воздействием флюидной системы калиевых гранитов на ультрабазиты, следует рассматривать в качестве положительного минерагенического фактора при оценке перспектив благороднометалльной минерализации, как и интенсивное перераспределение рудных компонентов апогипербазитового протолита.

Список литературы

1. Григорьева А.В., Дамдинов Б.Б., Служеникин С.Ф. Рудная минерализация в ультрабазитах и метасоматитах Оспинско-Китойского массива (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60, № 2. С. 141–163.
2. Плюснина Л.П., Лихойдов Г.Г., Кузьмина Т.В. Золото и флюидный режим лиственитизации // Литосфера. 2009. № 5. С. 85–90.
3. Богущ И.А., Рябов Г.В., Сендецкий И.И., Черкашин В.И. Перспективы рудоносности лиственитов Северного Кавказа (Приэльбрусье) // Геология и геофизика Юга России. 2022. № 12 (3). С. 94–106. DOI: 10.46698/VNC.2022.77.74.006.
4. Богущ И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А. Ультрабазиты и источник благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11, № 4. С. 15–26. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.47.002.
5. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Гурбанова О.А., Попов С.В. Коллекционные минералы и поделочные камни в ультрабазитах и базитах Северного Кавказа // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18, № 2. С. 29–35.
6. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Терещенко В.А. Акцессорные хромшпинелиды серпентинитов тектонического меланжа Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2020. Т. 10, № 2. С. 38–55. DOI: 10.46698/VNC.2020.21.55.003.
7. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Цицашвили Р.А. Удельная активность ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 115–119.
8. Волкодав И.Г. Радиоактивные элементы в геологических образованиях Адыгеи // Вестник Адыгейского государственного университета. 2006. № 2. С. 233–236.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 551.34

DOI 10.17513/use.38058

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА ХМАО-ЮГРЫ**

Жуков А.Н.

Тольяттинский государственный университет, Тольятти,

e-mail: AleksandrZhukovN@yandex.ru

Геологические и геокриологические процессы вызывают усталостное разрушение нефтепромысловых трубопроводов и могут приводить к возникновению кризисных экологических ситуаций: разливу нефти и сточных вод, что особенно актуально для территорий ХМАО-Югры. Данные, получаемые при исследовании процессов, происходящих в криолитозоне, служат материалом для мониторинга опасных экзогенных геологических процессов, а также позволяют вести мониторинг. В последнее время в ХМАО-Югре участились случаи нарушения безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Поэтому необходимо проводить периодическую оценку технического состояния зданий и сооружений и их грунтового основания с помощью методов инженерной геофизики, в частности метода сейсмического зондирования, космического мониторинга и других методов. В ходе проведенного обзора литературы было показано, что вечная мерзлота представляет собой мерзлый грунт в высоких широтах, образованный низкоуровневыми насаждениями во время ледниковых периодов. В ходе изучения проблемы было показано, что на территории ХМАО-Югры, согласно представленным данным, отмечаются случаи активизации опасных экзогенных геологических процессов, что представляет собой, в большинстве случаев, разрушение горных пород, образование термокарстов и др. Это формирует существенный риск для объектов нефтегазового комплекса, а также жизненно важной инфраструктуры. Наибольшее значение при этом имеют процессы, которые происходят в термокарстах, что требует выработки технологических решений по их мониторингу.

Ключевые слова: геозкология, зондирование, термокарстовые процессы, экзогенные процессы

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT
OF GEOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL PROCESSES
ON THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE OIL
AND GAS COMPLEX OF KHAMAO-YUGRA**

Zhukov A.N.

Togliatti State University, Togliatti, e-mail: AleksandrZhukovN@yandex.ru

Geological and geocryological processes cause fatigue destruction of oilfield pipelines and can lead to crisis environmental situations: oil and wastewater spills, which is especially important for the territories of KhMAO-Yugra. The data obtained during the study of processes occurring in the cryolithozone serve as material for monitoring dangerous exogenous geological processes, and also allow monitoring. Recently, in the KhMAO-Yugra, cases of violations of the safe operation of buildings and structures have become more frequent. Therefore, it is necessary to carry out periodic assessment of the technical condition of buildings and structures and their soil foundation using methods of engineering geophysics, in particular the method of seismic sounding, space monitoring and other methods. In the course of the literature review, it was shown that permafrost is a frozen ground at high latitudes formed by low-level plantings during glacial periods. During the study of the problem, it was shown that in the territory of KhMAO-Yugra, according to the data presented, there are cases of activation of dangerous exogenous geological processes, which is, in most cases, the destruction of rocks, the formation of thermokarsts, etc. All this creates a significant risk for oil and gas facilities, as well as vital infrastructure. The processes that occur in cryocarsts are of the greatest importance in this case, which requires the development of technological solutions for their monitoring.

Keywords: geocology, sounding, cryokarst processes, exogenous processes

Значительная часть территории Земли, в том числе и в нашей стране, приходится на область вечной мерзлоты, или, по-другому, криолитозоны. Её составляют мерзлые, морозные и охлажденные породы. По своему происхождению они являются застывшей магмой, осадочными образованиями, а также легкими песчаниками или могут быть сложенными из галечных пород [1]. Особенностью криолитозоны является возможность строительства на них зданий

и сооружений, которые будут крепкими. Однако экзогенные процессы, происходящие в криолитозоне, могут негативно влиять на хозяйственную деятельность человека. Так, известны случаи образования термокарстовых воронок как результат протайки грунта. Это приводит к разрушению трубопроводов, их порыву, к просадкам дорог, деформации сооружений и др. [2].

Под криолитозонной понимается часть земной поверхности, сложенная магмати-

ческими и осадочными породами, которые представляют собой мерзлые, морозные и охлажденные породы. Главной её характеристикой является включение льда в составе пород, который в том числе выполняет связующую функцию. Криолитозона подвержена сезонным изменениям, когда может происходить таяние льда или, наоборот, промерзание пород. Всё это создаёт опасность для объектов инфраструктуры, расположенных в зоне вечной мерзлоты, в том числе и объектов нефтедобывающей промышленности [3-5].

Данные, необходимые для её исследования, обычно требуют много времени из-за сложных лабораторных исследований, иногда полевого бурения или сложного сбора проб.

Оценка упругих свойств вечной мерзлоты представляет собой научную задачу, которая включает в себя слои с контрастным поведением по глубине, боковые вариации в составе каждого слоя, инверсию скоростей и плотностей, а также различные сейсмические неупругие характеристики. Кроме того, сейсмические характеристики вечной мерзлоты наносят ущерб существующей инфраструктуре [6-8], что свидетельствует о значительном недостатке информации для надлежащей диагностики его поведения и содействия надлежащему управлению опасностями. Например, в некоторых местах криотурбация, связанная с таянием, приводит к сейсмическому разжижению, часто сопровождаемому песчаными вулканами [8], но иногда с крупномасштабным опусканием и потенциальными изменениями в дренажных системах [9].

В последние годы толщина вечной мерзлоты и ее сейсмические свойства картировались с помощью измерений сейсмического шума. Хороший пример представил Picotti S. с соавторами (2017) [10], которые подтвердили оценки с использованием методов радиолокационного зондирования, геоэлектрических и активных сейсмических исследований в ледниковых средах, таких как массивы Адамелло и Ортлес-Чеведале (Италия), Бернские Альпы Оберланд (Швейцария) и Ледяной поток Уилланс (Западная Антарктика). Их результаты показали, что резонансная частота в горизонтальном и вертикальном спектральном отношении (HVSR) хорошо коррелирует с толщиной льда на участке в широком диапазоне от нескольких десятков метров до более чем 800 м, даже позволяя надежно оценить сейсмические

свойства. Многолетняя мерзлота Арктики имеет слоистую структуру и включает широко распространенные подземные льды и непромерзшие (таликовые) зоны [11].

Сегодня имеющиеся тенденции к повышению средней температуры воздуха на нашей планете способствуют изменениям, которые имеют свое место и на территории ХМАО-Югры. Динамика данных изменений фиксируется уже с начала прошлого века. На этом фоне имеют место тенденции к небольшому повышению осадков в среднегодовом значении. Данные климатические процессы, как ожидается, будут приводить к деградации зоны вечной мерзлоты, заболачиванию местности и увеличивать распространенность аласов, которые представляют собой плоскостные понижения в местах таяния подземных льдов [3].

Исследователи прогнозируют, что если на северных территориях нашей страны среднегодовая температура станет выше, чем на 1-1,5 °С, это будет способствовать уменьшению территорий многолетней мерзлоты, в результате чего её граница отодвинется более чем на 100-150 км на север. Данный процесс прогнозируется уже в ближайшие 30-40 лет [4].

В этой связи оценка распространенности процессов деградации вечной мерзлоты и образующихся геологических образований в виде термокарстов на сегодня становится крайне актуальной. Данные, представленные в статье, позволяют предложить использование современных технологий, основанных на совокупности применения классических и инновационных способов исследования для оценки процессов деградации подземных льдов.

Потому актуальным является исследование процессов, происходящих в зоне вечной мерзлоты, для предупреждения ущерба, который может быть нанесен инфраструктуре. Исходя из этого, была определена цель нашей работы.

Цель исследования: проанализировать текущее влияние развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового комплекса ХМАО-Югры.

Материал и методы исследования

Исследование термокарстовых процессов

Исследование сложного строения вечной мерзлоты со скоплениями свободного газа и газогидратов до глубины 500 м представляет собой сложную задачу. Ис-

пользование сейсморазведки [12] и резистивной (CSEM) [12] разведочной геофизики для обнаружения газовых карманов и газовых гидратов в незамерзших породах является полезным опытом [13], но эти методы с трудом различают зоны вечной мерзлоты и газогидратов, которые имеют сходные удельное сопротивление и акустические характеристики. Приповерхностный слой чаще всего исследуется сейсморазведкой, радиолокационной и электроразведкой, а также частотным и временным электромагнитным зондированием [14]. Методы удельного сопротивления включают вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), модифицированную томографию удельного электрического сопротивления (ЭРТ), георадарное зондирование (GPR) и зондирование нестационарных электромагнитных полей (ПЭМ) [15].

МЗСБ – это метод зондирования сейсмическими волнами, который используется при электроразведочных работах для изучения криолитозоны Западной Сибири [16]. МЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) является примером индуктивных методов георазведки с использованием электрических разрядов. Достоинство МЗСБ состоит в возможности получения детализированного изображения. Это связано с тем, что под слоями пород, которые плохо проводят электрический импульс (участок замороженных грунтов), находятся электропроводящие слои. Исходя из этого, возможно определить глубины залегания мерзлых пород и провести их дифференциацию с другими слоями [17]. Таким образом, электроразведочные работы МЗСБ являются важным инструментом для изучения криолитозоны Западной Сибири. Они позволяют определить геологическое строение территории, глубину залегания криолитозоны и её структуру, что помогает улучшить процессы её добычи и использования.

Перспективными методами являются приемы, основанные на изучении данных, полученных путем спутниковой съемки [18-19].

Природно-геологические факторы

Климат ХМАО-Югры (Ханты-Мансийской автономный округ – Югра) отличается длительным зимним периодом с преобладанием низких отрицательных температур воздуха, а также заморозками, которые происходят в межсезонные периоды. Лето непродолжительное, с большим количеством

солнечных дней. Для климата территории характерна быстрая сменяемость температуры воздуха, чаще всего – в межсезонье. Всё это характеризует климат ХМАО-Югры как резко континентальный. Продолжительность солнечного сияния составляет 1700-1900 ч, что выше показателей для западной части нашей страны. Зимний период длится от 175 до 196 дней, при этом снежный покров держится более 6 месяцев. Средняя температура января (месяц с наименьшими температурами воздуха) варьирует от -18.2°C (Леуши) до -24.2°C (Нумто) [20].

Рассматриваемая территория располагается в центральной части Западно-Сибирской плиты, имеющей гетерогенный фундамент. Последний перекрыт в стратиграфической последовательности морскими и континентальными осадочными породами юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, формирующими мощный (3000–3800 м) мезозойско-кайнозойский платформенный чехол. Основная часть разреза чехла (юра – мел – палеоген) вскрыта большим количеством поисковых, структурнокартировочных, разведочных и эксплуатационных скважин. На рассматриваемой территории выделены осадки неоплейстоцена и голоцена, представленные ледово-бассейновыми и континентальными накоплениями. Среди последних широким распространением пользуются озерно-аллювиальные, озерно-морские, аллювиальные отложения, покровы субэральных, болотных, эоловых и делювиальных образований [21, с. 10].

Ханты-Мансийский автономный округ занимает центральную часть Западно-Сибирской низменности, протянувшись с запада на восток почти на 1400 км от Уральского хребта до Обско-Енисейского водораздела. С севера на юг округ простирается приблизительно на 800 км. Протяжённость границ округа составляет 4750 км [22].

В рельефе изучаемой территории можно выделить два преобладающих ландшафта – горный и равнинный [22] (рис. 2).

На равнинной местности, по которой проходит бассейн Оби в её средней части, отмечается обводненность грунтов и их заболоченность. Это оказывает воздействие на произрастающую растительность и её видовой состав и разнообразие. В условиях горных территорий округа границы подзон распределены неравномерно, так, у подножия гористых областей, где преобладают холодные ветра, границы смещаются южнее [23, с. 242].

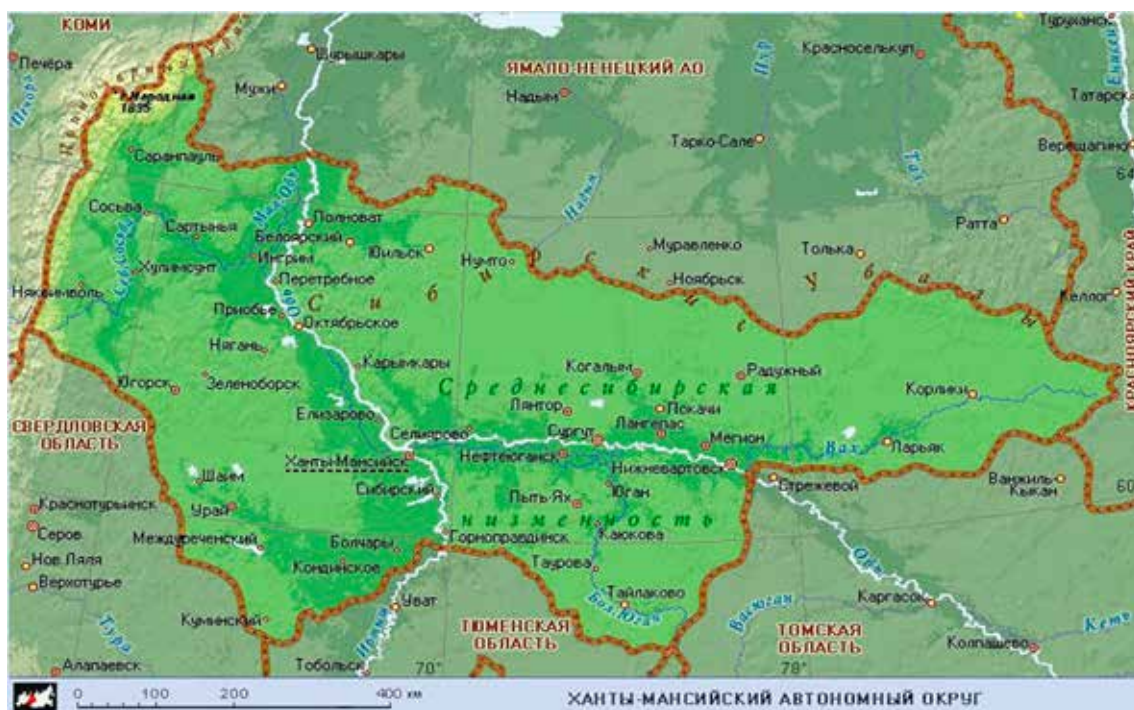


Рис. 1. Карта рельефа территории ХМАО – Югры [22]

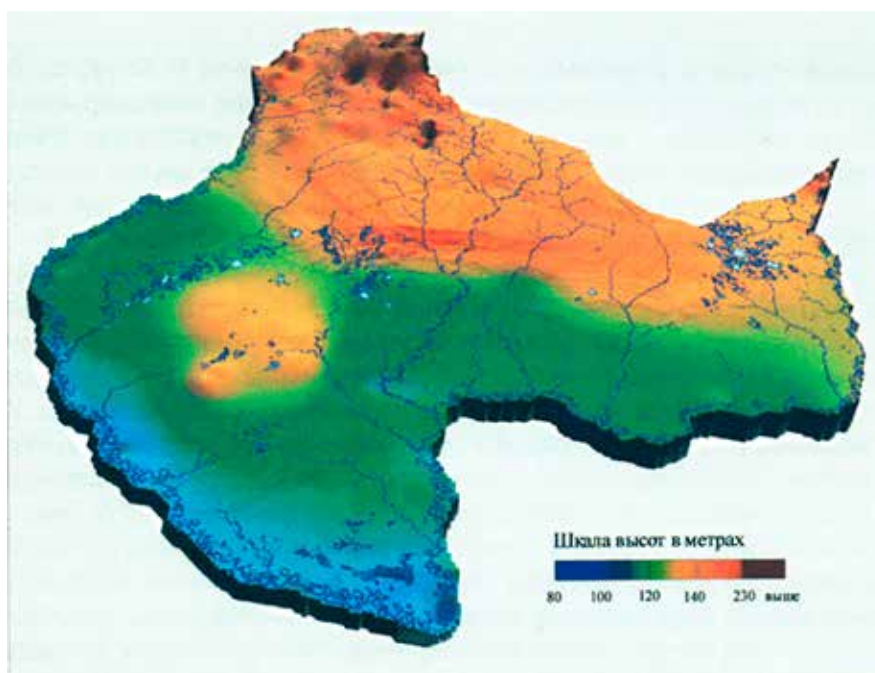


Рис. 2. Карта рельефа территории ХМАО-Югры [22]

В тектоническом отношении изучаемый район находится в пределах Западно-Сибирской плиты, относится к территории Обской синеклизы (рис. 3).

На изучаемой территории протекают реки Обь с притоком Иртышом. Реки в ХМАО-Югре характеризуются весенним

половодьем, осенним подъемом воды. Более 30% территории заболочено. На территории округа находится 300 тыс. озёр. Опасность для экологии представляет попадание в поверхностные воды соединений, опасных для живых организмов, например продуктов нефтепромысла [23, с. 242].

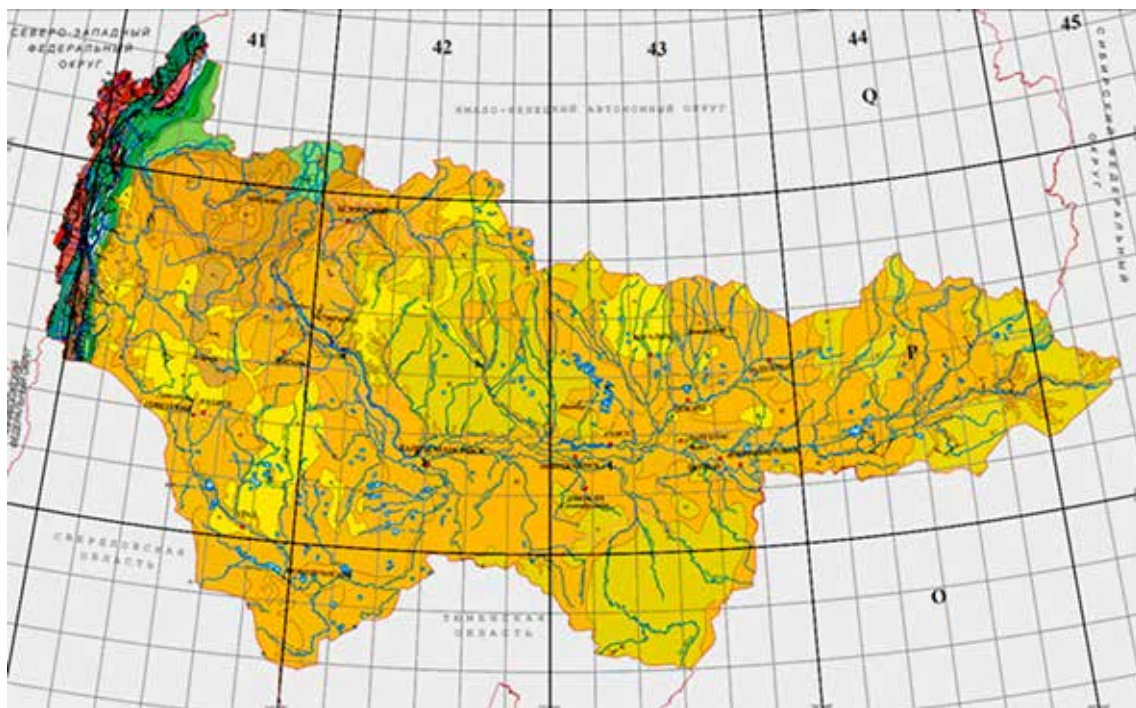


Рис. 3. Геологическая карта территории ХМАО-Югры [24]



Рис. 4. Карта вечной мерзлоты Российской Федерации – 65% [24]

Зона распространения вечной мерзлоты на Земле занимает примерно четверть её территории. В Северном полушарии вечная мерзлота занимает более 22 млн км², из которых на долю нашей страны приходится примерно половина подземных льдов. В России

65% территории, в том числе 85% территории Сибири, приходится на область вечной мерзлоты, которая распространяется вглубь до полутора километров (рис. 4). Температура данного слоя при продвижении вглубь литосферы колеблется от минус 10–15 °С и ниже [24].

Таблица 1

Опасные геологические процессы на территории ХМАО-Югры [26, с. 121]

Генетический тип опасного экзогенного геологического процесса (ЭГП)	Площадь (протяженность) проявлений опасных ЭГП, км ² (км)	Количество проявлений опасных ЭГП, ед.	Частотный коэффициент пораженности опасными ЭГП, ед./км ² (ед./км)
Обвалы	0,153	2	н.д.
Оползни	0,18	5	н.д.
Осыпи	0,01	1	н.д.
Пт	1,1	2	н.д.
Солифлюкция	0,25	1	н.д.
Суффозионные процессы	0,014	32	3,03
Овражная эрозия (г. Ханты-Мансийск)	25	42	3,98
Эо (Горноправдинский)	2,18	4	0,8
Эо (Бобровский)	1,47	4	0,8

Наличие обводненных грунтов, заболоченность территорий с невысокими температурами летом и низкими отрицательными – зимой, большая глубина замерзания почв, отсутствие плодородных грунтов и малое количество растительных остатков определяют низкую продуктивность почвенного покрова [24].

