



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 8 2023



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 8 2023



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

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

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

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

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Корректор

Галенкина Е.С.,

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ISSN 1681-7494

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

31.08.2023

Дата выхода номера

29.09.2023

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

13,5

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2023/8

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

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

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

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

ISSN 1681-7494

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

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

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

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

Periodicity	12 issues per year
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5
E-mail	edition@rae.ru
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	31.08.2023
Number issue date	29.09.2023
Format	60x90 1/8
Conditionally printed sheets	13,5
Circulation	1000 copies
Order	YCE 2023/8

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1 Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬЯ

- ПРОНИЦАЕМОСТЬ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН КАК СПОСОБ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ЧЕЧЕВИЦЫ
Маслова Г.А., Башинская О.С., Ларина Т.В., Бычкова В.В., Миронов И.В.8

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

СТАТЬИ

- ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РОСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ
В СКВЕРАХ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА
Авдеева Е.В., Кухар И.В.14
- ОСОБЕННОСТИ РОСТА *PINUS SYLVESTRIS* L. В МЕСТАХ,
ОГРАНИЧЕННЫХ БЕЛЫМ МОРЕМ, НА ТЕРРИТОРИИ
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
*Давыдов А.В., Богданов А.П., Третьяков С.В.,
Цветков И.В., Карабан А.А., Парамонов А.А.*23

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

- СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВИННОГО ТУРИЗМА
И АНАЛИЗ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ВИНОДЕЛЕН КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
Волкова Т.А., Комаров Д.А., Максимов Д.В.30
- ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА НА ОСТРОВАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО
Киселёва А.Г., Пшеничникова Н.Ф., Родникова И.М.43
- СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА
МЕЗОПРИЛИВНОГО ЭСТУАРИЯ АРКТИЧЕСКОЙ РЕКИ В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ
НА ПРИМЕРЕ УСТЬЯ Р. ИНДИГИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ
Лохов А.С., Мискевич И.В., Нецветаева О.П., Котова Е.И.48
- ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКОВ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ
РЕКИ АЛДАН РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)
Николаева Н.А., Копырина Л.И.54
- О ТРАНСГРАНИЧНОМ ПЕРЕНОСЕ РАДИОНУКЛИДОВ
ЛЕТУЧИМИ МЫШАМИ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА
Смагин А.И., Чеботина М.Я., Гусева В.П., Орлов О.Л.60

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДОЕМЫ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ):
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

*Таилькова Н.А., Афонина Е.Ю., Замана Л.В.,
Абрамова В.А., Таскина Л.В., Куклин А.П.*66

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МЕТАГЕОСИСТЕМ ГОРОДА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ЭКОЛОГИИ

Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Шабайкина В.А., Зарубин О.А., Кирюшин А.В.76

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

СТАТЬЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА В МАССИВЕ
МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ
НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

Петрова Е.А., Соколов К.О., Прудецкий Н.Д.86

Физико-математические науки (1.6.22)

СТАТЬИ

О ПОСТАНОВКЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПОВТОРНОГО ВЫСОКОТОЧНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Волков Н.В., Волков В.И., Шендрик Ю.В.92

СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЛОТИНЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BIM (ИНФОРМАЦИОННАЯ
МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ)

Наануа Юсеф, Васютинская С.И.97

1.5.9 Ботаника

ЭНДОНУКЛЕАЗЫ БАКТЕРИЙ РОДА *XANTHOMONAS*
И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Трофимов В.А., Данилова М.П.103

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1 General agriculture and crop production)

ARTICLE

PERMEABILITY OF CELL MEMBRANES AS A WAY TO DETERMINE
THE DROUGHT RESISTANCE OF LENTIL SAMPLES

Maslova G.A., Bashinskaya O.S., Larina T.V., Bychkova V.V., Mironov I.V.8

Agricultural sciences (4.1.6 Silviculture, forestry, forest crops, agroforestry, landscaping, forest pyrology and taxation)