С учётом вышеперечисленных особенностей территории округа, почвы представлены следующими разновидностями:

- на залесенных участках – торфяно-подзолисто-глеевые и дерновослабоподзолистые;

- на заболоченных – болотные верховые и низинные;

- в поймах рек – аллювиальные дерновые, аллювиальные луговые и аллювиальные болотные. Отличительной чертой почвенного покрова ХМАО-Югры является повышенный гидроморфизм и чрезвычайно сильная заболоченность. Торфяно-подзолисто-глеевые почвы занимают плоские поверхности водоразделов. Почвы сильнокислые, малогумусные, в составе органического вещества преобладают фульвокислоты. Дерново-слабоподзолистые почвы имеют слабокислую реакцию, малогумусные и обладают малой емкостью обмена [25].

В таблице 1 представлены данные по опасным геологическим процессам на территории ХМАО-Югры.

Источники данных

При оценке влияния развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового

комплекса ХМАО-Югры были использованы данные научных исследований, отчетов о геологических исследованиях термокарстовых процессов. Обобщение и анализ информации об активизации опасных экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты по территории ХМАО-Югры проводили на основании информации об активизации опасных ЭГП, полученной из следующих источников:

- наблюдения на пунктах государственной опорной наблюдательной сети (далее – ГОНС) государственного мониторинга опасных ЭГП;

- результаты проведения плановых и оперативных инженерно-геологических обследований территорий, подверженных негативному воздействию опасных ЭГП;

- проверенная информация из открытых источников.

На территории ХМАО-Югры обследуются пункты государственной опорной наблюдательной сети государственного мониторинга опасных ЭГП; на территории Ямало-Ненецкого автономного округа 4 пункта: Салехардский, Обской, Сеяхинский и «массив Рай-Из» участки.

Кроме того, на территориях ХМАО-Югры и ЯНАО проводятся плановые инженерно-геологические обследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Интенсивное таяние мерзлоты в торфяных буграх плоскобугристых и крупнобугристых комплексов приводит к развитию

местами катастрофически усилившегося термокарста, выражающегося в формировании просадок, в зависимости от их глубины либо сохраняющих дренированный характер, либо подверженных переобводнению. Усилению протаивания способствуют и экстремальные погодные явления, частота которых заметно возросла в регионе в последние годы. Так, по данным метеостанции Ханты-Мансийска, чрезвычайной засушливостью отличался весенне-летний сезон 2012 г., в течение которого в мае выпало лишь 25% осадков от нормы, в июле – 62%, в августе – 60%, причем в июне (при значениях осадков, близких к норме) наблюдалась рекордная за 120 лет жара с превышением нормы почти на 5°. В 2014 г., наоборот, середина вегетационного сезона оказалась экстремально влажной – в июле выпало рекордное за 120 лет количество осадков, составляющее 341% от нормы. Последнее обстоятельство, в частности, привело во многих случаях к поднятию уровня воды в мочажинах выше торфяной поверхности, затоплению краевых частей мерзлых бугров с последующим их необратимым протаиванием и проседанием [20].

По информации ГУ МЧС России по ХМАО-Югре, в пос. Выкатной Ханты-Мансийского района отмечается активизация гравитационного комплекса процессов в парагенезисе с речной (береговой) эрозией. В границах населенного пункта, на протяжении 700 м произошло разрушение левого берега р. Конда высотой до 3 м, с его отступанием на 7-10 м в направлении жилой застройки в северной части поселка [27].

Случаи активизаций экзогенных геологических процессов, зафиксированных на территории ХМАО-Югры

Обзор характеристик региональных особенностей развития опасных ЭГП на территории ХМАО-Югры.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа получили развитие следующие основные виды опасных ЭГП: комплекс гравитационных процессов (оползни, обвалы, осыпи), подтопление, суффозия, эрозия овражная и плоскостная. В северной части округа развивается криогенный комплекс процессов (рис. 5) и дефляция. В III квартале 2022 года, по данным метеостанции Ханты-Мансийска, осадков выпало значительно меньше нормы (46%), при повышенном температурном фоне, что предполагает низкую активность процессов, за исключением комплекса криогенных [28].

Согласно справке, подготовленной ФГБУ «ВСЕГЕИ», на территории Ханты-Мансийского автономного округа развиваются криогенные процессы. Процессы таяния вечной мерзлоты с образованием термокарстовых озер фиксируются в бассейнах рек Обь, Иртыш и их притоках. Формы проявления термокарста на территории округа многообразны: ложбины стока, воронки, западины, озера. Скорость термокарста и термоэрозии в среднем составляет 0,5–1 м/год. На правобережье р. Обь для I надпойменной террасы характерен грядово-мочажинный микрорельеф торфяников.

Для ландшафта I надпойменной террасы левобережья р. Иртыш характерны формы рельефа, обусловленные термоабразией.



Рис. 5. Геокриологические процессы на территории ХМАО-Югра

В пределах округа широко распространён процесс криогенного пучения. Процесс криогенного пучения приводит к образованию многолетних бугров пучения различного размера и происхождения. Бугры пучения развиты в пределах всех геоморфологических уровней (кроме поймы и предгорий Урала), но особенно часто они встречаются на уровнях I, II, III и IV надпойменных террасах. Бугры пучения образуются на всей территории округа, в том числе и в болотистой местности, редко превышая высоту в 2-2,5 м. В этой связи для предупреждения разрушения зданий и сооружений следует обеспечить закладку оснований для них ниже уровня мерзлоты для обеспечения стабильности фундамента. Одним из способов защиты сооружения является обустройство дренажей и водонепроницаемых слоев с укладкой специальных материалов, а также отсыпка территорий, продухи в подвалах и др. [28].

На территории округа активно происходит разработка месторождений полезных ископаемых, нефти и газа, что приводит к развитию тектонической трещиноватости. За период наблюдений (2010-2020) в округе отмечены землетрясения маленькой амплитуды, очаг которых находится практически на поверхности. Такие толчки обусловлены антропогенной деятельностью, связанной с выкачиванием нефти и газа в месторождениях [29]. Чаще всего сейсмические толчки приурочены к территории вокруг разломов. Так как при этом происходит движение земной коры, это ведет к нарушению целостности зданий и сооружений, разрыву трубопроводов, авариям на буровых установках и т.д.

Таким образом, на территории округа существуют зоны, в которых идут активные тектонические процессы. В данных местностях разработка месторождений сопряжена с определенным риском. Территория вокруг разломов также неблагоприятна для ведения промышленной деятельности. При этом для выявления тектонически активных зон только снимков, полученных со спутников, оказывается недостаточным, и требуется привлечение дополнительных методов.

Сегодня для изучения неблагоприятных геологических процессов (просадок грунта, образование озер и т.д.), в том числе вблизи объектов жизненно важной инфраструктуры и предприятий нефтегазодобывающей промышленности, всё чаще используют данные, полученные путем спутниковой съемки. Полученные снимки обрабатываются по специальному алгоритму в соответствии с требуемыми целями и совмещаются с картой мест-

ности. Методы с применением космических снимков позволяют отслеживать изменения геологии вблизи объектов газо- и нефтедобычи, трубопроводов, перемещения поверхности в любом направлении. Данный метод применим как к небольшим объектам (например, участок месторождения), так и обширным областям земной поверхности [18].

Изучаемые экзогенные геологические процессы (далее ЭГП) выражаются чаще всего как нарушение привычного рельефа местности, изменения земной поверхности в различных плоскостях, перемещение продуктов деградации рельефа и седиментогенез [19]. ЭГП также наблюдаются и как результат антропогенной деятельности. Рассмотрим основные виды факторов, влияющих на их развитие.

Долгое время процессам, происходящим в криолитозоне на территории ХМАО-Югра, не уделялось должного внимания и не проводилась систематизация данных. Первое обобщающее исследование на основе изучения космических снимков в период с 1984 г. было проведено М.А. Куприяновым и Ю.М. Полищук. В ходе проведенного анализа ими изучалась степень нарушения геокриологических нарушений земной поверхности и составлена картосхема. При этом зоны повышенной геокриологической опасности были обнаружены в Сургутском и Нижневартовском районах [30].

Вурц Т. с соавторами был проведен мониторинг проекта прокладки трубопровода для перекачки нефти «Лянтор – Нягань». Проект предусматривает сооружение трубопровода на территории вечной мерзлоты с имеющимися термокарстами. Активность процессов таяния вечной мерзлоты можно отследить по количеству вновь образующихся термокарстовых водоемов. Вурц Т. с соавторами для оценки динамики процессов таяния вечной мерзлоты применял подсчет площади озер. Для этого исследовались снимки, полученные при помощи съемки космическими спутниками в разные временные периоды. Были взяты снимки за предыдущие 7; 5; 3 и 1 год, которые были совмещены с географической картой местности с проектом прокладки трубопровода. Было показано, что в данной местности, несмотря на активные ЭГП, площадь озер изменилась статистически незначимо. Однако авторами исследования было сделано заключение, что повышается территория, на которой грунты насыщены водой. Это позволило выявить корреляцию между увеличением площади озёр и уменьшением

площади обводненных грунтов в предшествующие пять лет, что говорит о перенасыщенности грунтов влагой и скапливании воды в термокарстовой просадке. В ходе проведения работы было выявлено отсутствие активного термокарста в исследуемом районе. Таким образом, сооружение трубопровода для перекачки нефти, по мнению авторов работы, в данной местности является безопасным [31].

Техногенные факторы

На рисунке 6 представлена сеть газо- и нефтепроводов на территории округа.

Риски для нефтегазодобывающего производства, вследствие возможного влияния окружающей среды ХМАО-Югры, состоят в возможном нарушении конструкций нефтесборных сетей, водоводов, резервуаров для хранения подготовленной нефти, шламовых амбаров, буровых установок, нефтенасосных станций, линий электропередач, факельных устройств.

Антропогенное воздействие на природный ландшафт выражается в его нарушении и трансформации при разработке месторождений, прокладке дорог к предприятиям и трубопроводам. При этом степень воздействия заключается в том, что изменяется не только ландшафт, но и другие природные

среды: загрязняется вода, меняется рельеф земной поверхности [32, с. 4].

В то же время инженерные сооружения могут служить и положительным примером воздействия на природную среду. Так, для постройки дорог на болотистых территориях используют насыпи из земли, которые впоследствии начинают обрастать растительностью. Это позволяет восполнить потери насаждений при строительстве дорог и обогатить состав лесов новыми видами [33].

В настоящее время высказывается мнение о том, что причинами образования термокарстов и уменьшения площадей озер, образованных термокарстами, которые являются методами космического зондирования, считается повышение среднегодовой температуры воздуха. Сегодня актуальность изучения территорий вечной мерзлоты различными геоинформационными методами обусловлена наличием в данных областях месторождений полезных ископаемых. Однако глобальное потепление приводит к возникновению опасных геологических процессов, связанных с таянием подземных льдов. Следующая за этим подвижность грунтов способствует возникновению опасных ситуаций на трубопроводах и других объектах инфраструктуры нефтегазового комплекса Западной Сибири.



Рис. 6. Карта газо- и нефтепроводов на территории ХМАО-Югра [22]

Ученые прогнозируют, что в ближайшие десятилетия это приведет к увеличению рисков образования термокарстов и аласов, что потребует значительных финансовых затрат для устранения последствий ЭГП. Поэтому данные, представленные в статье, могут стать основой для выработки программ, направленных на уменьшение числа аварий и происшествий на жизненно важных объектах инфраструктуры и предприятиях нефте- и газодобычи на территориях с вечной мерзлотой.

Заключение

На территории ХМАО-Югры, по результатам регулярных обследований и по информации из открытых источников, отмечаются случаи активизации опасных ЭГП, несущих существенный риск для объектов нефтегазового комплекса, а также жизненно важной инфраструктуры. Воздействие опасных ЭГП на объекты нефтегазовой инфраструктуры возникает также за счет активизации в термокарстах. Закономерности формирования и прогнозирования природных и техногенных геологических систем в процессе недропользования; геологическая и экологическая безопасность городов и объектов инфраструктуры недропользования является приоритетным направлением при прогнозе развития неблагоприятных событий и моделировании чрезвычайных ситуаций. Контроль активизации экзогенных геологических процессов с официально объявленными ЧС природного и техногенного характера требует непрерывного наблюдения со стороны предприятий-недропользователей, внедрения превентивных мер, а также управленческого супервайзинга процесса.

Таким образом, нами было проанализировано текущее влияние развития геологических и геокриологических процессов на экологические условия нефтегазового комплекса ХМАО-Югры, в результате чего был сделан вывод о необходимости продолжения исследований по данной теме с привлечением новых методов исследования и обобщения ранее полученного материала для прогнозирования и мониторинга потенциально опасных геологических процессов, проходящих в зоне вечной мерзлоты на территории округа.

Список литературы

1. Шеин А.Н., Камнев Я.К. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемёрзлых пород в естественных и антропогенных условиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2020. № 3. С. 42-50.
2. Васильев Г.Г., Джалябов А.А., Леонович И.А. Анализ причин возникновения деформаций инженерных сооружений объектов газового комплекса в криолитозоне // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 377-385.
3. Полищук Ю.М., Куприянов М.А. Изучение динамики термокарстовых озер Западно-Сибирской Арктики на основе анализа временных рядов спутниковых измерений // Вестник Югорского государственного университета. 2022. № 3 (66). С. 133-140.
4. Полищук Ю.М., Муратов И.Н., Полищук В.Ю., Байсалимова О.А., Куприянов М.А. Исследование закономерностей пространственной структуры и динамики термокарстовых озер в зоне мерзлоты Сибири в условиях климатических изменений по спутниковым снимкам // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 03-05 октября 2019 г). Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2019. С. 138-142.
5. Хомутов А.В., Бабкин Е.М., Тихошрава Я.В., Хайруллин Р.Р., Дворников Ю.А., Бабкина Е.А., Каверин Д.А., Губарьков А.А., Слагода Е.А., Садуртдинов М.Р., Судакова М.С., Королёва Е.С., Кузнецова А.О., Факашук Е.Ю., Сошенко Д.Д. Комплексные исследования криолитозоны северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1. С. 53-64.
6. Melvin A.M., Larsen P., Boehlert B., Neumann J.E., Chinowsky P., Espinet X., Martinich J., Baumann M.S., Rennels L., Bothner A., Nicolsky D. J., Marchenko S. S. Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2017. Vol. 114. No. 2. P. E122-E131. DOI: 10.1073/pnas.1611056113.
7. Hjort J., Streletskiy D., Doré G., Wu Q., Bjella K., Luoto M. Impacts of permafrost degradation on infrastructure // Nature Reviews Earth & Environment. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 24-38. DOI: 10.1038/s43017-021-00247-8.
8. Misyurkееva N., Buddo I., Shelokhov I., Smirnov A., Nezhdanov A., Agafonov Y. The structure of permafrost in northern West Siberia: Geophysical evidence // Energies. 2022. Vol. 15. No. 8. P. 2847. [Электронный ресурс]. URL: DOI: 10.3390/en15082847.
9. van Thienen-Visser K., Breunese J.N. Induced seismicity of the Groningen gas field: History and recent developments // The Leading Edge. 2015. Vol. 34. No. 6. P. 664-671. DOI: 10.1190/tle34060664.1.
10. Picotti S., Francese R., Giorgi M., Pettenati F., Carcione J.M. Estimation of glacier thicknesses and basal properties using the horizontal-to-vertical component spectral ratio (HVSR) technique from passive seismic data. Journal of Glaciology. 2017. Vol. 63. No. 238. P. 229-248. DOI: 10.1017/jog.2016.135.
11. Smith S.L., O'Neill H.B., Isaksen K., Noetzli J., Romanovsky V.E. The changing thermal state of permafrost // Nature Reviews Earth & Environment. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 10-23. DOI: 10.1038/s43017-021-00240-1.
12. Constable S. Water and Electricity Do Mix: Studying Plates, Petroleum, and Permafrost using Marine Electromagnetism // AGU Fall Meeting Abstracts. 2015. Vol. 2015. P. GP24B-01.
13. Boswell R., Bünz S., Collett T. S., Frye M., Fujii T., McConnell D., Shin K. S. Introduction to special section: Exploration and characterization of gas hydrates // Interpretation. 2016. Vol. 4. No. 1. P. SAI-SAii. DOI: 10.1190/INT-2016-0103-SPSEINTRO.1.
14. Oldenborger G.A., LeBlanc A.M. Geophysical characterization of permafrost terrain at Iqaluit International Airport, Nunavut // Journal of Applied Geophysics. 2015. Vol. 123. P. 36-49. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2015.09.016.
15. Léger E., Dafflon B., Soom F., Peterson J., Ulrich C., Hubbard S. Quantification of arctic soil and permafrost properties using ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography datasets // IEEE Journal of Selected Topics in Applied

Earth Observations and Remote Sensing. 2017. Vol. 10. No. 10. P. 4348-4359. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2694447.

16. Агеев В.В., Агеев Д.В. Изучение мерзлых разрезов Якутии с помощью зондирования становлением поля в ближней зоне и вертикального электрического зондирования методом вызванной поляризации // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 64-69.

17. Желтенкова Н.В., Гагарин В.Е., Кошурников А.В., Набиев И.А. Режимные геокриологические наблюдения на высокогорных перевалах Тянь-Шаня // Арктика и Антарктика. 2020. № 3. С. 25-43.

18. Якутин М.В., Анопченко Л.Ю., Пучнин А.Н. Особенности экологического мониторинга озер Сибири в условиях глобального изменения климата // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 2 № 4. С. 133-144.

19. Калиничева С.В. Выявление и картографирование мерзлых и талых пород с использованием космических снимков в горных районах криолитозоны (на примере Олекмо-Чарского нагорья в Южной Якутии) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24. № 2. С. 71-82.

20. Шаматов Е.Н., Московченко Д.В. Типология и динамика болотных экосистем северной тайги Западной Сибири в условиях воздействия нефтегазового комплекса (на примере природного парка Нумто) // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 6. С. 933-943.

21. Зубаков В.А. Новейшие отложения Западно-Сибирской низменности. Л.: Тр. ВНИГНИ, 1972. 310 с.

22. Экологический парк Югры [Электронный ресурс]. URL: <https://aaningsitir.ru/areas/registry/1/1>. (дата обращения: 09.05.2023).

23. Евсеева Н.С., Земцов А.А. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 240 с.

24. Клец П.К. Устройство дорожного полотна в условиях вечной мерзлоты // Молодой ученый. 2021. № 3 (345). С. 125-129.

25. Алексеева М.Н., Головацкая Е.А., Яценко И.Г., Пустовалов К.Н. Среднетаежные леса ХМАО в условиях нефтегазодобычи // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН (г. Москва, 25–29 апреля 2022 г). М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2022. С. 145-148.

26. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Уральского федерального округа Российской Федерации в 2018 г. Выпуск 19, ФГБУ «Гидроспецгеология», филиал «Уральский региональный центр ГМСН». Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2019. 220 с.

27. Информационная сводка. «О проявлениях экзогенных геологических процессов на территории УрФО за III квартал 2022 г». Екатеринбург: ФГБУ «Гидроспецгеология», Филиал Уральский региональный центр ГМСН. С. 13-18.

28. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 15.03.2022 [Электронный ресурс]. URL: http://atlaspacket.vsegei.ru/Documents/RUSSIA_2022/RESULT/Справки%20МСБ%20на%2015.03.2022/УФО/MSB_НМАО_15.03.2022.pdf?475.9910305586035 (дата обращения: 29.05.2023).

29. Карта землетрясений. [Электронный ресурс]. URL: <https://voshod-solnca.ru/earthquake/ханты-мансийск> (дата обращения: 24.05.2023).

30. Куприянов М.А. Исследование изменений термокарстовых процессов на территории ХМАО по космическим снимкам // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: сб. науч. ст. по материалам I региональной молодежной конференции им. В. И. Шпильмана «Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири» (г. Ханты-Мансийск, 25-26 марта 2013 г). Ханты-Мансийск: Институт развития образования, 2013. С. 133-135.

31. Вурц Т.В., Кабанов Е.В., Юрлов М.А. Мониторинг термокарстовых процессов в криолитозоне на линейной части магистрального трубопровода // НаукоСфера. 2021. № 7-2. С. 180-188.

32. Ходжаева Г.К. Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: монография. Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского государственного университета, 2016. 132 с.

33. Копылов И.С., Голдырев В.В., Ковин О.Н. О научном направлении – НШ «Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность» // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 17–18 ноября 2015 г). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. С. 19-27.

СТАТЬИ

УДК 622.772:544.723
DOI 10.17513/use.38059

КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ ЗОЛОТА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЦЕОЛИТАМИ

Белова Т.П.

*Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: tpbel@yandex.ru*

Экспериментально исследована кинетика сорбции золота цеолитами двух различных месторождений: цеолитом Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края. В состав цеолитового туфа Ягоднинского месторождения входит около 70% клиноптилолита и около 10% морденита. Кремнеземистый модуль $Si/Al = 5,25$; $Ca/(Na+K) = 0,89/4,97$. По минеральному составу цеолитовый туф Середочного месторождения на 65–70% представлен клиноптилолитом и изоструктурным ему гейландитом, имеет соотношение $Si/Al = 3,15$; $Ca/(Na+K) = 2,86/4,10$. Практически достигнутая сорбционная емкость цеолитов из индивидуальных модельных растворов золота равна 0,57 ммоль/кг и 1,02 ммоль/кг для цеолитов Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно. Для расчетов кинетических характеристик применяли модели псевдопервого и псевдovторого порядков. Константы скорости по модели псевдопервого порядка имеют значения $1,0–9,2 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ и $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ при сорбции цеолитами Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно. По модели псевдovторого порядка значения констант скорости сорбции составляют $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ммоль}^{-1}$ и $1,4 \cdot 10^{-8} – 1,15 \cdot 10^{-10} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ммоль}^{-1}$ при сорбции цеолитами Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно. Рассчитанные коэффициенты диффузии, в зависимости от глубины протекания процесса имеют значения $1,47 \cdot 10^{-9} – 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ при сорбции золота цеолитом Ягоднинского месторождения и $1,6 \cdot 10^{-10} – 9,6 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$ при сорбции цеолитом Середочного месторождения. Низкие значения коэффициентов диффузии подтверждают, что лимитирующей является внутридиффузионная стадия сорбции.

Ключевые слова: цеолит, клиноптилолит, гейландит, морденит, золото, коэффициент внутренней диффузии

KINETICS OF GOLD ION SORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY ZEOLITES

Belova T.P.

*Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: tpbel@yandex.ru*

The kinetics of gold sorption by zeolites from two different deposits – Yagodninsky deposit (Kamchatka) and Seredochny deposit (Khabarovsk) – is experimentally studied. Zeolitic tuff of the Yagodninsky deposit contains about 70% of clinoptilolite and about 10% of mordenite. Silica modulus is as follows: $Si/Al = 5,25$; $Ca/(Na+K) = 0,89/4,97$. According to the mineral composition, the zeolite tuff of the Seredochny deposit is 65–70% represented by clinoptilolite and gaylandite which is isostructural to it, and it has $Si/Al = 3,15$ and $Ca/(Na+K) = 2,86/4,10$ ratios. Practically reached sorption capacity of zeolites from individual model solutions of gold is 0,57 meq/kg and 1,02 meq/kg for zeolites of Yagodninsky and Seredochny deposits, respectively. Pseudo-first and pseudo-second order models are used for calculations of kinetic characteristics. According to the model of pseudo-first order the rate constants have values $1,0–9,2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ and $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ in sorption by zeolites of Yagodninsky and Seredochny deposits, respectively. According to the model of pseudo-second order the values of rate constants of sorption are $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1}$ and $1,4 \cdot 10^{-8} – 1,15 \cdot 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1}$ in sorption by zeolites of Yagodninsky and Seredochny deposits, respectively. Depending on the depth of the process the calculated diffusion coefficients have values $1,47 \cdot 10^{-9} – 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ in sorption by zeolite of Yagodninsky deposit and $1,6 \cdot 10^{-10} – 9,6 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ in sorption by zeolite of Seredochny deposit. The low values of the diffusion coefficients indicate that the limiting stage of sorption is the intra-diffusion stage.

Keywords: zeolite, clinoptilolite, haylandite, mordenite, gold, internal diffusion coefficient

Цеолиты – это водные алюмосиликаты. Часто их называют молекулярными ситами из-за наличия в структуре пустот, пор и каналов различного размера, сопоставимого с размерами молекул. Благодаря развитой внутренней поверхности цеолиты обладают сорбционными свойствами. Цеолиты поглощают газы, влагу за счет физической сорбции, но для них характерен и ионный обмен. В качестве обменных катионов выступают ионы щелочных и щелочноземельных металлов [1, с. 7; 2, 3]. Цеолиты известны с давних времен, но начало широкого практического использования отно-

сят к 1960-м гг. Среди цеолитов, имеющих практическое значение, стоит выделить клиноптилолит и изоструктурный ему гейландит, морденит, шабазит, филлипсит.

Применение цеолитов в процессах водоочистки с целью сохранения экологической обстановки в районах добычи и переработки полезных ископаемых приводит к предотвращению загрязнения поверхностных вод ионами токсичных металлов [4]. Но извлечение ионов целевых металлов из сточных вод представляет большой научный и практический интерес с точки зрения повышения рентабельности произ-

водства [5]. В частности, при переработке труднообогатимого золотосодержащего сырья методом цианирования некоторое количество комплексных соединений золота и серебра остается в кеках выщелачивания [6]. Под действием атмосферных факторов формируются дренажные воды, содержащие ионы золота и других ценных химических элементов.

Целью настоящей работы является установление кинетических характеристик сорбции золота цеолитами Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края.

Адсорбция на границе твердая фаза – жидкость представляет собой сложный многостадийный физико-химический процесс. В настоящий момент выделяется пять основных стадий [1, с. 32; 2, 7]: внешняя диффузия, сопровождающаяся массообменом на поверхности сорбента; внутренняя диффузия – массообмен в порах сорбента; химическая реакция ионного обмена; диффузия обмениваемых ионов из глубины твердой фазы к поверхности; диффузия противоионов в фазу раствора. Невозможно провести границу между перечисленными стадиями, существуют переходные кинетические области, например смешанно-диффузионная.

Материалы и методы исследования

Эксперименты по установлению кинетических характеристик сорбции золота цеолитом Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края вели методом отдельных навесок при стандартных условиях – температуре 25 ± 2 °С. Пробоподготовку цеолитов выполняли на дробильно-мельничном оборудовании фирмы «Fritsch» (Германия): измельчение проводили на щековой дробилке; рассеивание по фракциям – на вибрационном каскаде сит. Выделенные фракции отмывали дистиллированной водой для удаления пылевидных частиц, затем сушили на воздухе. Модельный раствор золота с содержанием 10 мг/л готовили разбавлением из государственного стандартного образца (ГСО 8429-2003 концентрация золота 1,0 мг/мл, фон соляная кислота). Для этого аликвоты основного стандартного раствора разбавляли дистиллированной водой. Навески цеолита приводили в контакт с модельными растворами, по истечении заданного времени раствор отделяли от твердой фазы фильтрованием. В фильтрах анализировали остаточное содержание золота методом

ICPE-9000 с индуктивно-связанной плазмой фирмы «Shimadzu», (Япония).

Результаты исследования и их обсуждение

В работе использовали цеолиты Середочного месторождения Хабаровского края и Ягоднинского месторождения Камчатского края. По минеральному составу цеолитовый туф Середочного месторождения на 65–70% представлен гейландитом и клиноптилолитом, имеет соотношение $Si/Al = 3,15$; $Ca/(Na+K) = 2,86/4,10$. По классификации [8] к гейландиту относят минералы с $Ca > (Na+K)$ и $Si/Al > 2,47-3,73$. К клиноптилолиту – минералы с $Ca < (Na+K)$ и $Si/Al > 3,73-5,25$. По первому признаку щелочные металлы преобладают над содержанием кальция как в клиноптилолите, по второму признаку – кремнеземистый модуль 3,15 соответствует гейландиту. Ввиду различающихся физико-химических свойств распределение гейландита и клиноптилолита по фракциям при рассеиве тоже различно, что подтверждается ранее проведенным рентгеноструктурным анализом. В состав Цеолитового туфа Ягоднинского месторождения входит около 70% клиноптилолита и около 10% морденита. Кремнеземистый модуль $Si/Al = 5,25$; $Ca/(Na+K) = 0,89/4,97$. Высокое значение отношения кремния к алюминию косвенно подтверждает присутствие морденита, что ранее подтверждено данными рентгеноструктурного анализа [9]. Морденит, клиноптилолит и изоструктурный ему гейландит представлены поликатионными Na-K-Ca-формами. Обменными катионами являются ионы Na^+ , K^+ и Ca^{2+} . В табл. 1 приведен состав цеолитовых туфов по данным силикатного анализа.

Для описания кинетики сорбции использовали модели псевдопервого порядка (уравнение 1) и псевдвторого порядка (уравнение 2) [2, 10, 11], интегральные уравнения которых имеют вид

$$a_t = a_{eq} (1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

$$a_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 a_{eq}^2} + \frac{t}{a_{eq}}} \quad (2)$$

где a_t и a_{eq} – сорбционные емкости в момент времени t и в состоянии равновесия соответственно, ммоль/г; k_1 – константа скорости сорбции модели псевдопервого порядка, $1/c$; k_2 – константа скорости сорбции псевдвторого порядка, г/(ммоль·с).

Таблица 1

Химический состав по данным силикатного анализа цеолитовых туфов
Ягоднинского и Середочного месторождений

Определяемые показатели	Месторождение	
	Середочное, мас. доля, %	Ягоднинское, мас. доля, %
Оксид натрия (Na ₂ O)	0,95	2,45
Оксид магния (MgO)	1,2	0,3
Оксид алюминия (Al ₂ O ₃)	16,5	12,5
Оксид кремния (SiO ₂)	58,8	69
Оксид фосфора (P ₂ O ₅)	<0,01	<0,01
Оксид калия (K ₂ O)	4,1	3,8
Оксид кальция (CaO)	4,0	1,25
Оксид титана (TiO ₂)	0,63	0,34
Оксид марганца (MnO)	0,057	0,06
Оксид железа (Fe ₂ O ₃ _{общ.})	3,7	1,15
Потери при прокаливании (ППП)	10,0	5,45
Вода гигроскопическая	1,7	3,7

Уравнение (1), описывающее модель псевдопервого порядка, в координатах – $\ln(1-F)$ от t имеет прямолинейный характер. Здесь F – степень достижения равновесия, которую рассчитывали по формуле $F = a_1/a_{eq}$. На графиках (рис. 1), построенных по экспериментальным данным, наблюдаем, что в случае сорбции золота на цеолите Ягоднинского месторождения (линия 1) имеется точка перегиба при степени достижения равновесия на 65%, а в случае сорбции на цеолите Середочного месторождения (линия 2) зависимость прямолинейна во всем диапазоне. Коэффициенты корреляции R^2 имеют высокие значения, приближающиеся к единице. Коэффициенты перед x численно равны константам скорости сорбции k_1 по модели псевдопервого порядка. Константа скорости псевдопервого порядка при сорбции золота цеолитом Ягоднинского месторождения до степени заполнения 65% имеет значение $9,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ($R^2 = 0,989$), затем ее значение уменьшается и становится равным $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ($R^2 = 1,0$). При сорбции золота цеолитом Середочного месторождения на всем протяжении наблюдения $k_1 = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ($R^2 = 0,995$).

Обработка экспериментальных данных по модели псевдопервого порядка (уравнение 2) методом построения графика в координатах t/a_1 от t , позволяет рассчитать k_2 , г/(ммоль·с) – константу скорости псевдопервого порядка. На графике (рис. 2) линия 1,

описывающая кинетику сорбции золота на цеолите Ягоднинского месторождения, линейна на всем участке, в то время как кинетика сорбции на цеолите Середочного месторождения имеет точку перегиба при степени заполнения 31%, далее происходит замедление процесса. Константа скорости псевдопервого порядка при сорбции золота из модельных растворов цеолитом Ягоднинского месторождения $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ммоль}^{-1}$ ($R^2 = 0,999$). При сорбции золота цеолитом Середочного месторождения до степени завершения процесса 31% значение константы скорости псевдопервого порядка имеет величину $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ммоль}^{-1}$ ($R^2 = 0,999$), затем падает на два порядка и становится равной $1,15 \cdot 10^{-10} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ммоль}^{-1}$ ($R^2 = 1,0$).

Для расчета коэффициентов диффузии D_{ef} по экспериментальным данным строили графические зависимости (рис. 3) степени завершения процесса F от корня квадратного из времени. Было сделано допущение и расчеты проведены исходя из уравнения (3) для сферических частиц [1, с. 34; 2, 10]:

$$F = \frac{6}{r} \sqrt{\frac{D_{ef} t}{\pi}},$$

$$D_{ef} = \frac{\pi r^2}{36} \cdot \text{tg}^2 \alpha, \quad (3)$$

где α – угол наклона прямой в координатах $F - \sqrt{t}$.

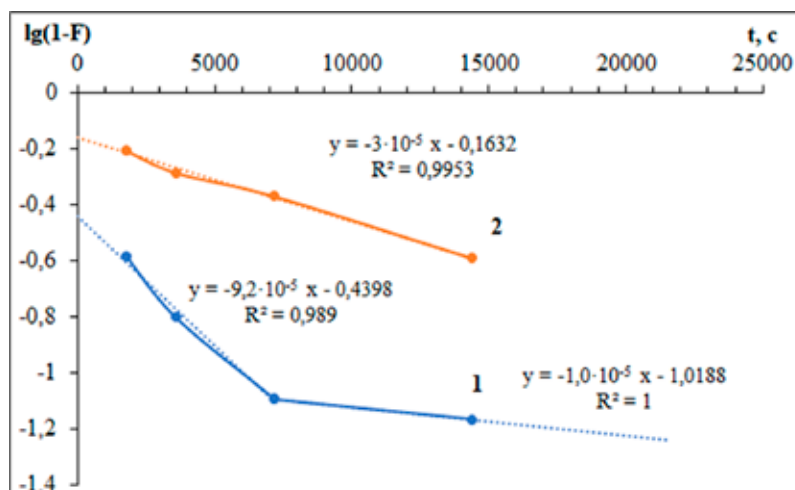


Рис. 1. Линейная форма кинетического уравнения псевдопервого порядка: 1– цеолит Ягоднинского месторождения; 2– цеолит Середочного месторождения

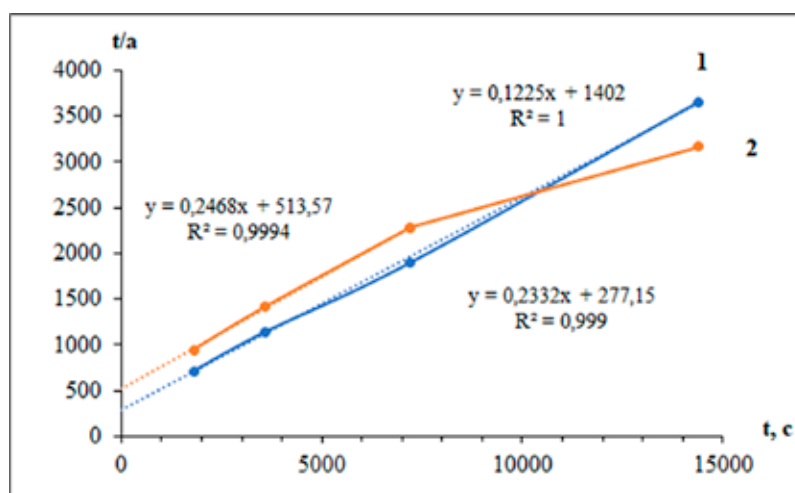


Рис. 2. Линейная форма кинетического уравнения псевдвторого порядка, зависимость t/a от времени t : 1 – цеолит Ягоднинского месторождения; 2 – цеолит Середочного месторождения

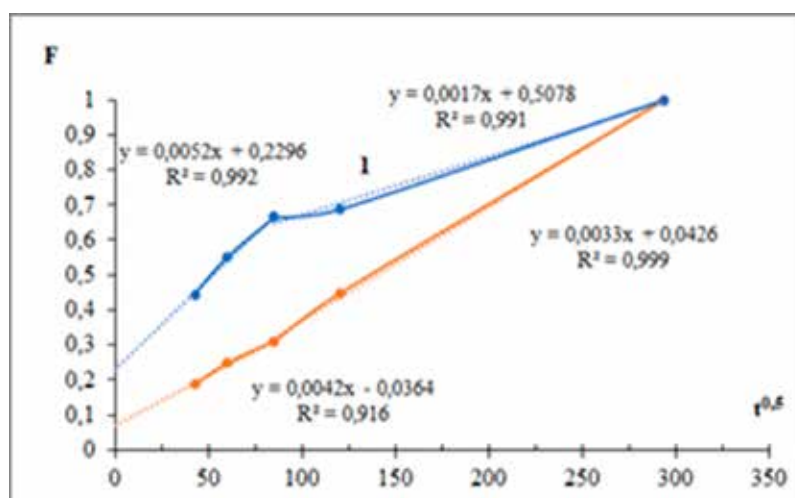


Рис. 3. Зависимость степени завершения процесса сорбции от квадратного корня времени: 1– цеолит Ягоднинского месторождения; 2– цеолит Середочного месторождения

Таблица 2

Сорбционные характеристики цеолитов Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края

Месторождение	a, ммоль/кг практ.	Степень завершенности, %	$k_1 \cdot 10^5$, с ⁻¹	$k_2 \cdot 10^8$, г · с ⁻¹ ммоль ⁻¹	$D_{ef} \cdot 10^{10}$, см ² /с	
					r = 0,025 см	r = 0,0125 см
Ягоднинское	0,57	65	9,2	3,8	14,7	3,7
		100	1,0		1,6	0,39
Середочное	1,02	31	3,0	1,4	9,6	2,4
		100		115	5,9	1,6

Критериями оценки кинетики протекающей гетерогенного процесса может служить величина коэффициента диффузии D_{ef} . Значения коэффициентов диффузии, имеющие порядок $10^{-5} - 10^{-6}$ см²/с, характерны для движения свободных ионов. На границе раздела фаз (внешнедиффузионная кинетика) порядок коэффициентов диффузии обычно $10^{-7} - 10^{-8}$ см²/с, внешнедиффузионная кинетика характеризуется коэффициентами диффузии $10^{-8} - 10^{-9}$ см²/с и меньше. В табл. 2 приведены сорбционные характеристики исследованных цеолитов при сорбции золота из модельных растворов. Значение практической сорбционной емкости цеолита Ягоднинского месторождения по золоту составило 0,57 ммоль/кг, сорбционная емкость цеолита Середочного месторождения в 1,8 раза выше и имеет значение 1,02 ммоль/кг.

Графическая зависимость $F - \sqrt{t}$ (рис. 3) мультилинейна [2], для расчета коэффициентов внутренней диффузии использовали уравнение 3, Рассчитанные коэффициенты диффузии для радиусов зерен цеолита 0,025 и 0,0125 см приведены в табл. 2. Коэффициенты диффузии ионов золота на зернах цеолита Ягоднинского месторождения до степени завершенности процесса 65% имеют значения $1,47 \cdot 10^{-9} - 3,7 \cdot 10^{-10}$ см²/с соответственно. Далее значения коэффициентов диффузии при $r = 0,025$ см становится равным $1,6 \cdot 10^{-10}$ см²/с, а для гранул цеолита $r = 0,0125$ см – $3,9 \cdot 10^{-11}$ см²/с. При сорбции золота цеолитом Середочного месторождения до степени завершенности процесса 31% значения коэффициента диффузии равны $2,4 - 9,6 \cdot 10^{-10}$ см²/с, при $r = 0,0125$ см и $r = 0,025$ см соответственно. Затем незначительно снижается, вплоть до завершения процесса $D_{ef} = 5,9 - 1,6 \cdot 10^{-10}$ см²/с, при $r = 0,0125$ см и $r = 0,025$ см соответственно.

Как ранее было указано, при расчете D_{ef} было сделано допущение, что частицы име-

ют сферическую форму, однако при сорбции природными материалами необходимо иметь в виду, что частицы природных материалов не имеют правильной сферической формы и при более точных расчетах нужно вводить поправочный коэффициент, так называемый фактор формы. Однако в случае сорбции цеолитами оценка фактора формы обычно затруднена из-за развитой внутренней поверхности цеолитов, наличия в их структуре пустот, пор и каналов. Исходя из полученных экспериментальных данных, не удалось выделить внешнедиффузионную область протекания процесса сорбции и определить коэффициент внешней диффузии, вероятно, эта область лежит в интервале времени от начала эксперимента до 30 мин в это время возможно образование агрегатов коллоидных частиц, затем смешанно-диффузионный механизм довольно быстро переходит во внутридиффузионный. Экспериментальное исследование кинетики сорбции ионов золота из модельных растворов цеолитами Ягоднинского и Середочного месторождений показывает, что лимитирующей стадией является диффузия ионов в кристаллической решетке минералов.

Выводы

На основании приведенных экспериментальных исследований по сорбции золота из слабокислых модельных растворов цеолитами Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края можно сделать выводы:

1. Природные формы цеолитов Ягоднинского месторождения Камчатского края и Середочного месторождения Хабаровского края представляют собой перспективные сорбенты для извлечения золота из дренажных вод, образующихся при хранении кеков выщелачивания золотоизвлекательных фабрик.

2. Для описания кинетики сорбции золота цеолитами применимы модели псевдопервого и псевдвторого порядков, что подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции. Константы скорости по модели псевдопервого порядка имеют значения $1,0 - 9,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ при сорбции цеолитами Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно. По модели псевдвторого порядка значения констант скорости сорбции составляют $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ммоль}^{-1}$ и $1,4 \cdot 10^{-8} - 1,15 \cdot 10^{-10} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ммоль}^{-1}$ при сорбции цеолитами Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно.

3. Рассчитанные коэффициенты диффузии, в зависимости от глубины протекания процесса имеющие значения $- 1,47 \cdot 10^{-9} - 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ при сорбции золота цеолитом Ягоднинского месторождения и $1,6 \cdot 10^{-10} - 9,6 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$ при сорбции цеолитом Середочного месторождения, подтверждают, что лимитирующей является внутридиффузионная стадия сорбции.

4. Практически достигнутая сорбционная емкость цеолитов из индивидуальных модельных растворов золота равна $0,57 \text{ ммоль/кг}$ и $1,02 \text{ ммоль/кг}$ для цеолитов Ягоднинского и Середочного месторождений соответственно.