ARTICLES

VARIABILITY OF BIOMETRIC PARAMETERS OF THE GROWTH
OF HANGING BIRCH AND SMALL-LEAVED LINDEN
IN THE SQUARES OF KRASNOYARSK

Avdeeva E.V., Kukhar I.V.14

GROWTH FEATURES OF PINUS SYLVESTRIS L. IN PLACES BOUNDED
BY THE WHITE SEA ON THE TERRITORY OF THE ARKHANGELSK REGION

*Davydov A.V., Bogdanov A.P., Tretyakov S.V.,
Tsvetkov I.V., Karaban A.A., Paramonov A.A.*23

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

CURRENT STATE OF WINE TOURISM AND ANALYSIS OF TOURIST
ACTIVITY OF WINE PRODUCTS IN KRASNODAR REGION

Volkova T.A., Komarov D.A., Maksimov D.V.30

GEOECOLOGICAL STUDIES OF SOIL AND VEGETATION COVER
ON THE ISLANDS OF PETER THE GREAT BAY

Kiseleva A.G., Pshenichnikova N.F., Rodnikova I.M.43

FEATURES OF THE MARGINAL FILTER STRUCTURE FORMATION
IN THE MESOTIDAL ARCTIC RIVER ESTUARY DURING THE WINTER
LOW TERM ON EXAMPLE OF THE INDIGA RIVER, BARENTS SEA

Lokhov A.S., Miskevich I.V., Netsvetaeva O.P., Kotova E.I.48

HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL RESEARCH OF THE UPPER
REACHES WATERCOURSES OF THE RIVER ALDAN, SAKHA REPUBLIC

Nikolaeva N.A., Kopyrina L.I.54

ON THE CROSS-BORDER TRANSFER OF RADIONUCLIDES
BY BATS IN THE AREA OF THE LOCATION OF THE NUCLEAR
FUEL CYCLE ENTERPRISE

Smagin A.I., Chebotina M.Ya., Guseva V.P., Orlov O.L.60

MINING WATER BODIES (TRANSBAIKAL TERRITORY):
ENVIRONMENTAL FEATURES

Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Zamana L.V., Abramova V.A., Taskina L.V., Kuklin A.P.66

GEOINFORMATION MODELING OF CITY METAGEOSYSTEMS
FOR MANAGEMENT DECISIONS IN THE FIELD OF ECOLOGY

Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Shabaykina V.A., Zarubin O.A., Kiryushin A.V.76

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

ARTICLE

DETERMINATION OF UNDERGROUND ICE POSITION
IN FROZEN ROCK MASSIF FROM GEORADIOLOCATION
DATA BASED ON THE HOUGH TRANSFORMATION

Petrova E.A., Sokolov K.O., Prudetskiy N.D.86

Physical and mathematical sciences (1.6.22)

ARTICLES

THE FORMULATION AND MATHEMATICAL PROCESSING
OF THE RESULTS OF REPEATED HIGH-PRECISION LEVELING
IN THE STUDY OF THE STABILITY OF THE FOUNDATIONS
OF PRECISION STRUCTURES

Volkov N.V., Volkov V.I., Shendrik Yu.V.92

CREATING AN ACCURATE 3D MODEL FOR MONITORING DAM USING
BIM TECHNOLOGY (BUILDING INFORMATION MODEL)

Naanouh Yousef, Vasyutinskaya S.I.97

1.5.9 Botany

ENDONUCLEASES OF BACTERIA OF THE GENUS *XANTHOMONAS*
AND THEIR BIOLOGICAL ROLE

Trofimov V.A., Danilova M.P.103

СТАТЬИ

УДК 633.351:631.52
DOI 10.17513/use.38082

ПРОНИЦАЕМОСТЬ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ЧЕЧЕВИЦЫ

¹Маслова Г.А., ¹Башинская О.С., ¹Ларина Т.В., ¹Бычкова В.В., ²Мионов И.В.