Список литературы

1. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионнообменные свойства природных высококремнистых цеолитов. М.: Наука, 1988. 128 с.
2. Рамазанов А.Ш., Есмаил Г.К., Свешникова Д.А. Кинетика и термодинамика сорбции ионов тяжелых металлов на монтмориллонит-содержащей глине // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15, Вып. 5. С. 672–682.
3. Филатова Е.Г., Матиенко О.И. Исследование адсорбции ионов никеля (II) природными сорбентами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23, № 1. С. 116–128. DOI: 10.17308/sorpchrom.2023.23/10999.
4. Ершова Л.С., Белова Т.П. Перспективы использования природных цеолитов Ягоднинского месторождения Камчатского края // Естественные и технические науки. 2017. № 3 (105). С. 66–69.
5. Латкин А.С., Лузин В.Е., Паршин Б.Е., Моргун В.М., Басманов О.Л., Белова Т.П. Способ извлечения кремнезема из гидротермального теплоносителя. Патент на изобретение RU 2323889 C2, 10.05.2008. Заявка № 2006124073/15 от 04.07.2006.
6. Дампилова Б.В., Зонхоева Э.Л. Сорбция ионов золота природными цеолитами и цеолитовыми туфами // Теоретические и практические вопросы интеграции химической науки, технологии и образования. 2016. С. 57–66.
7. Sellaoui L., Ali J., Chen Z., Badawi M., Bonilla-Petriciolet A. Understanding the adsorption mechanism of Ag^+ and Hg^{2+} on functionalized layered double hydroxide via statistical physics modeling // Applied Clay Science. 2020. Vol. 198. P. 105828. DOI: 10.1016/j.clay.2020.105828.
8. Годовиков А.А. Минералогия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1983. 647 с.
9. Белова Т.П., Ершова Л.С., Рагчина Т.И. Рентгенофазовое исследование изменения структуры природного цеолита в результате сорбции тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19, № 6. С. 673–681. DOI: 10.17308/sorpchrom.2019.19/2228.
10. Kovo G. Akpomie, Folasegun A. Dawodu, Kayode O. Adebowale. Mechanism on the sorption of heavy metals from binary-solution by a lowcost montmorillonite and its desorption potential // Alexandria Engineering Journal, 2015. Vol. 54. P. 757–767. DOI: 10.1016/J.AEJ.2015.03.025.
11. Mahmoud F. Mubarak, Atef Mohamed Gad Mohamed, Mohammed Keshawy, Thanaa Abd elMoghny, Nabila Shehata. Adsorption of heavy metals and hardness ions from groundwater onto modified zeolite: Batch and column studies // Alexandria Engineering Journal. 2021. Vol. 61. P. 4189–4207. DOI: 10.1016/J.AEJ.2021.09.041.

УДК 622.3

DOI 10.17513/use.38060

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЕЖАЛОГО МЕДИСТОГО КЛИНКЕРА

Орехова Н.Н., Глаголева И.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: iva_290983@mail.ru

Современное развитие горно-металлургической отрасли в России и за рубежом характеризуется уменьшением содержания металлов в рудах и одновременным увеличением объема твердых отходов, с которыми теряется значительное количество цветных металлов и железа. В условиях современной экономики России, с целью получения дополнительных объемов выпускаемой продукции, в переработку вводятся богатые по содержанию меди, золота, серебра и цинка техногенные образования металлургического производства. Уральский регион уже более 300 лет является металлургическим центром России, и за столь продолжительный временной период здесь накопилось большое количество техногенных отходов, среди них – клинкер вельцевания цинковых кеков. По оценкам экспертов, ежегодное повышение потребления меди составляет 415 000 тонн, в связи с этим остро стоит вопрос о дефиците меди из-за ограниченности мировых запасов и постепенного снижения объемов производства на фоне недостатка инвестиций в разработку новых месторождений. В статье представлены результаты проведенных технологических исследований по обогащению пробы клинкера вельцевания Челябинского цинкового завода. Проанализированы существующие методы использования вельц-клинкера. Изучена возможность применения схемы, включающей магнитное разделение, гравитационное разделение немагнитной фракции с получением углеродсодержащего концентрата. Получен объединенный продукт, предназначенный для дальнейшего флотационного разделения, в который извлечено более 90% меди и железа с более высоким содержанием меди и более низким содержанием углерода, чем в ранее реализованных технологических схемах разделения клинкера с выделением медного концентрата флотацией.

Ключевые слова: клинкер вельцевания, вельц-процесс, гранулометрический анализ, гравитационное разделение, магнитная сепарация

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00526,
<https://rscf.ru/project/22-27-00526/>.*

IMPROVEMENT OF PROCESSING TECHNOLOGY OLD COPPER CLINKER

Orekhova N.N., Glagoleva I.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: iva_290983@mail.ru

The modern development of the mining and metallurgical industry in Russia and abroad is characterized by a decrease in the content of metals in ores and a simultaneous increase in the volume of solid waste, with which a significant amount of non-ferrous metals and iron is lost. In the conditions of the modern Russian economy, in order to obtain additional volumes of manufactured products, technogenic formations of metallurgical production, rich in copper, gold, silver and zinc, are introduced into processing. The Ural region has been the metallurgical center of Russia for more than 300 years, and over such a long period of time a large amount of man-made waste has accumulated here, among them is clinker from zinc cake Waelz. According to experts, the annual increase in copper consumption is 415,000 tons, in connection with this, the issue of a shortage of copper has sharply become, due to the limited world reserves and a gradual decrease in production volumes against the backdrop of a lack of investment in the development of new deposits. The article presents the results of technological studies on the enrichment of a sample of Waelz clinker from the Chelyabinsk Zinc Plant. The existing methods of using Waelz-clinker are analyzed. A scheme including magnetic separation, gravity separation of the non-magnetic fraction to produce a carbon-containing concentrate was investigated. A combined product for further flotation separation was obtained, in which more than 90% of copper and iron with higher copper content and lower carbon content were extracted than in previously realised technological schemes of clinker separation with separation of copper concentrate by flotation.

Keywords: waelz clinker, waelz process, granulometric analysis, gravity separation, magnetic separation.

*The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-27-00526,
<https://rscf.ru/project/22-27-00526/>.*

В практике цинкового производства вельцевание – один из самых распространенных пирометаллургических процессов восстановления цинка [1]. В результате процесса образуется твёрдый остаток перерабатываемой шихты – клинкер вельцевания, который накапливается в отвалах или перерабатывается с разделением на магнитную железосодержащую и немагнитную углеродсодержащую фракции. Железосо-

держащие отходы гидromеталлургических технологий в силу содержания токсичных соединений мышьяка, сурьмы, свинца и высокой дисперсности требуют особых условий для складирования, так как вызывают эрозию и заражение земель вредными элементами. Прежде чем утилизировать или включить в переработку, надо понять, с каким химическим и минеральным составом мы имеем дело [2].

В настоящее время клинкер вельцевания, не содержащий значительного количества ценных компонентов, используют в дорожном строительстве как для покрытий, так и для структурных слоёв [3], в строительной области: производство кирпичей [4-6], цемента [7], бетона [8; 9].

Клинкер является, с одной стороны, многотоннажным твердым отходом цветной металлургии, а с другой – техногенным минеральным сырьем с высокими концентрациями железа, цветных и благородных металлов [10].

Вельц-клинкер различных предприятий отличается между собой химическим составом (табл. 1) и фазовыми составляющими. В связи с этим его плотность, магнитные и флотационные свойства различны. Эти отличия лежат в основе комбинирования методов механического обогащения, которые предлагается использовать при переработке клинкера. Комбинации методов отличаются набором и последовательностью применения различных методов обогащения.

Значительное количество клинкера образуется на Челябинском цинковом заводе, поэтому в условиях дефицита рудного сырья и необходимости снижения количества за складированных отходов представляет научный и практический интерес разработка технологии переработки клинкера с получением медного концентрата или промпродукта и максимальным использованием имеющихся технических и технологических возможностей обогатительного производства.

Анализ исследовательских работ показывает, что разработанные на данный момент схемы позволяют получить в разной комбинации следующие продукты: медьсодержащий, углеродсодержащий, железосодержащий и золотосодержащий. Магнитному разделению подвергается, как правило, только исходный клинкер. Но имеется пример включения в магнито-флотационную схему операции магнитной сепарации доизмельченной магнитной фракции второго приема магнитной сепарации исходного клинкера, объединенной с хвостами медной флотации. Флотационное разделение медистого клинкера проводится по двум вариантам: с выделением коксика (операция угольной флотации) в первом приеме флотации или с выделением коксика после предварительного флотационного выделения меди [11].

Получаемые по обогатительным схемам продукты из-за недостаточно полного

разделения техногенных фаз клинкера характеризуются повышенным содержанием примесей.

Цель исследования – определить оптимальные условия магнитного и гравитационного разделения лежалого клинкера вельцевания Челябинского цинкового завода и порядок соответствующих операций в технологической схеме, при которых происходит наилучшее селективное выделение в одноименный концентрат углерода и более высокое извлечение меди в объединенный продукт перед флотацией.

Материалы и методы исследования

Технологические исследования проведены на пробе лежалого клинкера Челябинского цинкового завода и продуктах разделения клинкера сухой магнитной сепарацией. Использованы методы гравитационного, магнитного обогащения клинкера. Эксперименты проведены на лабораторном оборудовании лаборатории обогащения полезных ископаемых МГТУ им. Г.И. Носова: подготовка клинкера до требуемой крупности осуществлялась в рольганговой барабанной шаровой мельнице, сухая магнитная сепарация выполнялась на электромагнитном роликовом сепараторе 138Т-СЭМ, мокрая магнитная сепарация на анализаторе трубчатом 298 СЭ, обогащение магнитного концентрата проводили на лабораторном концентрационном столе 306-КЦ.

Результаты исследования и их обсуждение

Сделанный оптико-микроскопический анализ пробы показал, что преобладающими немагнитными фазами клинкера, с которыми ассоциированы медьсодержащие фазы, являются мелилит и троилит [12], и что для первичного разделения железосодержащих и углеродсодержащих фаз проба должна быть доведена до крупности -3 мм. Гранулометрический анализ (табл. 2) и магнитный анализ с использованием ручного магнита ($H = 42,8$ кА/м) пробы клинкера, доведенной до класса -3 мм, показал, что в пробе преобладают классы крупность -3+1 и -1+0,5 мм (по 56,1% и 34,72% соответственно) и самое большее извлечение металлов приходится также на эти классы, но при этом наибольшая массовая доля железа, меди и цинка, соответственно 37,98; 4,73; 6,24%, приходится на класс -0,074 мм.

Таблица 1

Химический состав клинкера различных предприятий

Название предприятия	Массовая доля некоторых компонентов, %														
	Zn	Cu	Pb	Si	Ca	Cd	CaO	Mg	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{общ}	Al	Ba	Mn
Ачисайский полиметаллический комбинат (Казахстан)	1.5-2	-	0.1-0.2	-	-	0.001	13-16	-	2-3	16-20	3-5	20-23	-	-	-
ОАО «Электроцинк» (г. Владикавказ)	5.04	0.69	1.07	6.47	10.2	-	1.6	0.287	-	23.56	6.39	22	1.41	1.41	1.96
ПАО «ЧЦЗ» (г. Челябинск)	2.1	3,34	0.8	-	6.4	-	-	1	-	17.5	-	33.8	2.3	-	-
ООО «Беловский свинцово-цинковый комбинат»	0.26	1.11	0.078	-	-	-	4.69	-	1.83	31.8	8.39	14.4	-	-	0.11
Название предприятия	Массовая доля некоторых компонентов														
	%														
Ti	C	Cr	Sr	Sn	As	S	Sb	K	O	Ni	Se	Bi	Ag	Au	г/т
-	16-17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.274	10	0.131	0.082	0.058	0.267	-	0.091	0.507	30.4	-	-	-	180	1	-
-	13.6	-	-	-	0.195	5.1	-	-	-	-	-	-	345	4.8	-
-	17.3	-	-	0.01	0.13	1.38	0.0036	-	-	0.005	0.0005	0.0005	-	-	-

Таблица 2

Гранулометрический состав и распределение металлов по классам крупности

Размер фракции, мм	Выход, %	Массовая доля, %			Извлечение, %		
		железо	медь	цинк	железо	медь	цинк
-3+1	56,11	27,70	2,76	2,08	55,91	46,30	57,70
-1+0,5	34,72	28,34	4,02	2,48	35,39	41,78	42,66
-0,5+0,14	6,67	29,02	4,46	2,70	6,96	8,92	8,91
-0,14+0,074	1,60	26,83	4,44	2,67	1,54	2,13	2,12
-0,074	0,50	37,98	4,73	6,24	0,68	0,71	1,55
Клинкер	100	27,80	3,34	2,02	100	100	100

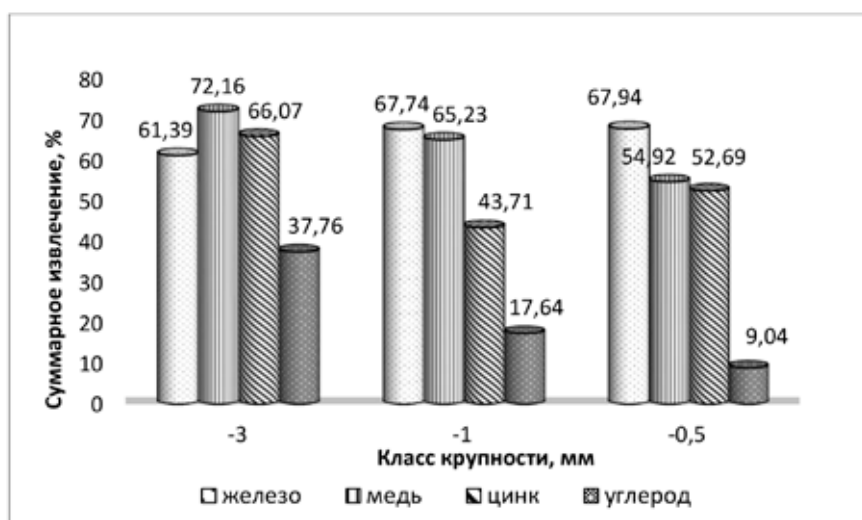


Рис. 1. Суммарное извлечение железа, меди, цинка и углерода в магнитную фракцию

Железо, медь и цинк распределяются по классам крупности пропорционально выходу класса крупности. Более высокая концентрация цветных металлов в тонком классе является результатом наличия хрупких железо-, медь- и цинксодержащих фаз, склонных к переизмельчению.

Результаты проведенной магнитной сепарации для классов крупности -3 мм, -1 мм и -0,5 мм (рис. 1) показали, что при магнитной сепарации материала крупностью -3 мм происходит наибольшее извлечение меди, цинка и углерода в магнитную фракцию, составляющее 72,16%, 66,07%, 37,76% соответственно. Извлечение меди и углерода в магнитную фракцию снижается до 54,92% и 9,04% при уменьшении крупности до -0,5 мм, а извлечение цинка сначала уменьшается до 43,71%, а затем снова увеличивается до 52,69%.

Отмечено, что вследствие более полного раскрытия сростков магнитных и немагнитных железосодержащих клинкерообразу-

ющих фаз извлечение железа в магнитную фракцию возрастает при снижении крупности с -3 мм, до -0,5 мм.

Определено, что при максимальной из изученных напряженностей магнитного поля 125 кА/м наблюдается максимальное в серии опытов извлечение железа и углерода, но при этом массовая доля значительно снижается. Выход магнитной фракции железа увеличивается при снижении массовой доли, а выход углерода увеличивается в магнитном продукте при увеличении напряженности магнитного поля (рис. 2).

Установлено, что за рациональные параметры при разделении пробы сухой магнитной сепарацией целесообразно принять крупность материала 1 мм и напряженность магнитного поля 102 кА/м, при которых массовая доля углерода находится в одних и тех же пределах, что и при меньшей напряженности, а извлечение железа в магнитный продукт составляет 74,69%, углерода - 20,3%.

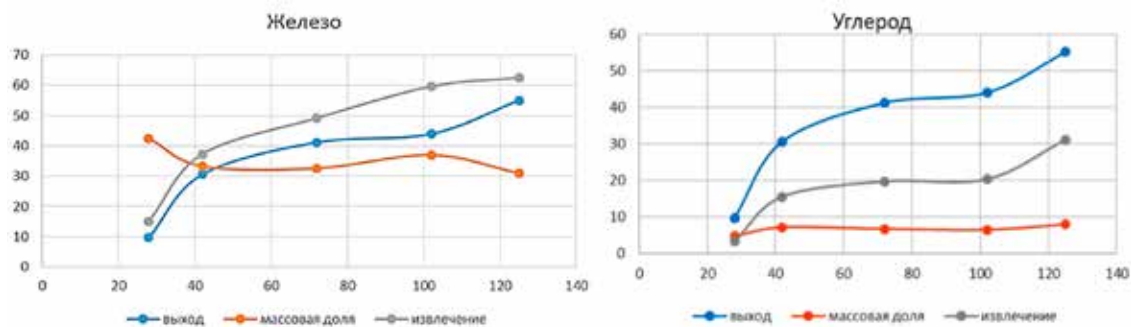


Рис. 2. Зависимость выхода, содержания и извлечения компонентов в магнитный продукт от напряженности магнитного поля

Таблица 3

Коэффициенты разделения гравитационным методом сротков медных минералов с троилитом и коксом $d=0,1-2$ мм

Доля халькопирита в сротке с троилитом, %	Доля халькопирита в сротке с коксом, %					Доля халькозина в сротке с троилитом, %	Доля халькозина в сротке с коксом, %		
	10	20	30	40	50		10	20	30
10	3,58	2,87	2,40	2,06	1,80	10	2,43	1,94	1,62
20	3,54	2,84	2,37	2,03	1,78	20	2,50	1,99	1,66
30	3,50	2,81	2,34	2,01	1,76	30	2,57	2,05	1,70
40	3,46	2,77	2,32	1,99	1,74	40	2,63	2,10	1,75
50	3,42	2,74	2,29	1,97	1,72	50	2,70	2,15	1,79
60	3,38	2,71	2,26	1,94	1,70	60	2,76	2,20	1,83
70	3,34	2,68	2,24	1,92	1,68	70	2,83	2,26	1,88
80	3,30	2,65	2,21	1,90	1,66	80	2,89	2,31	1,92
90	3,26	2,61	2,18	1,87	1,64	90	2,96	2,36	1,97
100	3,22	2,58	2,15	1,85	1,62	100	3,03	2,41	2,01

* зеленый цвет – обогащение эффективно, желтый цвет – эффективное обогащение при крупности материала не более 0,07–0,15 мм, белый цвет – обогащение затруднено.

Проанализирована возможность гравитационного разделения сротков на концентрационном столе. Рассчитаны плотности сротков медных минералов халькозина и халькопирита с троилитом, мелилитом и коксом, и определен коэффициент разделения гравитационным методом (табл. 3).

Изучена возможность выделения железосодержащих фракций клинкера, являющихся немагнитными, в тяжелый продукт гравитационным разделением на концентрационном столе (табл. 4). Анализ результатов для разной крупности материала показал, что рациональной крупностью является – 0,5 мм, так как извлечение углерода в магнитную фракцию значительно уменьшается. Увеличение наклона деки приводит

к снижению выхода тяжелой фракции, оптимальным углом наклона выбран угол 10° , расход воды $0,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$.

На основании полученных результатов провели опыты разделения по схемам (рис. 3): концентрационный стол – магнитная сепарация; магнитная сепарация – концентрационный стол. Больше извлечение меди получили из схемы магнитная сепарация – концентрационный стол. Результаты представлены в таблицах 5, 6.

В результате эксперимента с использованием схемы магнитная сепарация – измельчение немагнитного продукта – концентрационный стол получили более высокое извлечение в объединенный продукт $\text{Cu} - 93,67\%$ и более низкое извлечение углерода $\text{C} - 30,9\%$.

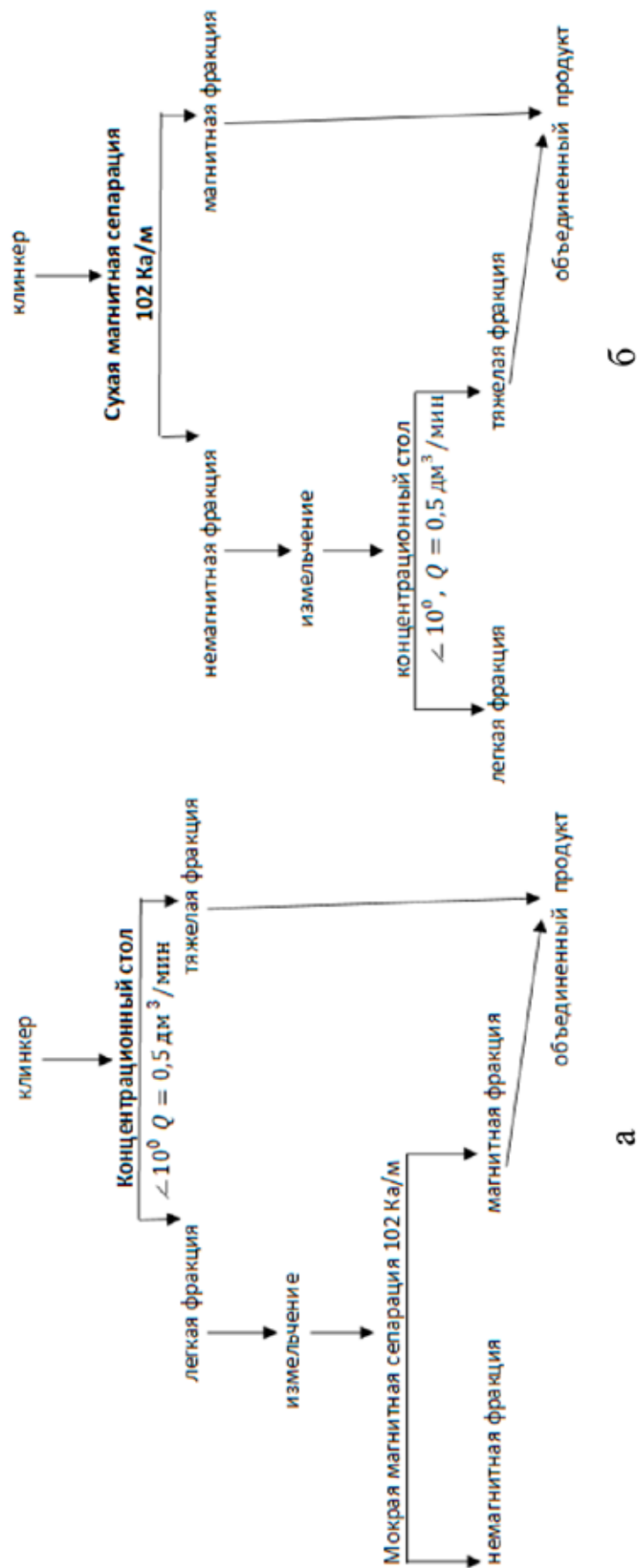


Рис. 3. Схемы проведения опытов: а) концентрационный стол – магнитная сепарация; б) магнитная сепарация – концентрационный стол

Таблица 4

Результаты обогащения немагнитной фракции клинкера на концентрационном столе
(d max 0,5 мм, угол наклона деки 10°)

Наименование продуктов	Выход	Массовая доля, %			Извлечение, %		
	%	Cu	Fe	C	Cu	Fe	C
Тяжелая фракция	50,51	3,02	18,80	6,30	76,65	78,73	14,14
Легкая фракция	49,49	0,94	5,18	39,03	23,35	21,27	85,86
Исходная	100,00	1,99	12,06	22,50	100,00	100,00	100,00

Таблица 5

Результаты опытов по схеме концентрационный стол – магнитная сепарация

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %			Извлечение, %		
		Cu	Fe	C	Cu	Fe	C
Тяжелая фракция	59,6	4,22	35,82	12,76	75,30	80,66	35,12
Легкая фракция	40,4	2,04	13,74	22,48	24,70	19,34	64,88
Магнитная	8	3,54	55,55	3,58	8,48	15,99	2,05
Немагнитная	32,4	1,67	2,88	26,41	16,22	3,35	62,83
Исходный	100	3,34	27,80	14,00	100,00	100,00	100,00
Объединенный продукт	67,6	4,76	39,74	8,05	83,78	96,65	37,17

Таблица 6

Результаты опытов по схеме магнитная сепарация – концентрационный стол

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %			Извлечение, %		
		Cu	Fe	C	Cu	Fe	C
Магнитная фракция	44,30	5,35	47,35	6,46	70,30	74,69	20,25
Немагнитная	55,70	1,78	18,99	20,04	29,70	25,31	79,75
Тяжелая	30,55	2,56	18,36	4,88	23,37	20,15	10,65
Легкая	25,15	0,84	5,71	38,47	6,33	5,16	69,10
Исходный	100,00	3,34	27,83	14,00	100,00	100,00	100,00
Объединенный продукт	74,85	4,18	35,26	5,78	93,67	94,84	30,90

Таблица 7

Результаты опытов

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %			Извлечение, %		
		Cu	Fe	C	Cu	Fe	C
Легкая	21,15	0,84	5,71	38,47	6,33	5,16	69,10
Немагнитная	26,54	3,65	34,70	9,16	29,03	33,09	17,37
Объединенный продукт 1	47,91	4,51	35,87	3,95	64,64	61,75	13,53
Исходный	100,00	3,34	27,83	14,00	100,00	100,00	100,00
Тяжелая	17,46	5,24	50,37	2,23	27,41	31,61	2,78
Легкая	9,07	0,60	20,70	22,51	1,62	6,75	14,59
Немагнитная	26,54	3,65	34,70	9,16	29,03	33,09	17,37
Объединенный продукт 2	65,37	4,70	39,74	3,49	92,05	93,36	16,31

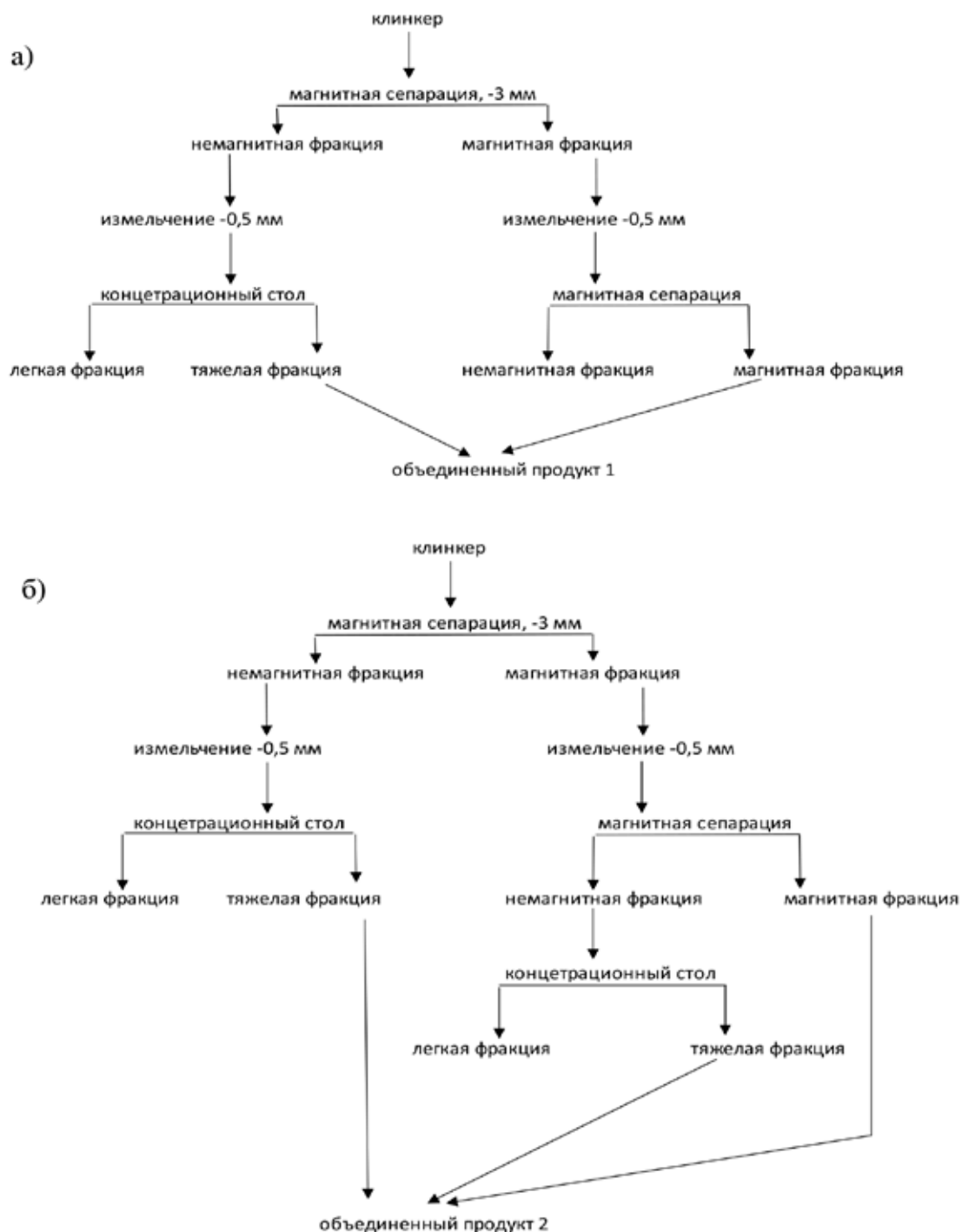


Рис. 4. Схемы лабораторного эксперимента

В связи с тем что извлечение углерода в объединенном продукте осталось на уровне 30,9%, в схему добавили доизмельчение магнитной фракции до $-0,5$ мм, вторую магнитную сепарацию (рис. 4а) и концентрационный стол для немагнитной фракции второй магнитной сепарации

(рис. 4б). Полученные результаты представлены в таблице 7.

В результате по схеме (рис. 4а) в объединенный продукт получили наименьшее извлечение углерода 13,53%, и при этом извлечение меди и железа в объединенный продукт низкое: 64,64% и 61,75%.

По схеме (рис. 4б) получили наилучшие показатели извлечения в объединенный продукт меди 92,05% и железа 93,36% при наименьшем извлечении углерода 16,31%. Массовая доля меди в объединенном продукте составила 4,7%, при этом массовая доля углерода – 3,49%. Использование двух концентрационных столов нерентабельно для одной и той же крупности материала, целесообразно возратить немагнитную фракцию, полученную после второй магнитной сепарации, на концентрационный стол вместе с измельченной до – 0,5 мм немагнитной фракцией первой магнитной сепарации.

Выводы

1. Проведены комплексные исследования, включающие: гранулометрический анализ и исследования на обогатимость магнитной сепарации, концентрации на столе, позволяющие определить рациональную крупность для эффективного разделения клинкера и схему для более полного концентрирования меди в объединенный продукт для последующей флотации.

2. Исследованиями установлено, что рациональной крупностью для эффективной магнитной сепарации в два приема является крупность -3 и -0,5 мм, что обусловлено наличием в исходном материале кокса, склонного к переизмельчению и налипанию его на магнитные частицы. Рациональной крупностью для эффективной концентрации на столе является также крупность -0,5 мм, что подтверждается расчетными значениями коэффициента $M = (\rho_t - \rho_{ж}) / (\rho_d - \rho_{ж})$ (коэффициент Мейстера) для кокса и рядовых, богатых сростков халькозина и халькопирита с основными фазами клинкера в диапазоне 1,75 – 3,58.

3. Определены условия магнитного разделения – напряженность 102 кА/м, и гравитационного разделения – угол наклона деки концентрационного стола 10°, крупности материала – 3 мм и – 0,5 мм соответственно, расход воды 0,5 дм³/мин.

4. В результате исследования трех альтернативных схем в качестве основной принята схема, включающая комбинацию гравитационных и магнитных методов в следующей последовательности: магнитная сепарация клинкера крупностью -3 мм, напряженность 102 кА/м – измельчение магнитного и немагнитного продукта до крупности -0,5 мм – вторая магнитная сепарация – концентрационный стол, с возвращением немагнитной фракции, полу-

ченной после второй магнитной сепарации, на концентрационный стол вместе с измельченной немагнитной фракцией первой магнитной сепарации.

5. В результате реализации схемы получен объединенный продукт с массовой долей меди 4,7% при извлечении в него меди 92,05%, массовая доля железа – 39,74% при извлечении в него железа 93,36%, массовая доля углерода – 3,49% при извлечении в него углерода 16,31% и углеродсодержащий продукт с массовой долей углерода 38,47%, который может быть возвращен в процесс вельцевания.

Список литературы

1. Колесников А.С., Капсалямов Б.А., Колесникова О.Г., Кураев Р.М., Стрюковский И. А. Технология переработки отхода цинковой промышленности с получением ферросплава возгонов цветных металлов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2013. Т. 13, № 1. С. 34-39.
2. Ерохин Ю.В., Захаров А.В., Леонова Л.В. Изучение вещественного состава шлаков производства ванадиевого чугуна Алапаевского металлургического завода // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18, № 2. С. 13–21.
3. Antrekowitsch J., Rösler G., Steinacker C. State of the art in steel mill dust recycling // Chemie Ingenieur Technik. 2015. Vol. 87. No. 11. P. 1498-1503.
4. Quijorna N., Coz A., Andres A., Cheeseman C. Recycling of Waelz slag and waste foundry sand in red clay bricks // Resources, Conservation and Recycling. 2012. Vol. 65. P. 1-10.
5. Quijorna N., San Miguel G., Andres A. Incorporation of Waelz slag into commercial ceramic bricks: A practical example of industrial ecology // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011. Vol. 50. P. 5806-5814.
6. Coronado M., Segadaes A.M., Andres A. Combining mixture design of experiments with phase diagrams in the evaluation of structural ceramics containing foundry by-products // Applied Clay Science. 2014. Vol. 101. P. 390-400.
7. Popovici V., Shaw B. Getting the best from a byproduct (Electronic source). URL: http://www.brederoshaw.com/non_html/journals/World_Cement_May2010.pdf (Access date: 07.04.2023).
8. Sorlini S., Collivignarelli M.C., Plizzari G., Foglie M.D. Reuse of Waelz slag as recycled aggregate for structural concrete. Proceedings of International RILEM conference on the use of recycled materials in building and structures. Bagneux: RILEM, 2004. P. 1086-1094.
9. Abba A., Sorlini S., Collivignarelli M.C. Research experiences on the reuse of industrial waste for concrete production. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 121. P. 10001.
10. Евдокимов С.И., Паньшин. А.М. Выбор технологии обогащения клинкера от вельцевания цинковых кеков // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2009. № 2. С. 19-25.
11. Orehkova N.N., Glagoleva I.V., Gorlova O.E. Study of the separation of mineral phases of Waelz clinker for its disposal. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety // ICCATS 2020. Vol. 962. № 4. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042030.
12. Орехова Н.Н., Глаголева И.В., Ефимова Ю.Ю., Горлова О.Е. Минералогические и текстурно-структурные особенности лежалого вельц-клинкера // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 4. С. 35-49.

СТАТЬИ

УДК 528.2/.5:528.2/.3
DOI 10.17513/use.38061

**ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ МОДЕРНИЗАЦИИ
СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ
В ГЕОЛОГИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОМ РАЙОНЕ**

Акл Магер Нассер

*Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва,
e-mail: Maher.n.akl@gmail.com*

Цель статьи состоит в том, чтобы найти метод, который может прогнозировать движение геодезических пунктов в Ливане и быть пригодным для модернизации геодезической сети страны. Геодезические сети в Ливане не модернизировались с 1990 г., при этом Ливан расположен в геологически нестабильном регионе. Через территорию Ливана проходит три больших геологических разлома земной коры. Выполнен анализ геологических разломов в Ливане, с предложением о необходимости размещения станций постоянных GPS-определений для выявления движений земной коры. Рассмотрены элементы методики модернизации спутниковой геодезической сети. Определены параметры преобразования координат и функциональных зависимостей. Установлена зависимость координат геодезических пунктов от времени. Созданы функции, аппроксимирующие положение пунктов геодезической сети. Аппроксимацию необходимо использовать для редуцирования положений пунктов при реализации методики восстановления координат или прогнозирования их положения. Подход, который использует автор, направлен на формирование наилучшего полинома, описывающего изменение координат геодезических пунктов в целях модернизации ливанской геодезической сети. Полиномы различных порядков, от первой до третьей степени, определяли с помощью регрессионного анализа, дополнительно рассмотрели ряд Фурье, для лучшего приближения аппроксимируемых координат к действительным. Рассмотренный пример является элементом общей методики модернизации геодезической сети – своеобразным адаптивным фрагментом с подбором качественного редуцирующего аппроксимирующего полинома.

Ключевые слова: преобразование систем координат, определение аппроксимирующего полинома, моделирование движения геодезических пунктов, геодинамические разломы, движение земной коры

**ELEMENTS OF THE METHOD OF MODERNIZATION SATELLITE
GEODETIC NETWORK IN A GEOLOGICALLY UNSTABLE AREA**

Akl Maher Nasser

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: Maher.n.akl@gmail.com

The aim of the article is to find a method that can predict the movement of geodetic points in Lebanon and be suitable for upgrading the country's geodetic network. Geodetic networks in Lebanon have not been upgraded since 1990, and Lebanon is located in a geologically unstable region. Three large geological faults in the earth's crust pass through the territory of Lebanon. An analysis of faults in Lebanon has been carried out, with a proposal on the need to place stations of permanent GPS-determinations to detect movements of the earth's crust. The elements of the method of modernization of the satellite geodetic network are considered. The parameters of coordinate transformation and functional dependencies are determined. The dependence of the coordinates of geodetic points on time is established. Functions approximating the position of geodetic network points are created. Approximation must be used to reduce the positions of points when implementing the method of restoring coordinates or predicting their position. The approach that the author uses is aimed at forming the best polynomial that describes the change in the coordinates of geodetic points in order to modernize the Lebanese geodetic network. Polynomials of various orders, from the first to the third degree, were determined using regression analysis, and the Fourier series was additionally considered to better approximate the approximated coordinates to the real ones. The considered example is an element of the general methodology for the modernization of the geodetic network – a kind of adaptive fragment with the selection of a high-quality reduction approximating polynomial.

Keywords: Transformation of coordinate systems, determination of an approximating polynomial, modeling of the movement of geodetic points, geodynamic faults, movement of the earth's crust

Решение проблемы создания стабильной геодезической сети Ливана имеет два различных направления. Соответственно, можно говорить и о двух группах различных факторов, оказавших ранее и оказывающих сейчас воздействие на основные геодезические сети республики.

Первая причина кроется в утрате геодезических пунктов в геодезических сетях всех классов точности и назначения в ходе

Гражданской войны семидесятых годов, а также в процессе хозяйственной деятельности. Восстановление утраченных пунктов, наращивание показателей точности и количества пунктов геодезических сетей, необходимых для экономического развития территорий и экономики в целом, необходимо проводить современными технологиями. Применение спутниковых технологий позволит восстановить опорные геодезиче-

ские сети с меньшим количеством пунктов. В этом случае повышаются требования к стабильности геодезических пунктов.

Вторая причина имеет эндогенный характер, так как Ливан расположен в геологически нестабильном районе. Это место соединения двух тектонических плит: Африканской и Аравийской. Динамические процессы, происходящие в геологических структурах земной коры в Ливане, оказывают влияние на положение пунктов геодезической сети. Дополнительно можно говорить и об экзогенном влиянии, а с учетом урбанизации и промышленного развития территорий экзогенное влияние протекает в тесной корреляции с техногенными воздействиями на места размещения геодезических пунктов.

Данная статья является продолжением исследований, в целях разработки подхода к моделированию геодинамического движения геологического основания, в котором закреплены пункты геодезической сети, и является элементом методики модернизации геодезической сети. В рамках статьи опишем подход, расширение которого предполагает использование более широкого круга зависимостей и математических моделей описываемых процессов. Поэтому приведенные ниже простейшие зависимости не раскрывают полностью выявленные или выявляемые геологические процессы.

Материалы и методы исследования

Основные пункты методики модернизации геодезической сети для Ливана, затронутые в статье, перечислим, не раскрывая их содержания: получение и анализ информации о состоянии геодезической сети и геологической основы, в которой закреплены геодезические пункты; восстановление целостности геодезической сети и определение редуцированных элементов для коррекции координат существующих геодезических пунктов на заданный момент времени; определение времени последующей коррекции координат геодезических пунктов.

В основу математического моделирования процесса существования геодезического пункта на геологически нестабильной территории заложим аппроксимирующие функции, описывающие поведение пункта в заданный период времени. При отсутствии реальных геодезических пунктов в достаточном количестве, применение метода математического моделирования позволяет решать задачи подбора аппроксимирующих функций для прогноза состояния как геоде-

зических пунктов, так и геодезических сетей в целом.

Ливан находится на границе активной тектонической плиты. Внутри страны проходит три разлома (рис. 1). Взаимное движение краев этих разломов оценивается от 1,4 до 4,5 миллиметров в год. Размещение разломов и нелинейная конфигурация дают возможность предположить нестабильность и нелинейность подобных движений. По скорости сдвига границ разломов предварительно можно оценить сроки переопределения координат пунктов геодезической сети выбранного класса. Детальная оценка производится после анализа информации о фактическом изменении координат пунктов во времени.

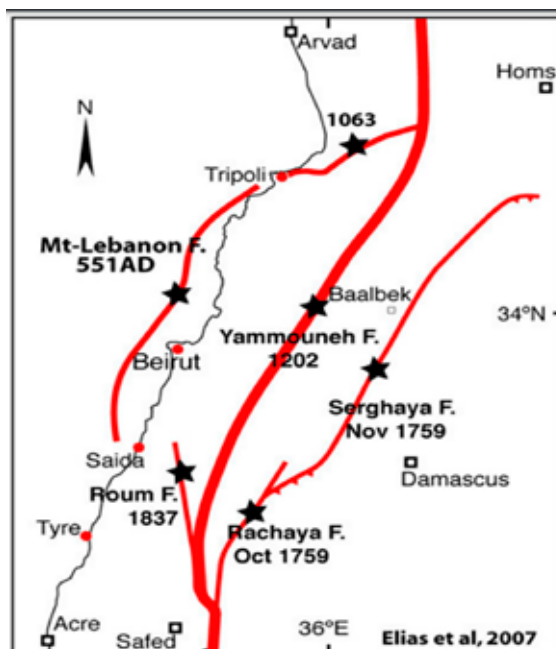


Рис. 1. Карта расположения активных разломов и места крупных землетрясений:

- ★ – место крупного землетрясения,
- – геодезический пункт, / – линия побережья,
- — — — — центральный разлом, / — боковой разлом

Необходимо сделать несколько замечаний.

Замечание 1. Перемещение верхних геологических слоев происходит достаточно быстро с возможными кратковременными неравномерными и непредсказуемыми изменениями направлений смещений, на рис. 2 представлены осредненные векторы смещений.

Замечание 2. На скорость и направление перемещений пунктов влияют: эндогенные процессы; экзогенные процессы, вызванные физическим состоянием верхних

геологических слоев, климатическим состоянием региона и частичной наведенной сейсмичностью из-за водонасыщенной части грунтов; техногенные процессы.

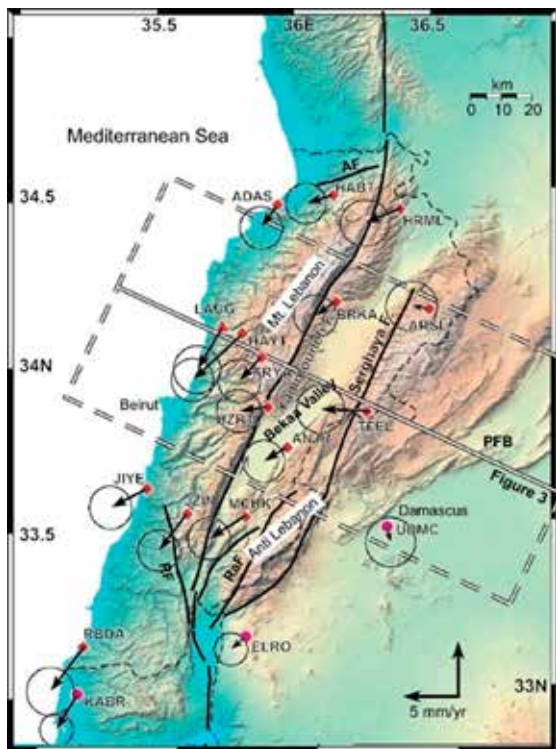




Рис. 2. Направления перемещений пунктов [1]:

- ▲, ◆ – GPS-пункты Ливана,
- – GPS-пункты других стран,
-  – масштаб и скорость перемещений пунктов,
-  – линейный масштаб

Замечание 3. Три разлома (восточный – Сергейский разлом, центральный разлом Яммуне, третий разлом – надвиг Маунт-Ливан, находится в основном в море [2]), делят страну на три условно свободные (некоррелированные) в движении и вращении зоны. Перемещения пунктов оцениваем в каждой из ограниченных разломами зон.

Математическое моделирование опорных геодезических пунктов позволяет решить две основные задачи. Первая задача – выбор процедуры по преобразованию координат. Вторая задача – создание модели движения, наиболее адекватно описывающей процесс жизненного цикла конкретного пункта на рассматриваемой территории после его закрепления и предварительного определения координат до уточнения положения или переопределения, с фиксацией основных моментов, характеризующих движение пунктов для геодезической сети конкретного класса точности.