¹ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы», Саратов, e-mail: galina.bochkareva.92@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов

В статье представлены результаты двухлетних исследований по определению засухоустойчивости мелкосемянных и крупносемянных (тарелочных) сортообразцов чечевицы. Исследования проведены с использованием кондуктометра и дальнейшим вычислением уровня повреждения клеточных мембран. В результате проведенной работы степень повреждения составила в 2021 г.: от низких значений 2% до значительных 19%; в 2022 г. вариация изменилась и составила 6,90–15,26%; среднее значение отмечено на уровне 10,92%, ошибка разности средних, $s_x = \pm 0,95$, степень депрессии составила 8,92. Коэффициент вариации отмечен на уровне 24,68% в двухлетних исследованиях. Выявлены образцы с высокой устойчивостью к засухе: российский сортообразец тарелочной чечевицы к-2850, мелкосемянные – к-1850 (Армения) и к-2365 (Швеция). Провели анализ структуры урожая исследуемых образцов и качественных показателей семян. Наибольшим числом бобов на одном растении, в которых число семян с одного растения показало самые высокие значения, отличались мелкосемянные образцы: к-1850 (66,48 и 96,17 шт. соответственно), к-1964 (56,90 и 81,40 шт. соответственно); крупносемянный: к-3061 (56,80 и 54,40 шт. соответственно). Вариация значений признака «масса 1 тыс. семян» мелкосемянной чечевицы составила 23,50–32,85 г, тарелочной чечевицы 52,82–67,50 г. Среднее содержание протенна в выборке составило 30,73%. Наибольший показатель наблюдался у к-1978 – 32,18%, наименьший – к-2839 – 28,44%. При изучении тарелочной чечевицы различия были несущественными – среднее значение составило 29,16%. В сравнительной оценке биометрических и биохимических показателей исследуемых сортообразцов со степенью повреждения клеточных мембран чечевицы выявили отсутствие статистически значимых взаимосвязей. Можно предположить, что в анализ вошли сортообразцы, многие из которых не являются засухоустойчивыми.

Ключевые слова: чечевица, сортообразец, экзосмос, степень повреждения, клеточные мембраны, засухоустойчивость, урожайность

PERMEABILITY OF CELL MEMBRANES AS A WAY TO DETERMINE THE DROUGHT RESISTANCE OF LENTIL SAMPLES

¹Maslova G.A., ¹Bashinskaya O.S., ¹Larina T.V., ¹Bychkova V.V., ²Mironov I.V.

¹Russian Research Institut for Sorghum and Maize «Rossorgo», Saratov,
e-mail: galina.bochkareva.92@mail.ru;

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov

The article presents the results of a two-year study to determine the drought resistance of small-seeded and large-seeded (platter) varieties of lentils. The studies were carried out using a conductometer and further calculation of the level of damage to cell membranes. As a result of the work carried out, the degree of damage in 2021 was: from low values of 2% to significant 19%; in 2022, the variation changed and amounted to 6.90–15.26%; the mean value was noted at the level of 10.92%, the error of the difference between the means, $s_x = \pm 0.95$, the degree of depression was 8.92. The coefficient of variation is noted at the level of 24.68% in two-year studies. Samples with high resistance to drought were identified: the Russian variety sample of plate lentil k-2850, small-seeded – k-1850 (Armenia) and k-2365 (Sweden). The structure of the yield of the studied samples and the quality indicators of seeds were analyzed. The largest number of beans per 1 plant, in which the number of seeds from 1 plant showed the highest values, was noted by small-seeded samples: k-1850 (66.48 and 96.17 pcs., respectively), k-1964 (56.90 and 81.40 pcs., respectively); large-seeded: k-3061 (56.80 and 54.40 pieces, respectively). The variation in the values of the characteristic «weight of 1 thousand seeds» of small-seeded lentils was 23.50–32.85 g, plate lentils 52.82–67.50 g. The average protein content in the sample was 30.73%. The highest indicator was observed in k-1978 – 32.18%, the smallest – k-2839 – 28.44%. In the study of plate lentils, the differences were not significant – the average value was 29.16%. In a comparative assessment of the studied indicators of lentil samples, the degree of damage to cell membranes and quantitative/qualitative indicators, there were no statistically significant relationships. It can be assumed that the analysis included varieties, many of which are not drought-resistant.