Первая задача была решена посредством сопоставления опорных геодезических сетей в Ливане, Российской Федерации, Сирийской Арабской Республике, а также ряда стран с небольшой территорией. В качестве систем координат в высшем звене стандартно используются геоцентрические системы координат. На глобальном уровне пространственное моделирование геодезических пунктов включает моделирование подверженных глобальных геодинамических процессов, например сеть IGS [3]. Основные перемещения пунктов на глобальном уровне и на интервале времени в один год, на территории Ливана, соответствуют линейным, равноускоренным или постоянным смещениям. Незначительные изменения в направлении смещения трактуются как движения точки по дуге (на криволинейной поверхности отсчетного эллипсоида) с заданным полюсом Эйлера. Сложность определения параметров перемещений пунктов в Ливане заключается в малой площади территории. Получаем большие погрешности параметров, используя для решения только пункты на территории самого Ливана. Поэтому основные геодезические пункты, используемые в определении параметров перемещений (для территории всей страны), располагаются как на территории страны, так и за ее пределами на существенном удалении.

Вторая задача – моделирование движения опорных геодезических пунктов и получение системы аппроксимирующих функций. Аппроксимирующая функция в данном случае может быть базовой или дополнительной. Базовая – это основная функция, аппроксимирующая перемещения пункта или совокупности пунктов. Функцию получаем в процессе обработки информации о положении геодезического пункта в различные моменты времени. Дополнительная функция уточняет и устраняет поправками «недокомпенсированность» после применения базовой. Если «базовая» функция удовлетворительно выполняет интерполирование и экстраполирование возможного положения пунктов, то «дополнительная» аппроксимирующая функция не создается. Критерий, по которым оценивается качество аппроксимации – это точность координат пунктов геодезической сети.

Геодезическая сеть, формирующая координатную основу государства, обычно имеет сети нескольких классов точности: геодезическая сеть высшего класса точности для фиксации координатной основы,

геодезическая сеть среднего класса для распределения координатной основы по территории всего государства и геодезическая сеть низшего класса для обеспечения координатной информацией потребителей и для выполнения специальных работ.

Для стран с маленькими территориями геодезическая сеть высшего класса обычно интегрирована в глобальные геодезические сети или совмещена с геодезическими сетями высшего класса соседних стран. В современных условиях глобальные сети создаются в геоцентрических системах координат, и на пункты этой сети действуют глобальные геодинамические процессы. При этом в стране создается своя национальная система координат, которую и фиксирует геодезическая сеть, интегрированная в глобальную.

Геодезические сети среднего и низшего классов точности, распространяя систему координат на всё государство, создают основу для картографирования. В этом случае координаты пунктов получают, обрабатывают и в последующем применяют в системах плоских прямоугольных координат принятых в стране картографических проекций. При картографическом обеспечении государства предпочтение отдается обычно одной проекции, а дополнительные применяются для сопутствующих целей.

Из геологического строения Ливана видно, что сформированы три региона и присутствует локальная геодинамика на территории размещения геодезических пунктов. Деление территории на отдельные мелкие сегменты в зависимости от геодинамических факторов необходимо для учета особенностей территорий, на которых создаются, поддерживаются в заданном состоянии и реконструируются локальные геодезические сети [4].

Для математического описания перемещений пунктов на каждом глобальном (территория всей страны), региональном и локальном уровнях рассмотрим основные математические зависимости, раскрывающие последствия влияния геодинамических процессов на геодезические пункты или системы координат конкретного уровня.

Математические зависимости описываемых процессов формируются постепенно: «от простого к сложному» или «от базового к расширенному». Модель формируется по принципу: «постоянное уточнение», по мере получения новых знаний о процессах, оказывающих влияние на динамику геодезических пунктов в рассматриваемом районе.

В качестве базовых математических зависимостей для глобального уровня вычленим из теории движения литосферных плит и других глобальных геодинамических факторов вращение определенного фрагмента поверхности вокруг полюса Эйлера. На глобальном уровне в первом приближении движение опорных станций прослеживается как движение по дуге по поверхности отсчетного земного эллипсоида.

Вращение вокруг полюса Эйлера и зависимости, возникающие при этом, описываются несколькими известными уравнениями:

- уравнение скорости движения:

$$V_i = \omega_{ji} \times r \sin \gamma,$$

где r – вектор положения точки на границе между различными пластинами/плитами i и j , с широтой φ и долготой λ , ω_{ji} – вектор угловой скорости, или вектор Эйлера, γ – угол между полюсом Эйлера и вектором r ;

- уравнение вектора:

$$r = (a \cos \varphi \cos \lambda, a \cos \varphi \sin \lambda, a \sin \varphi),$$

где a – радиус Земли;

- полюс Эйлера на отсчетной поверхности определяется из уравнения:

$$\omega = (|\omega| \cos \varphi_e \cos \lambda_e, |\omega| \cos \varphi_e \sin \lambda_e, |\omega| \sin \varphi_e)$$

где величина $|\omega|$ – скалярная угловая скорость, или скорость вращения; φ_e и λ_e – широта и долгота полюса Эйлера.

На незначительном удалении от полюса Эйлера сферическая поверхность может иметь незначительный выгиб, тем не менее не стоит трактовать это как вращение плоскости вокруг полюса. Преобразования вокруг полюса Эйлера, в отличие от преобразований пространственных геоцентрических координат, дают ограничения в моделировании движений пунктов по удалению от отсчетной поверхности – не позволяют учитывать перемещение перпендикулярно выбранной отсчетной поверхности, воспринимаемое как перемещение по высоте, однако оно существует и будет принято в обработку на следующем этапе уточнения модели. Особенности вычисления движений вне отсчетной поверхности следует рассматривать как дополнительные редукции.

Проблему с искажениями исходных картографических проекций, в зависимости от времени, решим применением формул трансформирования плоских координат. При поиске уравнений, описывающих искажения проекций (или удаление искажений),

основное внимание обратим на стандартные формулы трансформирования плоских систем координат. При этом, как и в предыдущем случае, сделаем примечание: это только базовый случай, который можно корректировать вводом дополнительных параметров вплоть до создания неортогональных преобразований, а также дополнительным введением скоростей и ускорений изменения для моделируемых (уравненных) параметров трансформирования или применением моделей другого типа – например применение интерполяционных формул для формирования матриц редукций остаточных погрешностей. Уравнивание параметров трансформирования сопровождается остаточными погрешностями, трактуются как элементы, не получившие поправок. Для ликвидации остаточных погрешностей применяют различные методы аппроксимации, часто основанные на площадной матрице остаточных ошибок – элементов, которые не могут быть компенсированы уравниванием.

Стандартные формулы трансформирования, независимо от принятых обозначений, не подходят для изменения положения пунктов на кривой поверхности (поверхности эллипсоида) [5; 6]:

$$\begin{aligned} X &= m (\cos ax - \sin ay) + l_x, \\ Y &= m (\sin ax - \cos ay) + l_y, \end{aligned}$$

поэтому в данном случае рассуждаем в рамках условий трансформирования пунктов геодезического обеспечения картографирования территории или изменения положения пунктов, обеспечивающих потребителей плановыми координатами в заданных проекциях. При этом, так же как и в предыдущем случае, существует возможность изменения положения пункта при удалении от плоскости плановых координат.

Дополнительный вариант определения пространственного положения и изменения положений координат геодезических пунктов следует рассматривать в горных районах на малых площадях. Здесь необходимо рассуждать в рамках топоцентрических пространственных координат. Правила распространения топоцентрических систем координат на выбранную территорию здесь оговаривать не будем, принципиально здесь большое сходство с геоцентрическими системами.

В рамках проведенных исследований и для наглядности применяемых решений использовались сведения о координатах контрольных пунктов, размещенных

на территориях с геодинамически активными грунтами.

Аппроксимирующие функции разделили на категории по степени аппроксимирующего полинома. Для краткости изложения материала далее приведены не полностью сформированные уравнения, а их преобразы соответствующей степени для объяснения полученных результатов.

Введем ряд ограничений: в качестве информации возьмем пространственные координаты пунктов, полученные в разные эпохи наблюдений; определять будем не конечное уравнение, которое будет в последующем использовано для интерполирования и экстраполирования координат пункта, а «поведение» аппроксимирующего полинома – как оценку самой возможности аппроксимировать. Используемые уравнения – слепки степенных функций; коэффициенты уравнений и зависимостей получим базовым методом наименьших квадратов [6]:

$$\begin{aligned} AX &= L + V, \\ A'AX &= A' \times L, \\ NX &= A' \times L, \\ X &= N^{-1} \times A' \times L \end{aligned}$$

все вычисления выполним в программе MATLAB.

В ходе исследований основные группы базовых математических зависимостей, которые могут описывать происходящие процессы, на следующем шаге аналитического обеспечения модели нагружаются функциями, раскрывающими спектр динамических процессов. В этом случае для описания повторяющихся процессов (например, сейсмических) возможно применение тригонометрических зависимостей, которые формируют окрестности линии, соответствующей первоначальной аппроксимации множества точек. В проведенном эксперименте использовались уравнения Фурье с высокочастотными слагаемыми. Общий вид уравнений Фурье – тригонометрический ряд функции $f \in L(-\pi, \pi)$ (то есть функции, суммируемой на промежутке $(-\pi, \pi)$ или ее периодического продолжения на вещественную прямую):

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx),$$

где
$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx;$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx;$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Из-за ограниченного количества постоянно действующих опорных станций данные получены со станций, расположенных в соседних странах. Территория данных стран и места размещения геодезических пунктов подвержена тем же геологическим воздействиям, что и исследуемая территория. Поэтому выводы, сделанные по результатам исследований, можем транслировать на исследуемую территорию. Качество интерполяции и экстраполяции проверялось по сходимости результатов с реальными определениями положений пунктов на даты, которые остались в качестве контрольных и в обработку не принимались.

На первоначальном этапе рассмотрена аппроксимация плоскостью с выявлением линейной зависимости. Различие вариантов зависит от количества выбранных точек для аппроксимации, удаленности (по временным эпохам) между ними. Для наглядности происходящего составлены графики (рис. 3).

Применение линейных (плоских) аппроксимирующих функций требует соблю-

дения главного условия – район должен быть геодинамически спокойным. В противном случае нет гарантии качественной интерполяции и экстраполяции. Корреляционный анализ качества (сходимости) вычисленных и измеренных координат пунктов может показать степень геодинамической активности региона. По результатам исследований плоских аппроксимирующих функций сделан следующий вывод:

- для аппроксимации необходимо использовать максимальное количество имеющейся информации, а при анализе смещений пунктов удалить из выборки эпохи, в которых пункты получили смещения, выходящие за границы доверительного интервала построенного графика, по временным меткам удаленных из обработки эпох можно составить частотно-вероятностный график появления особых движений – выпадающих из общего ряда;

- после оценки общей характеристики смещений не принимать в обработку устаревшие данные – если подтвердится изменение характера влияющего геодинамического процесса.

Исследование квадратичных, кубических зависимостей и зависимостей с большими степенями зависит от набора данных, по которым находят аппроксимирующую функцию. Неточно подобранные краевые условия приводят к резкому изменению поведения аппроксимирующей функции (рис. 4, 5). Различие в видах графика аппроксимирующей функции зависит от количества точек для составления уравнения.

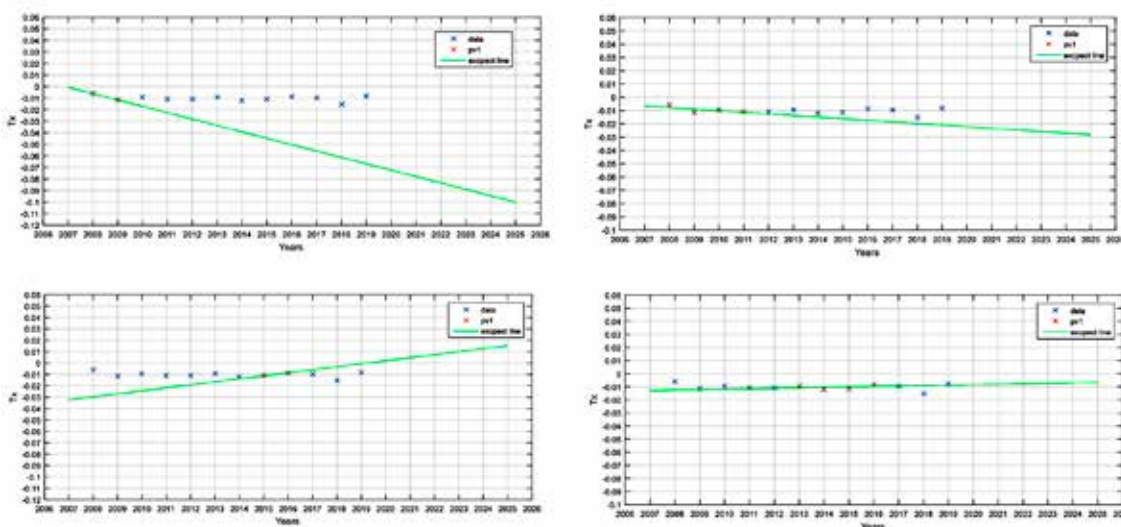


Рис. 3. Линейная аппроксимирующая функция)

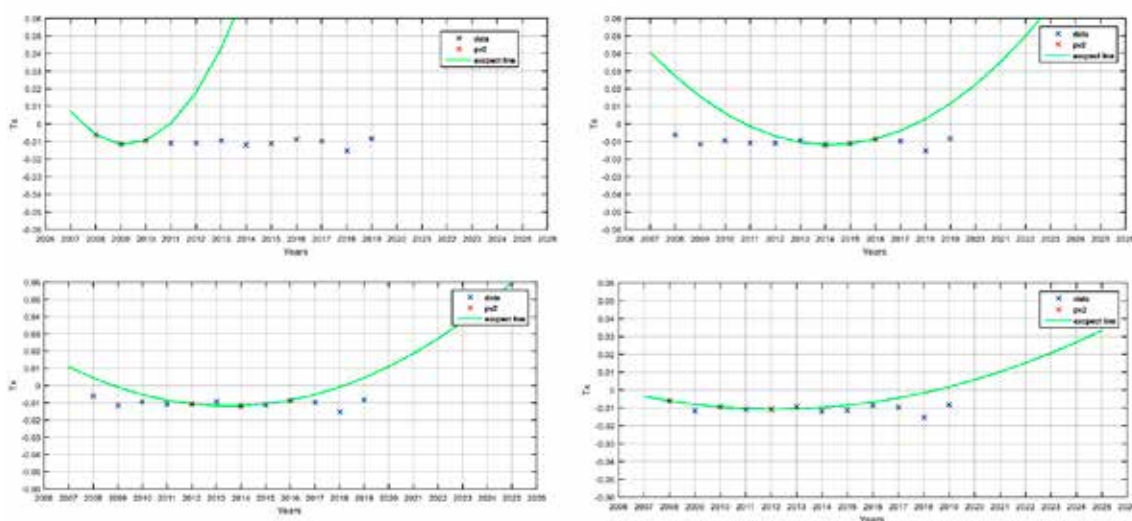


Рис. 4. Квадратичная аппроксимирующая функция

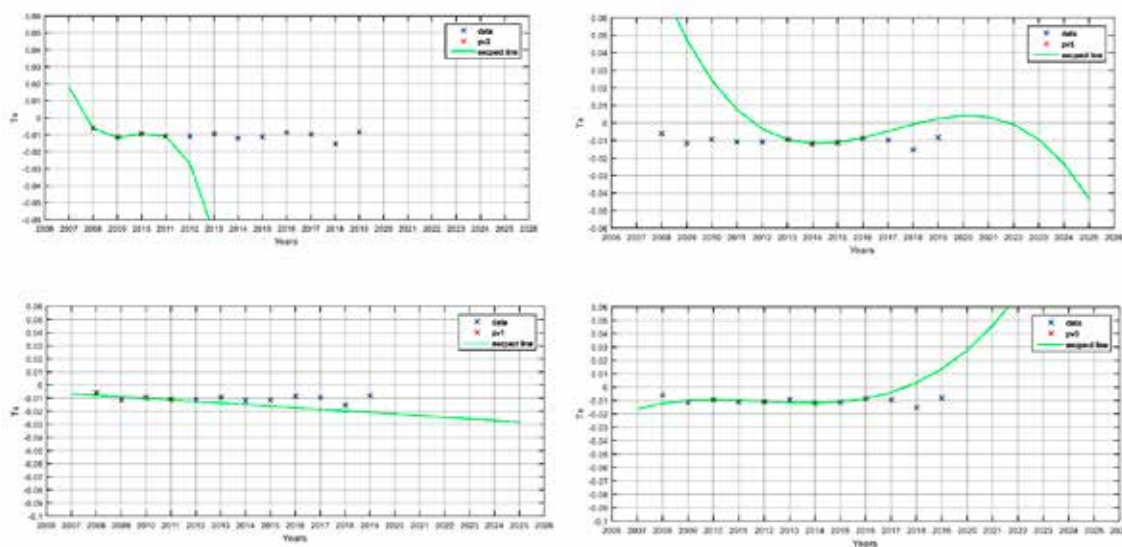


Рис. 5. Кубическая аппроксимирующая функция

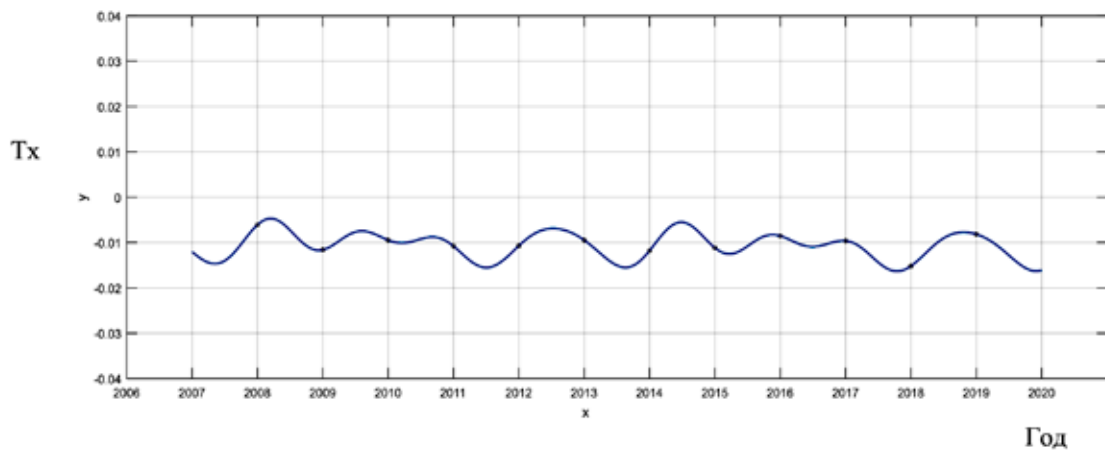


Рис. 6. Моделирование рядом Фурье

Для компенсации остаточных погрешностей и исправления поведения степенных аппроксимирующих рядов на концах исследуемых отрезков рекомендуется использовать вариант с тригонометрическим рядом. Рассмотрен ряд Фурье с нестандартным смещением (рис. 6).

$$f(x) = a \times x + b + c \times \cos(x) + d \times \sin(x) + e \times \cos(2 \times x) + f \times \sin(2 \times x) + g \times \cos(3 \times x) + h \times \sin(3 \times x) + m \times \cos(4 \times x) + n \times \sin(4 \times x) + l \times \cos(5 \times x) + o \times \sin(5 \times x)$$

с параметрами: $a = -0.00013$; $b = 0.25050$; $c = -0.00025$; $d = -0.00102$; $e = -0.00090$; $f = -0.00073$; $g = 0.00219$; $h = -0.00191$; $l = 0.00097$; $m = -0.00070$; $n = 0.00158$; $o = 0.00078$.

Выводы

При модернизации геодезической сети требуется знание поведения геодезических пунктов для выполнения следующих действий: поиска места расположения пунктов геодезической сети, менее всего подверженного геодинамическим влияниям.

Проведенные эксперименты на пунктах проектируемой геодезической сети на территории Ливана показали следующее:

- для корректного прогноза поведения пунктов необходимо обеспечивать непрерывный мониторинг деформации геодезической сети, выраженной в изменении положения геодезических пунктов;

- выполнить поиск аппроксимирующего полинома с учетом всей достоверной информации;

- процедура поиска полиномов для компенсации смещений точек, которые они получили в результате воздействия геодинамических процессов, состоит из нескольких, уточняющих характеристики полинома, шагов;

- проведенные исследования прогнозирования расположения пунктов геодезической сети (на примере геодезической сети Ливана) позволяют изучать геодинамическую активность, вызванную геологическими разломами и другими процессами, и прогнозировать положение пунктов;

- анализ геодинамических процессов и учет перемещений геодезических пунктов применением аппроксимирующих функций играет существенную роль при создании спутниковой геодезической сети и может быть реализован в методике поиска геодинамически активной зоны, на которой расположены геодезические пункты, или для

В моделировании может участвовать произвольное количество параметров, позволяющих задавать различные конфигурации волновой поверхности и раскрывающих основные параметры ряда Фурье.

Например, в графике (рис. 6) реализовано следующее уравнение:

коррекции размещения пунктов, при условии развертывания сетей постоянно действующих пунктов глобальных навигационных спутниковых систем;

- методика модернизации геодезической сети в геодинамически активных районах должна включать элементы поиска уравнений, описывающих движение пунктов для оптимизации их размещения, элементы обработки полученной информации с целью определения районов, в которых не рекомендуется размещать пункты геодезической сети из-за существующих геологических разломов и процессов другого характера, например таких, как эрозия, проливные дожди и им подобные;

- автор рекомендует установить новые постоянно действующие станции ГНСС для получения детальных данных об активности каждого геологического разлома в Ливане и дальнейшего развития методики в виде ее автоматизация и создания программного математического комплекса, способного учитывать изменения координат станции с последующей обработкой и получением редуцированных элементов.

Список литературы

1. Francisco Gomez, Gebran Karam, Mohamad Khawlie, Simon McClusky, Philippe Vernant, Robert Reilinger, Rani Jaafar, Charles Tabet, Kamal Khair, Muawia Barazangi. Global Positioning System measurements of strain accumulation and slip transfer through the restraining bend along the Dead Sea fault system in Lebanon // *Geophysical Journal International*. 2007. Vol. 168, Is. 3. P. 1021–1028. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2006.03328.x.

2. Elias, Ata. Notes on Earthquake Hazard in Lebanon. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/283502862_Notes_on_Earthquake_Hazard_in_Lebanon (дата обращения: 05.06.2023).

3. Wdowinski Shimon, Bock Yehuda, Baer G., Prawirodirdjo L., Bechor N., Naaman S., Knafo R., Forrai Y., Melzer Y. (2004). GPS measurements of current crustal movements along the Dead // Sea

Fault. *Journal of Geophysical Research*. 2004. Vol. 109. DOI: 10.1029/2003JB002640.

4. Dóskocz Adam. The actual state of the geodetic and cartographic resources and legislation in Poland // *Open Geosciences*. 2023. Vol. 15, Is. 1. P. 20220458. DOI: 10.1515/geo-2022-0458.

5. Ampatzidis Dimitrios, Gruber C., Kampouris Vasileios. The 2D time-dependent similarity transformation model as a tool

for deformation monitoring // *Acta Geodaeica et Geophysica*. 2017. Vol. 53. P. 1-12. DOI: 10.1007/s40328-017-0205-9.

6. Wolf Paul R., Bon A. Dewitt, Benjamin E. Wilkinson. *Coordinate Transformations*. Chap. C in *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071761123/back-matter/appendix3> (дата обращения: 10.06.2023).

УДК 528.443

DOI 10.17513/use.38062

МАТРИЦА ДЕФОРМАЦИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ УТОЧНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Рада А.О., Непомнищев И.Л., Кузнецов А.Д., Акулов А.О.

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

В ходе топографо-геодезических работ при строительстве объектов, учете объектов капитального строительства и земельных участков возникают ошибки, которые вызывают значительные затраты времени и средств. Цель исследования – получение скорректированных координат применительно к системе координат МСК-42 в режиме Real Time Kinematic на основе матрицы деформаций для более точного позиционирования геодезического оборудования при установлении координат недвижимости и проведении строительных работ. Для построения матрицы координат использованы метод построения сплайнов минимальной кривизны, метод триангуляции Делоне с интерполяцией по барицентрическим координатам. Применен программный продукт «Generic Mapping Tools». Эксперимент по 29 точкам в пространстве показал, что оба метода построения матриц деформации дают хорошие результаты с точки зрения визуализации пространственных точек. В ходе исследования была показана принципиальная возможность получения матриц деформаций применительно к задаче уточнения геодезических координат двумя методами. Представлены визуальные данные, показывающие возможность пересчета и уточнения географических координат. Каждому пикселю на полученной поверхности соответствует значение поправки. Продемонстрировано, что полученные данные матриц деформации по координатам x и y могут использоваться для расчета поправок при переходе от одной к другой системе координат, то есть при переносе данных из результатов съемки на местности в МСК-42, которая используется в Кемеровской области – Кузбассе (Россия) в качестве основной системы координат. Использование предложенного подхода позволит при проведении геодезических работ в автоматическом режиме уточнять значения координат, исключить субъективные ошибки, снизить расходы.

Ключевые слова: геодезические координаты, геоцентрическая система, топоцентрическая система, строительство и учет объектов недвижимости, матрица деформаций, сплайны минимальной кривизны, триангуляция

Работа выполнена в рамках соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

DEFORMATION MATRIX AS A TOOL FOR REFINING GEODETIC COORDINATES

Rada A.O., Nepomnischev I.L., Kuznetsov A.D., Akulov A.O.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: rada.ao@kemsu.ru

In the course of topographic and geodetic work during the construction of facilities, accounting for capital construction facilities and land plots, errors occur, as well as significant time and cost costs. The purpose of the study is to obtain corrected coordinates in relation to the MSK-42 coordinate system in the Real Time Kinematic mode based on the deformation matrix for more accurate positioning of geodetic equipment when establishing real estate coordinates and carrying out construction work. To construct the matrix of coordinates, the method of constructing splines of minimum curvature, the Delaunay triangulation method with interpolation by barycentric coordinates were used. The software product “Generic Mapping Tools” was applied. The experiment on 29 points in space showed that both methods of constructing deformation matrices give good results in terms of visualization of spatial points. The study showed the fundamental possibility of obtaining deformation matrices in relation to the problem of refining geodetic coordinates by two methods. Presented visual data showing the possibility of recalculation and refinement of geographical coordinates. Each pixel on the resulting surface corresponds to a correction value. It is demonstrated that the obtained data of the deformation matrices along the x and y coordinates can be used to calculate corrections when moving from one to another coordinate system, that is, when transferring data from the results of surveying on the ground to MSK-42, which is used in the Kemerovo region – Kuzbass (Russia) as the main coordinate system. The use of the proposed approach will allow, when carrying out geodetic work, to automatically refine the values of coordinates, eliminate subjective errors, and reduce costs.

Keywords: geodetic coordinates, geocentric system, topocentric system, construction and accounting of real estate objects, deformation matrix, minimum curvature splines, triangulation

The work was performed under agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and Kemerovo State University.

Точное и единообразное определение геодезических координат имеет большое практическое значение для широкого спектра задач, связанных с установлением местоположения объектов на Земле [1]. Это,

в частности, выполнение измерений на поверхности Земли, установление границ пространственных объектов, оценка смещений природных и техногенных объектов, составление карт и планов, работа навигаци-

онных систем, строительство объектов и др. В частности, определение геодезических координат очень важно для единой системы регистрации недвижимости – зданий, сооружений, земельных участков [2, 3]. При проведении строительных, кадастровых работ необходимо точно установить координаты объекта недвижимости в пространстве граничных точек, геометрическую конфигурацию земельных участков, разграничить разные участки. Наличие исчерпывающих, точных, непротиворечивых данных в единых системах, где учитывается недвижимость (например, в России это Единый государственный реестр недвижимости), обеспечивает защиту прав и законных интересов собственников, облегчает сделки, минимизирует конфликты между владельцами земельных участков, упрощает совершение сделок с недвижимым имуществом [4], например земельными участками [5].

С этой целью постановка объектов недвижимости на государственный официальный учет включает обязательное внесение данных о геодезических координатах. Затем они фиксируются в документах по объекту и используются в сделках купли-продажи, аренды, залога и др. [6]. Но в данном случае возникает серьезная прикладная проблема – неточное, с погрешностями определение координат точек на местности. Ошибки определения геодезических координат бывают двух родов [7–9]. Ошибки первого рода – это ошибки средств измерения (геодезических приборов – тахеометров, теодолитов, приемники глобальных навигационных спутниковых систем). Любая измерительная техника имеет определенную погрешность, зависящую от характеристик самого оборудования, условий природной среды, в которой выполняется измерение, методики измерения, квалификации и мотивации геодезиста. Неопытные или недобросовестные специалисты могут применять оборудование с низким классом точности, поэтому могут получить данные с неприемлемым уровнем точности. Тем не менее эти ошибки могут быть минимизированы до необходимого уровня, если квалифицированный мотивированный геодезист использует качественные измерительные приборы. Ошибки первого рода могут считаться субъективными, зависящими от конкретного человека. Их важно верифицировать не зависящими от человека техническими средствами, например, на базе цифровых технологий.

Ошибки второго рода имеют объективный характер. Они вызваны тем, что

при определении геодезических координат необходимо перенести данные со сферического объекта (земной поверхности) на плоскость карты, плана. Как известно, ни один из существующих подходов к построению плоскостных карт геоида вращения (отражение сферической планеты Земля на плоской карте) не является идеальным. В любом случае будут происходить искажения и утрата информации. Картографические проекции выбираются в зависимости от того, какая территория должна быть представлена и для какой цели предназначена карта. Наличие разных картографических проекций и систем координат приводит к расхождениям данных. Ошибки второго рода можно назвать ошибками преобразования одной системы координат в другую. В частности, геодезические приборы позволяют использовать для позиционирования объектов в пространстве спутниковые системы навигации (через приемник глобальной навигационной спутниковой сети). В этом случае местоположение объекта определяется по отношению к международным системам координат. Все эти системы являются геоцентрическими. При проведении геодезических работ на местности специалисты определяют координаты объектов по сигналам со спутников. Затем эти данные нужно перенести в другие системы координат.

На локальном уровне для учета объектов недвижимости обычно применяются топоцентрические системы координат. В частности, в субъектах Российской Федерации (регионах России) используются топоцентрические местные системы координат, основанные на эллипсоиде Красовского. Наиболее распространены системы координат 1942 и 1995 гг. (СК-42 и СК-95 соответственно). Например, в Кемеровской области – Кузбассе используется местная система координат МСК-42, основанная на СК-42. Она применяется для проведения кадастровых работ и ведения Единого государственного реестра недвижимости, а также для геодезических работ. Определение координат объектов в системах координат СК-42 и СК-95 на основе метода глобального спутникового позиционирования налагает локальные деформации государственной геодезической сети. Вследствие этого при проведении измерения с помощью метода глобального спутникового позиционирования возникает ошибка локальной деформации государственной геодезической сети в данном месте. Поэтому возникает научная

и прикладная проблема нивелирования влияния погрешностей, чтобы получить точные единообразные координаты недвижимости. Эта проблема не имеет однозначного решения в известных исследованиях.

В работе [10] рассматривается преобразование геоцентрических координат в топоцентрические координаты на основе стереографической двойной картографической проекции. Однако размеры объектов (около 10 км²) не соответствуют целям определения координат объектов недвижимости, которые обычно значительно меньше. В [11] анализировалась проблема установления точного и однозначного соответствия измерений в разных системах координат при строительстве солнечных электростанций. Для ее решения рекомендуется установить сеть постоянных контрольных точек с принудительным вводом призм на расстоянии не более 400 м друг от друга, которые визуально доступны в течение всего срока службы станции [12], что неприемлемо для других объектов недвижимости вследствие больших затрат.

В исследовании авторы тестируют гипотезу о возможности использования матрицы деформаций для устранения погрешностей и внесения поправок при точном определении геодезических координат в разных системах. Матрица деформаций является частью метода граничных элементов, эффективного при решении разных задач. Мы полагаем, что если известны параметры взаимного ориентирования двух систем координат, то парные значения можно привести в референцную систему координат и образовать остаточные разности. Это позволит интерполировать разности на регулярную сетку с выбранным шагом и получить матрицу деформаций. Далее эта матрица будет применяться для внесения поправок с помощью специализированного программного обеспечения в автоматическом режиме.

Цель исследования – получение скорректированных координат применительно к системе координат МСК-42 в режиме Real Time Kinematic (RTK) на основе матрицы деформаций для более точного позиционирования геодезического оборудования при установлении координат недвижимости.

Материалы и методы исследования

В работе для получения координат узлов матрицы деформаций использовались метод построения сплайнов минимальной

кривизны и метод, базирующийся на триангуляции Делоне с интерполяцией по барицентрическим координатам. Сплайны минимальной кривизны строились с помощью функции «greenspline» в наборе программ с открытым кодом «Generic Mapping Tools» (GMT), распространяемом по лицензии на свободное программное обеспечение «GNU General Public License». Функция используется для работы с декартовыми координатами в одномерном, двумерном и трехмерном пространствах и с координатами на сферической поверхности. Материалами для исследования были 29 географических точек с известными координатами в системах «Государственная система координат 2011 г.» (ГСК-2011) и МСК-42. Координаты были получены от Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных». Они соответствуют пунктам высокочастотной геодезической сети, спутниковой геодезической сети первого класса точности, государственных геодезических сетей первого и второго классов точности.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследований координаты 29 пунктов были переведены из систем ГСК-2011 и МСК-42 в систему «World Geodetic System 1984» (WGS 84). Координаты из ГСК-2011 переводились в WGS 84 в соответствии с межгосударственным стандартом на методы преобразований координат определяемых точек. Координаты из МСК-42 переводились в WGS 84 с использованием параметров преобразования координат, полученных от Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных». В качестве эталонной разницы в координатах точек принималась разница между значениями ГСК-2011 и WGS 84. Это связано с тем, что методы и алгоритмы соответствующей трансформации установлены межгосударственным стандартом. Разницы между МСК-42 и WGS 84 – это погрешности определения геодезической широты ΔB и геодезической долготы ΔL . В таблице представлены координаты точек x , y , взятые непосредственно из ГСК-2011, а также поправки ΔB и ΔL .

Координаты WGS 84, полученные путем преобразования из системы координат ГСК-2011, и поправки к ним

Номер точки	x	ΔL	y	ΔB
1	84.78017413	0.000047360000	55.50223949	0.000020460000
2	85.22190723	0.000044650000	55.25921256	0.000032870000
3	85.25051106	0.000044490000	55.59198863	0.000027700000
4	85.36591848	0.000045740000	55.86146097	0.000029760000
5	85.52026015	0.000042510000	54.53942287	0.000044970000
6	85.58937967	0.000043410000	54.63061435	0.000044860000
7	85.79008371	0.000042400000	54.43735368	0.000049150000
8	85.91769728	0.000039560000	54.54827353	0.000067450000
9	85.97390923	0.000043510000	55.82781284	0.000035380000
10	85.98156274	0.000045450000	56.05622200	0.000037860000
11	86.31999470	0.000046800000	56.32062100	0.000041910000
12	86.36937523	0.000044660000	56.00583921	0.000040910000
13	86.59199917	0.000046670000	56.41242981	0.000046460000
14	86.82426825	0.000039130000	53.90323675	0.000065010000
15	86.95559930	0.000046790000	56.12240816	0.000052380000
16	87.04444296	0.000036580000	53.44190284	0.000061270000
17	87.11830961	0.000039840000	54.16754063	0.000068200000
18	87.26416614	0.000035160000	53.09058222	0.000055900000
19	87.35626559	0.000046320000	56.21616074	0.000055160000
20	87.50452009	0.000033820000	52.83857799	0.000053310000
21	87.49852828	0.000035710000	53.35014258	0.000061090000
22	87.62796361	0.000033810000	52.90691171	0.000054730000
23	87.64328240	0.000043030000	55.89198941	0.000056540000
24	87.70683332	0.000035610000	53.53901101	0.000065870000
25	87.76783726	0.000035340000	53.44811851	0.000064500000
26	88.11173430	0.000044110000	55.98964468	0.000059140000
27	88.15508313	0.000033260000	52.80589652	0.000232980000
28	88.15950684	0.000033080000	52.88354425	0.000056120000
29	89.04386175	0.000043830000	55.80406687	0.000058120000

Соответственно, координаты, взятые из МСК-42, будут иметь вид: широта ($y; + \Delta B$), долгота ($x; + \Delta L$). На следующем этапе исследования было выполнено построение сплайнов минимальной кривизны для получения матрицы деформации в программе «GMT». Построение сплайнов минимальной кривизны основано на функции Грина $G(x; s)$ линейного дифференциального оператора $L = L(x)$. Здесь аргументы x и s могут быть приняты за начальные координаты точек x, y и скорректированные (уточненные) координаты x_1, y_1 . По заданным значениям поправок осуществлялась интерполяция данных. После этого строилась трехмерная модель, где каждой точке поверхности соответствовало значение поправки $x + x_1$ и $y + y_1$.

На рис. 1 и 2 показана визуализация поверхностей поправок, полученных с помощью метода построения сплайнов минимальной кривизны. Поверхность поправок для x -координат показана на рис. 1.

Как видно из рис. 1, поправки хорошо визуализируются, что позволяет интерполировать их на референционную сетку координат с известным шагом. На рис. 2 показана аналогичная поверхность поправок для y -координат. Он также демонстрирует четкую визуализацию интересующих авторов объектов. Таким образом, метод построения сплайнов минимальной кривизны в принципе может применяться для уточнения геодезических координат при переходе от одной системы к другой.

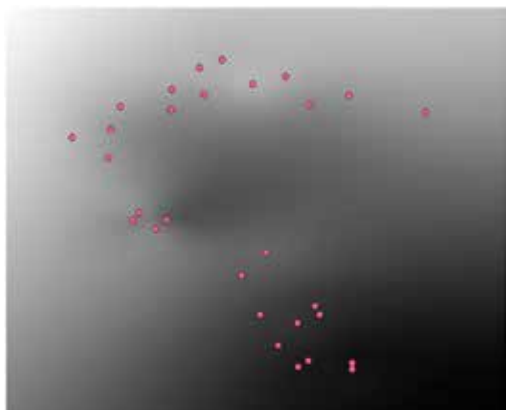


Рис. 1. Поверхность поправок ΔL для x -координат, полученных методом построения сплайнов минимальной кривизны

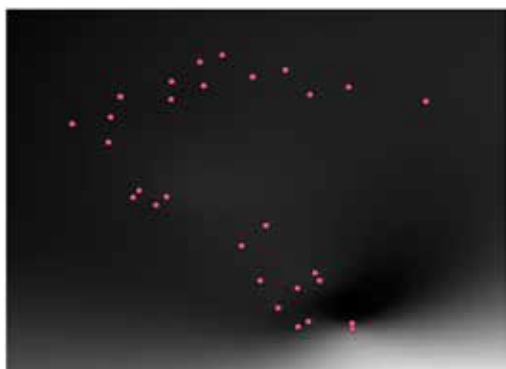


Рис. 2. Поверхность поправок ΔB для y -координат, полученных методом построения сплайнов минимальной кривизны

Также в ходе исследования проводилось построение матрицы деформаций на основе триангуляции Делоне и интерполяции по барицентрическим координатам. Триангуляция Делоне в двумерной интерполяции применялась к точкам, полученным преобразованием координат из МСК-42 в WSG 84. Все исходные точки представлены как вершины треугольников (рис. 3).

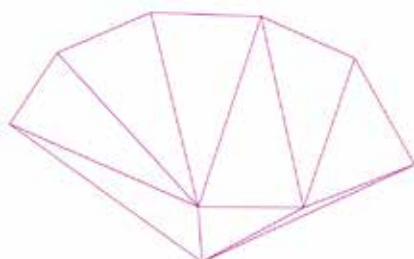


Рис. 3. Представление исходных точек геодезических координат в «WSG 84» как вершин треугольников (после триангуляции Делоне)

Далее для каждого полученного треугольника проводилась интерполяция по барицентрическим координатам, позволяющая рассчитывать поправки в заданной точке матрицы с учетом влияния поправок ΔB и ΔL каждой вершины треугольника, внутрь которого попадает заданная точка. На рис. 4 показан треугольник, где a , b , c являются барицентрическими координатами точки P . Таким образом, в ходе исследования была показана принципиальная возможность получения матриц деформаций применительно к задаче уточнения геодезических координат двумя методами. Далее это открывает перспективу расчета поправок для x_1 , y_1 по данным о деформациях. Визуализация результатов использования метода показана на рис. 5 и 6, где красным точкам соответствует положение геодезических пунктов. Каждому пикселю на полученной поверхности соответствует значение поправки. На рис. 5 показана поверхность поправок ΔL для координат x .

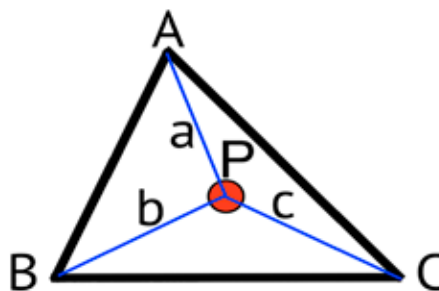


Рис. 4. Точка внутри треугольника, заданная барицентрическими координатами

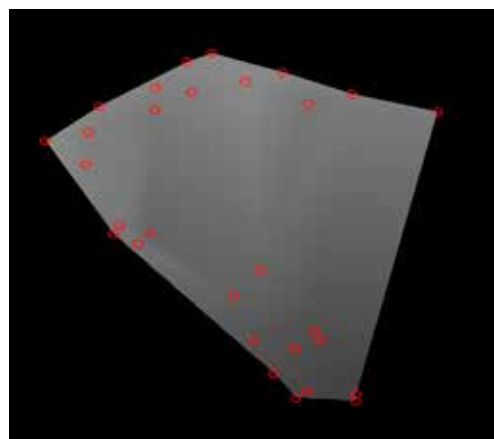


Рис. 5. Поверхность поправок ΔL для координат x

На рис. 6 показана поверхность поправок ΔB для координат y .

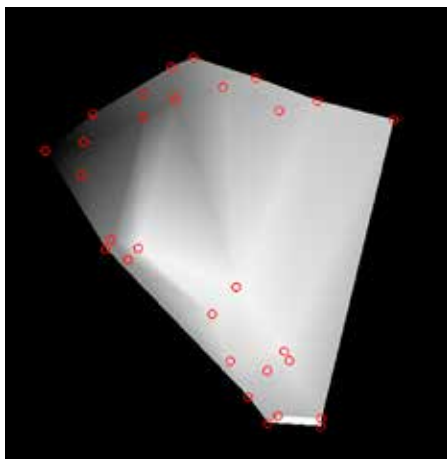


Рис. 6. Поверхность поправок ΔB для координат y

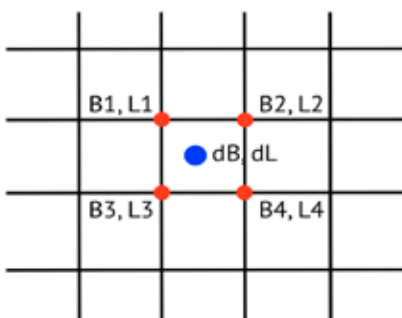


Рис. 7. Исходное положение точки геодезических координат в геоцентрической системе с поправками dB , dL на матрице деформаций

Полученные данные матриц деформации по координатам x и y могут использоваться для расчета поправок при переходе от геоцентрической к топоцентрической системе координат, то есть при переносе данных из результатов съемки на местности в МСК-42. Пример внесения поправок на матрице деформаций показан на рис. 7. Таким образом, в исследовании реализована гипотеза и авторская идея о том, что построение матрицы деформаций (разными методами) позволяет наиболее точно скорректировать полученные при геодезических измерениях координаты.