Keywords: lentils, varietal, exosmosis, degree of damage, cell membranes, drought resistance, yield

Большое народнохозяйственное значение в продовольственных целях для выращивания на семена, богатые протеином, представляет чечевица. Расширение ее посевных площадей связано с достойными вкусовыми качествами, а также содержанием в семенах протеина на уровне 27% [1, 2]. Хотелось бы отметить, что достаточно высокие урожаи культуры отмечены в северной зоне РФ, где благоприятны почвенно-климатические условия. Однако снижение качества семян наблюдается в годы, когда период уборки сопровождается выпадением осадков. В аридных же зонах нашей страны получение высоких урожаев затруднено, необходимо выведение высокопродуктивных адаптированных сортов, устойчивых к различным стрессорам [1–3]. В качестве сравнения рассматривали безлисточковые сорта гороха, указанные в работах Н.Е. Новиковой, где установлено наибольшее понижение продуктивности в Центральном-Черноземном регионе России в годы с жаркой засушливой погодой [3]. А так как для многих областей России достаточно распространенным явлением отмечены неустойчивые водно-тепловые и климатические условия, в селекции чечевицы необходимо выведение засухоустойчивых сортов, энергетические ресурсы которых будут направлены на формирование урожая с высоким количественным и качественным составом белка [1, 4, 5]. В литературных источниках все чаще встречаются данные о влиянии засухи на морфологические, физиологические и биохимические процессы в сельскохозяйственных растениях, засухоустойчивые растения способны изменять длительность фенологических фаз, благодаря разным особенностям строения и физиологии, что указывает на их приспособленность к перенесению периодов с высокими температурами и низким количеством осадков [5–7].

Известно множество способов оценки засухоустойчивости полевых культур [7, 8], в наших работах по определению засухоустойчивых сортообразцов чечевицы служила оценка степени повреждения клеточных мембран, вычисленная при помощи кондуктометра. Данный метод дает представление о стабильности клеточных мембран [9]. Данный метод отражает адаптацию растительного организма к сложившимся условиям исследуемого года, что дает возможность спрогнозировать потенциал растения.

Цель исследования – провести сравнительную оценку результатов выхода электролитов из листьев растений чечевицы

и определить образцы с высокой устойчивостью к засухе по низкому уровню повреждения клеточных мембран; при помощи корреляционного матрикса биометрических и биохимических показателей исследуемых сортообразцов выявить взаимосвязи со степенью повреждения клеточных мембран чечевицы.

Материалы и методы исследования

Материалы исследований разделены на две группы – мелкосемянные и крупносемянные образцы чечевицы (фактор А), так как они обладают различной степенью засухоустойчивости: наиболее устойчивые и среднеустойчивые соответственно. В исследовании включены сортообразцы мелкосемянной: к-1850 (Армения), к-1894 (Германия), к-1978 (Индия), к-2839 (Канада), к-2872 (США), к-2365 (Швеция), к-1964 (Эфиопия) и крупносемянной (тарелочной) чечевицы: к-1043 (Италия), к-2850 (Россия), к-3061 (Украина). Работа проведена при помощи кондуктометра для получения результатов выхода электролитов из листьев растений чечевицы. При дальнейшем вычислении уровня повреждения клеточных мембран определяли образцы с высокой устойчивостью к засухе [4]. Измерения проводились в 2021 и 2022 гг. (фактор В). При изучении морфометрических признаков использовали международный классификатор СЭВ рода Lens Mill. (1985) с определением следующих показателей: высота растений, высота прикрепления нижнего боба. Анализ элементов урожайности состоял из следующих признаков: количество бобов и семян, массы семян с одного растения и массы 1 тыс. семян.

Анализ биохимического состава зерна проводили в отделе биохимии и биотехнологии ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» на инфракрасном анализаторе марки Spectra Star TMXT.

Статистическая обработка экспериментальных данных была выполнена с использованием пакета программ AGROS 2.09 методом дисперсионного анализа. Оценку существенности различий между полученными экспериментальными данными проводили по величине наименьшей существенной разницы ($НСР_{05}$).

Результаты исследования и их обсуждение

Данные выхода электролитов из листьев растений изучаемых сортообразцов чечевицы в первой партии получены: в 2021 г. от 74,5 (к-1894) до 121,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (к-1043);

в 2022 г. – от 53,0 (к-1850) до 90,0 $\mu\text{S/cm}$ (к-2365). Во второй партии листьев (после 3 ч медленного увядания) удельная электропроводность раствора была: 2021 г. – от 81,0 (к-3061) до 98,0 $\mu\text{S/cm}$ (к-1894); 2022 г. – от 54,0 (к-1978) до 105,5 $\mu\text{S/cm}$ (к-2872). После кипячения средний выход электролитов увеличился по сравнению с контролем в 2021 г. в 3,46 раза, в 2022 г. в 5,01 раз, однако в опыте с предварительным увяданием после кипячения величина удельной электропроводности раствора показала увеличение всего в 2,79 (2021 г.) и 3,37 (2022 г.) раза.

По результатам выхода электролитов складывается понимание проницаемости клеточных мембран. При подсчете степени повреждения исследуемых образцов выявлены образцы с высокой устойчивостью (низкая степень повреждения < 10%) в лабораторных условиях в 2021 г. – к-2872, к-2850, к-1043, к-2839, к-2365, к-1964; в 2022 г. – к-1850, к-2850, к-2365. Необходимо отобразить российский образец чечевицы – к-2850, по результатам двухлетних данных который обладал самой высокой устойчивостью (степень повреждения у него составила всего 5,40%). Среднее значение отмечено на уровне 10,92%, ошибка средней, $s_x = \pm 0,95$, степень депрессии со-

ставила 8,92. Коэффициент вариации в результате двухлетних исследований составил 24,68%, данное значение указывает на высокую изменчивость по исследуемому признаку (табл. 1).

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта позволил рассчитать вклад каждого фактора в общую изменчивость: фактор А внес 29,86%, фактор В – 5,61%, взаимодействие АВ – 39,90%, остаток (неучтенные факторы) составили 24,63%. Анализ позволил выявить значимые различия между сортообразцами по изучаемому признаку: к-1850 от к-2850; к-1894 от к-2850; к-1978 от к-2850, к-2872; к-2850 от к-1850, к-1894, к-1978, к-3061, к-1964; к-2872 от к-1978; не имеют существенных различий: к-1043, к-2839, к-2365. Анализ по годам не выявил значимых различий.

При анализе семенной продуктивности мелкосемянной чечевицы отметили сортообразцы с наибольшим числом бобов на одном растении (табл. 2), в которых число семян с одного растения показало самые высокие значения – к-1850 (66,48 и 96,17 шт. соответственно), к-1964 (56,90 и 81,40 шт. соответственно). У тарелочной чечевицы значения по данному показателю снижены, наиболее высокие зафиксировали у к-3061 (56,80 и 54,40 шт. соответственно).

Таблица 1

Изменение электропроводности раствора с листьями растений чечевицы

Образец (фактор А)	Удельная электропроводность раствора, $\mu\text{S/cm}$								Степень повреждения в годы исследова- ния, % (фактор В)		Среднее по фактору (А)
	Без кипячения				После кипячения						
	I		II		I		II				
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022			
к-1850	80	53	89	65	359	248	238	238	19,16	7,58	13,37bc
к-1894	75	60	98	90	229	310	226	324	16,20	10,33	13,27bc
к-1978	87	57	89	54	329	296	240	172	14,44	14,83	14,63c
к-2839	122	61	92	77	419	459	277	307	6,27	14,97	10,62abc
к-2872	99	54	92	57	367	293	293	184	2,00	13,32	7,66ab
к-2365	83	56	86	67	272	434	259	369	7,83	9,74	8,78abc
к-1964	90	84	85	106	282	317	255	296	9,34	15,26	12,30bc
к-1043	92	60	81	84	334	283	224	258	5,93	13,69	9,81abc
к-2850	96	90	88	103	334	288	255	274	3,90	6,90	5,40a
к-3061	105	63	97	92	287	258	229	252	11,90	14,88	13,39bc
Среднее по фактору В									9,70	12,42	
F _{факт.} (А) – 2,66*, F _{факт.} (В) – 4,33, F _{факт.} (АВ) – 3,42*											
НСР ₀₅ (А) – 5,33, НСР ₀₅ (АВ) – 7,80											