Кроме того, программная реализация указанных методов в среде «Generic Mapping Tools» позволяет выполнять такие расчеты в автоматическом режиме и исключать субъективные ошибки. Метод матрицы деформаций также открывает возможности для автоматического получения уточненных значений геодезических координат без дополнительных полевых ра-

бот. Это снизит расходы, а также исключит влияние низкой мотивации или квалификации специалистов.

Заключение

При проведении геодезических работ возникает необходимость трансформации данных из геоцентрической системы координат (по результатам спутниковой съемки) в топоцентрическую, используемую при ведении государственного кадастрового учета объектов недвижимости. Этот процесс связан с субъективными ошибками, требует больших затрат времени, искажает геодезические данные, необходимые для учета объектов недвижимости. В исследовании поставлена и решена задача автоматизированной корректировки геодезических данных с использованием специализированного программного обеспечения и матрицы деформаций. Показано, что построение матрицы деформаций как методом построения сплайнов минимальной кривизны, так и методом триангуляции Делоне с интерполяцией по барицентрическим координатам дает точные, хорошо визуализированные результаты по поправкам координат x и y . Матрицы деформаций дают возможность рассчитать необходимые поправки в двумерном пространстве ΔB и ΔL . Необходимое значение поправки соответствует пикселям на визуализации деформаций в программной среде «Generic Mapping Tools».

В дальнейшем матрица деформаций может быть использована для внесения поправок с применением специализированного программного обеспечения. В частности, при проведении измерения точки геодезическим оборудованием в режиме RTK сигнал с координатами B , L поступает на сервер с программным обеспечением, на котором по значениям координат определяются ближайшие узлы матрицы деформаций. Путем интерполяции определяются поправки для текущей точки. Поправки вносятся в текущие геодезические координаты, а после сигнал со скорректированными координатами поступает на оборудование. Использование матрицы деформаций также возможно при кабинетных исследованиях при обработке данных. В перспективе использование матрицы деформаций даст возможность получать точные измерения координат на местности непосредственно во время проведения геодезических работ, что снизит расходы денег и времени. Также это исключит объективные и субъективные ошибки специалистов.

Список литературы

1. Zakarevičius A., Aksamitauskas V.C., Jakučionis A. et al. Determination of geographic position of object by applying 3D polar observations // *Aviation*. 2010. Vol. 14, Is. 2. P. 43–48. DOI: 10.3846/aviation.2010.07.
2. Bozorov M.M., Bozorov M.M., Fayziev S.S. Coordinate systems used in satellite technology // *Int. J. on Orange Technology*. 2022. Vol. 4, Is. 1. P. 16–21.
3. Maciuk K., Peska-Siwik A., El-Mowafy A. et al. Crustal deformation across and beyond Central Europe and its impact on land boundaries // *Resources*. 2021. Vol. 10, Is. 2. Article № 15. DOI: 0.3390/resources10020015.
4. Rada A.O., Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10, Is. 2. P. 206–215. DOI:10.21603/2308-4057-2022-2-529.
5. Панфилов В.А. Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего // *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50, № 4. С. 642–649. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-4-642-649.
6. Doskocz A. The current state of the creation and modernization of national geodetic and cartographic resources in Poland // *Open Geosciences*. 2016. Vol. 8, Is. 1. P. 579–592. DOI:10.1515/geo-2016-0059.
7. Cao Y., Cervone G., Barkley Z. et al. Analysis of errors introduced by geographic coordinate systems on weather numeric prediction modeling // *Geosci. Model Dev*. 2017. Vol. 10. P. 3425–3440. DOI: 10.5194/gmd-10-3425-2017.
8. Dvulit P., Savchuk S., Sosonka I. Accuracy estimation of site coordinates derived from GNSS-observations by non-classical error theory of measurements // *Geodesy and Geodynamics*. 2021. Vol. 12, Is. 5. P. 347–355. DOI: 10.1016/j.geog.2021.07.005.
9. Kosek W., Popiński W., Wnęk A. et al. Analysis of systematic errors in geocenter coordinates determined from GNSS, SLR, DORIS, and GRACE // *Pure Appl. Geophys*. 2020. Vol. 177. P. 867–888. DOI:10.1007/s00024-019-02355-5.
10. Bremner M., Santos M. A local projection for integrating geodetic and terrestrial coordinate systems. *Survey Rev*. 2020. Vol. 52, Is. 374. P. 394–402. DOI:10.1080/00396265.2019.1597490.
11. Gross F., Balz M. Potentially confusing coordinate systems for solar tower plants. *AIP Conf. Proc.* 2020. Vol. 2303. Article № 10.1080/00396265.2019.1597490030017. DOI: 10.1063/5.0028942.
12. Ligas M., Banasik P. Conversion between Cartesian and geodetic coordinates on a rotational ellipsoid by solving a system of nonlinear equations // *Geodesy and Cartography*. 2011. Vol. 60, Is. 2. P. 145–159. DOI: 10.2478/v10277-012-0013x.

УДК 528.27

DOI 10.17513/use.38063

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО СОЗДАНИЮ ОПОРНОГО ПУНКТА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ К ПУНКТАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОПОРНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ IGRF

^{1,2}Чистякова Е.А., ²Баранов В.Н.¹ППК «Роскадастр», Москва;²ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва,

e-mail: e.a.chistiakova@gmail.com

В рамках эксперимента по созданию опорного пункта фундаментальной гравиметрической сети с учетом требований к пунктам Международной опорной гравиметрической сети IGRF на исходном пункте Государственной гравиметрической сети Российской Федерации поставлены регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения ускорения силы тяжести. В эксперименте использовались абсолютный баллистический гравиметр FG5 и относительный приливной гравиметр gPhoneX, рекомендованные при создании пункта IGRF. В статье описана методика обработки результатов абсолютных и относительных гравиметрических определений. Далее выполнено сравнение ряда абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений вариаций ускорения силы тяжести. Результаты сравнения говорят о качестве сборки конкретных гравиметров, корректности применяемых методик измерений и обработки. В представленных результатах измерений отслеживаются остаточные вариации значения ускорения силы тяжести. Они могут быть обусловлены гидрологическими и атмосферными нагрузочными деформациями. Выполнено сравнение результатов абсолютных и относительных гравиметрических определений и гидрологических нагрузок гравитационного поля Земли. По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что гидрологическая нагрузка оказывает заметное влияние на результаты гравиметрических определений и может быть учтена по данным Международной службы нагрузочных деформаций.

Ключевые слова: вариации силы тяжести, геодезия, гравиметрия, земные приливы, атмосферные нагрузки

AN EXPERIMENT ON THE CREATION OF A REFERENCE POINT FOR THE GLOBAL ABSOLUTE GRAVITY REFERENCE SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT THE REQUIREMENTS FOR THE POINTS OF THE INTERNATIONAL GRAVITY REFERENCE FRAME IGRF

^{1,2}Chistyakova E.A., ²Baranov V.N.¹Center of Geodesy, Cartography and SDI, Moscow;²State University of Land Use Planning, Moscow, e-mail: e.a.chistiakova@gmail.com

Regular absolute and monitoring relative determinations of the acceleration of gravity were made at the starting point of the State Gravimetric Network of the Russian Federation using certified gravimeters as part of the experiment to create a base point of the fundamental gravimetric network, taking into account the requirements for the points of the International Basic Gravimetric Network IGRF. The FG5 absolute ballistic gravimeter and the reliable gPhoneX tidal gravimeter are presented in the experiment. The article describes a technique for processing the results of absolute and reliable gravimetric determinations. Next, the comparing a number of absolute gravity values and monitoring gravity values was made. The results of the comparison indicate the quality of the assembly of specific gravimeters, the correctness of the measurement and processing methods that were used. In the presented measurement results is shown that there still are some residual gravity variations. It can be caused by hydrological and atmospheric loading deformations. The results of absolute and relative gravimetric determinations and hydrological studies of the Earth are compared. Based on the results of the studies, it can be concluded that the hydrological load affects the results of gravimetric determinations and can be taken into account with data provided by EOST Loading Service.

Keywords: gravimetry, gravity, gravimeters, hydrological loading, Gravity Network

В последние десятилетия все активнее развиваются гравиметрические сети различных категорий: международные, государственные, локальные. Знание о гравитационном поле Земли крайне важно для современного инженерно-геодезического производства, поскольку на строительных площадках все активнее применяются ГНСС-технологии. Ряд работ, таких как мониторинг деформаций зданий и сооружений, требуют наивысшей точности, ино-

гда достигающей десятых долей миллиметра [1, 2]. С целью повышения точности координатных определений, получаемых ГНСС-методами, необходимо знать пространственные и временные вариации гравитационного поля Земли.

В 2015 г. Резолюцией Международной ассоциации геодезии было предложено создание единой Международной гравиметрической опорной сети (IGRF). Для реализации сети была создана специальная рабо-

чая группа IAG JWG 2.1.1, целью которой было установление глобальной абсолютной гравиметрической системы. Для этого необходимо создание сети опорных пунктов, на которых выполняются регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения, доступные в любое время.

Абсолютные значения ускорения силы тяжести в любой точке на земной поверхности не являются постоянными. Временные вариации ускорения силы тяжести зависят от многих факторов, имеющих различную физическую природу и характеристики, поэтому выявление их методом простой фильтрации не представляется возможным [3].

Пункт ЦНИИГАиК (TSNI#110a) является основным пунктом Государственной гравиметрической сети Российской Федерации и исходным пунктом Московского гравиметрического полигона. В связи с этим необходимо знать значение ускорения силы тяжести в любой момент времени с максимально доступной точностью. Кроме того, пункт TSNI#110a в комплексе со всем Московским гравиметрическим полигоном отвечает требованиям к опорным пунктам международной гравиметрической сети IGRF. В связи с этим в рамках эксперимента по созданию опорного пункта для непрерывного мониторинга значений ускорения силы тяжести и включения пункта в международную гравиметрическую сеть IGRF с 2017 г. на пункте TSNI ведутся регулярные абсолютные и мониторинговые относительные наблюдения.

Целью исследования является обоснование методики выполнения и обработки результатов гравиметрических измерений абсолютным и относительным методами. Для этого необходимо выполнить синхронные долговременные измерения абсолютным баллистическим и относительным приливным гравиметрами на соседних постах, выполнить сравнения результатов измерений и определить факторы, влияющие на результаты измерений.

Постановка измерений

Согласно требованиям к пунктам Международной опорной гравиметрической сети, на исходном пункте гравиметрической сети должны выполняться регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения ускорения силы тяжести аттестованными гравиметрами.

В лаборатории ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» расположены два поста с марками (TSNI#110a и TSNI#110b).

На пункте TSNI#110a выполняются регулярные наблюдения абсолютным гравиметром FG5. Баллистический гравиметр FG5 серийно производится американской фирмой Micro-g LaCoste. Прибор FG5#110 был выпущен в 1990-х гг., и после модернизации был приобретён ФГУП «ЦНИИГАиК» в 2004 г. В июне 2017 г. был отправлен в США на ремонт и частичную модернизацию (полностью заменен блок электроники). В настоящее время в России гравиметром FG5 владеет только ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

Для мониторинговых наблюдений ускорения силы тяжести используется специальный приливной гравиметр gPhoneX, также произведенный фирмой Micro-g LaCoste. Таких гравиметров в Российской Федерации насчитывается несколько экземпляров, однако в большинстве они используются в качестве сейсмографов. Приливной гравиметр gPhoneX#117 установлен на пункте TSNI#110b. С 2014 г. практически непрерывно (ежесекундно) выполняются измерения силы тяжести, температуры и давления окружающей среды и датчика, положения уровней. Измерения, производимые гравиметром gPhoneX, относятся к высокоточным измерениям. Инструментальная погрешность измерений составляет 1 мкГал [4, с. 10].

Обработка результатов измерений

Абсолютное значение силы тяжести g_{abs} на пункте из наблюдений в каждом броске вычисляется по формуле [6]:

$$g_{abs} = g_1 + \Delta g_c + \Delta g_a + \Delta g_B + \Delta g_{tide} + \Delta g_{Polar}, \quad (1)$$

где g_1 – полученное из решения по методу наименьших квадратов значение ускорения силы тяжести по одному броску на уровне эффективной высоты гравиметра H_{eff} над местом установки;

Δg_c – поправка за конечность скорости распространения света;

Δg_a – поправка за притяжение атмосферы;

Δg_B – поправка за влияние сопротивления остаточного воздуха в баллистической камере;

Δg_{tide} – поправка за приливные изменения силы тяжести под действием Луны и Солнца;

Δg_{Polar} – поправка за движение полюса.

Повторная обработка результатов измерений гравиметром FG5 выполняется в два этапа:

– вычисление значения силы тяжести на эффективной высоте (при значении вертикального градиента W_{hh} ;

– определение эффективной высоты H_{eff} .

В результате получен ряд абсолютных значений силы тяжести, приведенных к одной высоте. Также выполнена оценка точности каждого из полученных значений. Результаты представлены на рис. 1.

Обработка измерений, выполненных приливным гравиметром, представляет особый интерес, поскольку единый автоматизированный методики обработки на сегодняшний день не существует. Предлагаемая методика описана в ранее проведенных исследованиях, описанных в [6, 7], и заключается в следующем:

1. Исключение случайных выбросов. Выполнялось в автоматическом режиме, пропуски данных, возникающие при исключении случайных выбросов, заполнялись интерполированным значением силы тяжести.

2. Исключение из измерений теоретических приливных изменений силы тяжести с использованием модели EGTAB, движения земных полюсов и дрейфа нуля-пункта гравиметра.

3. Фильтрация и последовательное прореживание секундных данных до частоты одного измерения в минуту, в час, в две недели (в соответствии с правилом Котельникова [8]). Такой выбор частоты дискретизации связан с необходимостью решения тех или иных задач. Для данного исследования

использовались значения, осредненные за один месяц.

4. Приведение результатов к высоте измерений FG5.

По аналогии с абсолютными окончательные значения силы тяжести, полученные по результатам относительным измерений (g_{rel}), можно вычислить по формуле

$$g_{rel} = g_n + \Delta g_a + \Delta g_{tide} + \Delta g_{Polar} + \Delta g_{drift}, \quad (2)$$

где g_n – измеренное значение силы тяжести, полученное после фильтрации и приведенное к уровню эффективной высоты гравиметра H_{eff} ;

Δg_a – поправка за притяжение атмосферы;

Δg_{tide} – поправка за приливные изменения силы тяжести под действием Луны и Солнца;

Δg_{Polar} – поправка за движение полюса;

Δg_{drift} – поправка за дрейф нуля-пункта гравиметра.

Таким образом, в окончательных значениях результатов абсолютных и относительных наблюдений, полученных с учетом формул (1) и (2), учтены инструментальные погрешности, а также основные известные факторы, вызывающие временные вариации гравитационного поля Земли: движение полюса и приливные изменения силы тяжести под действием Луны и Солнца.

Отдельный интерес представляет учет дрейфа нуля-пункта относительного гравиметра.

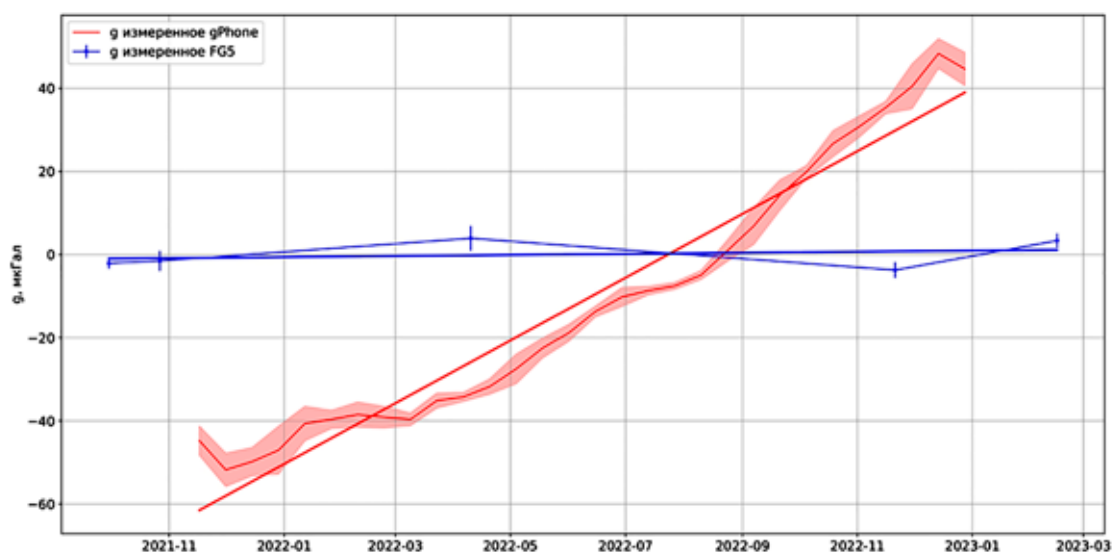


Рис. 1. График сравнения результатов абсолютных и относительных измерений

На рис. 1 представлены результаты сравнения абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений, полученных приливным гравиметром без учета дрейфа. Дрейф нуль-пункта характерен только для пружинных гравиметров [4, с. 35] и может быть выявлен методом сравнения с результатами абсолютных определений с учетом его линейности [6, 7].

Таким образом, дрейф нуль-пункта приливного гравиметра, который составляет величину около 7 мкГал/месяц, можно учесть методом линейной аппроксимации.

Результаты исследования и их обсуждение

Получившиеся в результате произведенной обработки значения временных вариаций силы тяжести по данным абсолютных и мониторинговых относительных определений совпадают в пределах точности измерений. Точность определений в каждом случае не превышает 4 мкГал. Однако непостоянство значений силы тяжести во времени все еще существенно – разброс значений достигает 25 мкГал.

Известно, что неприливные вариации ускорения силы тяжести главным образом обусловлены атмосферными и гидрологическими нагрузочными деформациями. Вопрос учета атмосферных нагрузочных деформаций рассматривался авторами ранее [7]. После учета атмосферных нагрузочных вариаций, в результатах и абсолютных,

и относительных измерений прослеживаются сезонные вариации ускорения силы тяжести с максимумом в марте и минимумом в сентябре. Аналогичные характеристики имеет и сигнал гидрологических нагрузочных деформаций гравитационного поля, предоставляемый Службой нагрузочных деформаций Университета Страсбурга (EOST) [9].

На рис. 2 представлены результаты абсолютных и относительных измерений и гидрологическая нагрузка. Под гидрологической нагрузкой подразумеваются временные вариации силы тяжести, вызванные изменением уровня грунтовых вод и влажности почв на локальном и глобальном уровне. Локальный эффект обусловлен изменением притяжения масс в районе наблюдений. На глобальном уровне оказывают влияние и гидрологические изменения в удаленных от места наблюдений районах. Для данного исследования использовалась модель гидрологической нагрузки, основанная на модели гидрологии MERRA2 [10].

Корреляционный анализ показал наличие прямой линейной зависимости между вариациями атмосферного давления и вариациями УСТ. Около 90 % сигнала оставшихся после учета атмосферного воздействия неприливных вариаций УСТ могут быть объяснены гидрологическим воздействием. Таким образом, представляется возможным выполнять учет гидрологической нагрузки по данным EOST на пункте TSNI.



Рис. 2. Оценка влияния гидрологической неприливной нагрузки на результаты гравиметрических определений

Заключение

В статье выполнено сравнение ряда абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений вариаций ускорения силы тяжести на основном пункте Государственной гравиметрической сети Российской Федерации. Данное сравнение выполнено в рамках эксперимента по созданию опорного пункта фундаментальной гравиметрической сети с учетом требований к пунктам Международной опорной гравиметрической сети IGRF.

Результаты сравнения говорят о качестве сборки конкретных гравиметров, корректности применяемых методик измерений и обработки. В представленных результатах измерений отслеживаются остаточные вариации значения ускорения силы тяжести. Они могут быть обусловлены гидрологическими и атмосферными нагрузочными деформациями.

Гидрологическая нагрузка оказывает заметное влияние на результаты гравиметрических определений и может быть учтена по данным EOST.

Список литературы

1. Морозов А.В., Баранов В.Н., Андреев В.К. Вариации силы тяжести из-за влияния уровня грунтовых вод на площадке строительства уникальных зданий и сооружений // Успехи современного естествознания. 2022. № 4. С. 92–97.
2. Морозов А.В., Баранов В.Н. Вариации геодезических высот, вызванные колебаниями силы тяжести, осадков

и уровня грунтовых вод на площадке строительства уникальных зданий и сооружений // Успехи современного естествознания. 2023. № 2. С. 119–128.

3. Суздаев А.С., Вовк И.Г., Артемьева Н.П. Пространственно-временные вариации гравитационного поля Земли // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. № 3. С. 20–25.
4. gMonitor User's Manual: gMonitor Gravity Data Acquisition and Processing Software. Ver. 2.1: Microg LaCoste. 2017. 88 p.
5. Olsson P.-A., Breili K., Ophaug V., Steffen H., Bilker-Koivula M., Nielsen E., Timmen L. Postglacial gravity change in Fennoscandia – three decades of repeated absolute gravity observations. // *Geophysical Journal International*. 2019. Is. 217 (2). P. 1141–1156. DOI: 10.1093/gji/ggz054.
6. Чистякова Е.А. Выявление и учет дрейфа нуля-пункта относительного гравиметра приливного типа // *Геодезия и картография*. 2023. № 4. С. 14–19. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-994-4-14-19.
7. Чистякова Е.А. Исследование атмосферных нагрузочных эффектов по результатам мониторинговых наблюдений силы тяжести на пункте ЦНИИГАиК // *Великие реки – 2019: Труды научного конгресса 21-го Международного научно-промышленного форума: в 3 т. (Нижний Новгород, 14–17 мая 2019 г.)*. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 296–299.
8. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет // *Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933*. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7. 2006. С. 762–770.
9. Boy J.-P. Study of the seasonal gravity signal in superconducting gravimeter data / J.-P. Boy, J. Hinderer // *Journal of Geodynamics*. 2006. Vol. 41, Is. 1. P. 227–233. DOI: 10.1016/j.jog.2005.08.035.
10. Gelaro R. et. al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) // *J. Climate*. 2017. № 30. P. 5419–5454. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.