Примечание: I – первая партия листьев; II – вторая партия листьев (после 3 ч медленного увядания).

Таблица 2

Биометрические и биохимические показатели образцов чечевицы, 2021–2022 гг.

№ п/п	Образец	Количество бобов на одном растении, шт.	Количество семян на одном растении, шт.	Масса семян с одного растения, г	Масса 1 тыс. семян, г	Протеин, %
мелкосемянная						
1	к-1850	66,48e	96,17e	2,46e	27,33b	30,08abc
2	к-1894	38,30b	54,20b	1,60b	31,84de	31,72bc
3	к-1978	49,00c	68,20c	1,62b	23,27a	32,18c
4	к-2839	41,20b	56,70b	1,90cd	32,85e	28,44a
5	к-2872	40,59b	58,58b	1,94d	30,86cde	29,28ab
6	к-2365	32,41a	48,82a	0,95a	23,93a	31,74bc
7	к-1964	56,90d	81,40d	2,03d	23,50a	31,65bc
Среднее значение		46,41	66,30	1,78	27,65	30,73
Ошибка средней, <i>sx</i>		1,05	1,51	0,04	0,73	0,79
Коэффициент вариации, %		25,53	25,59	26,20	15,15	4,74
F _{факт.}		126,45*	125,95*	122,09*	33,36*	3,38*
НСР ₀₅		3,25	4,66	0,13	2,23	2,44
тарелочная						
8	к-1043	35,59a	46,18a	2,20a	52,82a	28,84
9	к-2850	41,00a	45,30a	2,83b	67,50b	28,89
10	к-3061	56,80b	54,40b	3,63c	65,27b	29,74
Среднее значение		44,46	48,63	2,89	61,86	29,16
Ошибка средней, <i>sx</i>		1,41	1,49	0,09	1,97	0,89
Коэффициент вариации, %		24,79	10,32	24,92	12,79	1,74
F _{факт.}		60,74*	11,42*	59,58*	16,21*	0,32
НСР ₀₅		5,55	5,83	0,36	7,73	–

Вариация значений признака «масса 1 тыс. семян» мелкосемянной чечевицы составила 23,50–32,85 г, тарелочной чечевицы 52,82–67,50 г. Выявлены значительные различия по изучаемым признакам между вариантами опыта.

Семена сортообразцов чечевицы были исследованы по биохимическому составу. У мелкосемянных образцов выявлены значительные различия, среднее содержание протеина в выборке составило 30,73 %. Наибольший показатель наблюдался у к-1978 – 32,18 %, наименьший – у к-2839 – 28,44 %. Коэффициент вариации составил 4,74 %, что указывает на слабую изменчивость изучаемого признака в выборке. При изучении тарелочной чечевицы различия были несущественными – среднее значение составило 29,16 %. Коэффициент вариации еще ниже, чем у мелкосемянных образцов – 1,74 %.

Результаты двухлетних исследований урожайности семян при статистической обработке показали значимые различия в вы-

бранных образцах (1,59f, 1,01d, 0,80a, 0,94b, 0,97bcd, 1,00cd, 1,07e, 1,03de, 1,03de, 0,93b – по фактору А; 0,90a, 1,18b – по фактору В). Значение средней отмечено на уровне 1,04 т/га, ошибка средней, *sx* = ±0,03, дисперсия составила 0,04. Коэффициент вариации в 2021 г. составил 26,64 %, в 2022 г. – 19,72 % и двухлетние показатели были на уровне 20,21 % (рис. 1). Доля в общей изменчивости фактора А – 54,85 %, фактора В – 27,48 %, взаимодействия А*В – 14,38 %, остаток (неучтенные факторы) – 3,29 %.

При построении корреляционного матрикса биометрических и биохимических показателей чечевицы тесных взаимосвязей со степенью повреждения клеточных мембран выявлено не было (табл. 3). Однако прямые корреляционные зависимости, значимые на 1 % уровне, были выявлены между количеством семян и количеством бобов на одном растении ($r = 0,84$), массой 1 тыс. семян и массой семян с одного растения ($r = 0,79$).

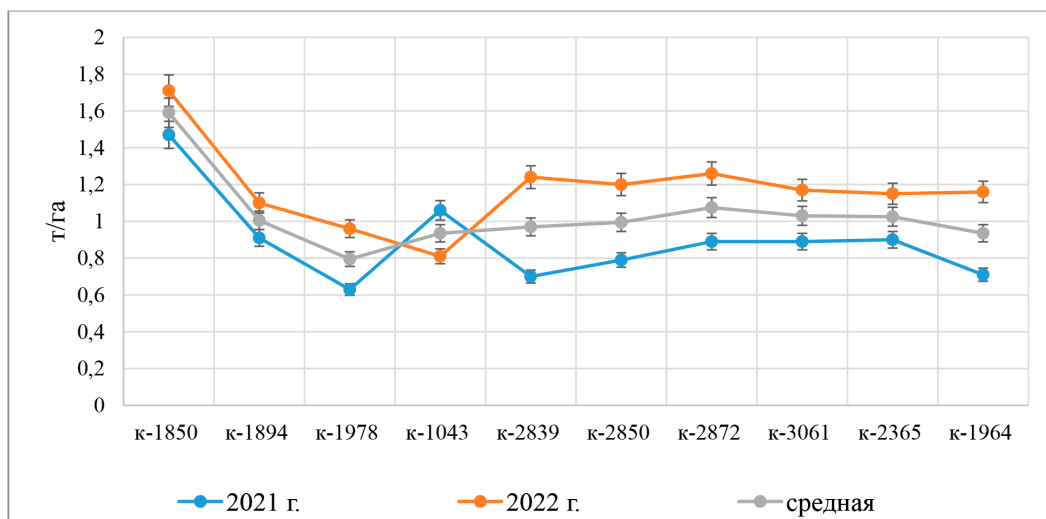


Рис. 1. Урожайность сортообразцов чечевицы, 2021–2022 гг. (т/га)

$$F_{\text{факт.}}(A) - 129,01^*, F_{\text{факт.}}(B) - 581,79^*, F_{\text{факт.}}(AB) - 33,83^*$$

$$HCP_{05}(A) - 0,05, HCP_{05}(B) - 0,02, HCP_{05}(AB) - 0,07$$

Таблица 3

Корреляционный матрикс биометрических и биохимических показателей чечевицы, 2021–2022 гг.

	1	2	3	4	5	6	7
1	1,00						
2	0,58	1,00					
3	0,56	0,84**	1,00				
4	0,03	0,52	0,03	1,00			
5	-0,37	-0,07	-0,54	0,79**	1,00		
6	0,53	0,11	0,30	-0,52	-0,61	1,00	
7	0,08	0,54	0,59	0,22	-0,11	-0,17	1,00

Примечание: 1 – степень повреждения клеточных мембран, 2 – количество бобов на одном растении, 3 – количество семян на одном растении, 4 – масса семян с одного растения, 5 – масса 1 тыс. семян, 6 – протеин; 7 – урожайность семян.

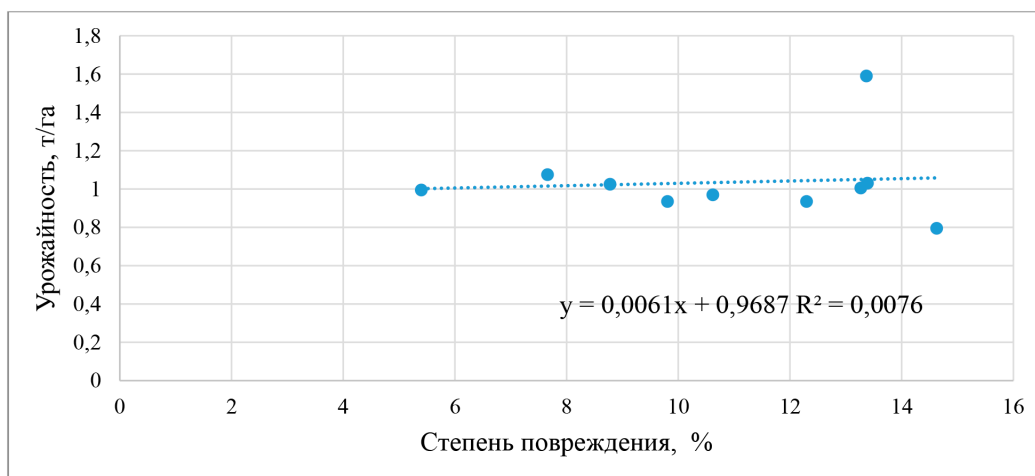


Рис. 2. Взаимосвязь урожайности семян чечевицы и степени повреждения клеточных мембран, 2021–2022 гг.

Заключение

Корреляционный анализ за два года исследований не выявил статистически значимых взаимосвязей между степенью повреждения клеточных мембран и урожайностью семян сортообразцов чечевицы (рис. 2).

В результате анализа выхода электролитов из листьев растений чечевицы определены образцы с высокой устойчивостью к засухе: российский сортообразец тарелочной чечевицы к-2850 и мелкосемянные – к-1850 (Армения) и к-2365 (Швеция).

При изучении корреляционного матрикса биометрических и биохимических показателей исследуемых сортообразцов в выявлении взаимосвязей со степенью повреждения клеточных мембран чечевицы обнаружили отсутствие статистически значимых коэффициентов. Можно предположить, что в анализ вошли сортообразцы, многие из которых не являются засухоустойчивыми.

Список литературы

1. Зайцев С.А., Волков Д.П., Носко О.С., Бычкова В.В. Чечевица как объект селекционной деятельности среды // АгроЭкоИнфо. 2022. № 1 (49). URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_108.pdf. DOI: 10.51419/202121108 (дата обращения: 15.05.2023).
2. Маракаева Т.В. Корреляция основных селекционных признаков семенной продуктивности образцов чечевицы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (34). С. 50–56.
3. Новикова Н.Е. Проблемы засухоустойчивости растений в аспекте селекции гороха // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 1. С. 53–58.
4. Маслова Г.А., Миронов И.В., Башинская О.С., Ларина Т.В., Бабушкин Д.Д. Сравнительная оценка степени повреждения клеточных мембран образцов чечевицы мировой коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения // АгроЭкоИнфо. 2022. № 6. DOI: 10.51419/202126623.
5. Kibalnik O.P., Sazonova I.A., Bochkareva Yu.V., Bychkova V.V., Semin D.S. Influence of Abiotic Stresses on Morphophysiological Characteristics and Biological Value of Grain Sorghum bicolor (L.) Moench // International Journal of Plant Biology. 2023. Vol. 14. P. 150–161. DOI: 10.3390/ijpb14010013.
6. Куркина Ю.Н. К вопросу о связи ксероморфизма с засухоустойчивостью бобов // Заметки ученого. 2022. № 2. С. 112–115.
7. Куколева С.С., Кибальник О.П., Степанченко Д.А. Оценка засухоустойчивости образцов суданской травы // Журнал сельского хозяйства и окружающей среды. 2021. № 4 (20). DOI: 10.23649/jae.2021.4.20.1.
8. Виноградова Е.Г. Использование сахарозы и маннита для дифференциации генотипов льна по устойчивости к осмотическому стрессу // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 3 (59). С. 10–15.
9. Гришенкова Н.Н., Лукаткин А.С. Определение устойчивости растительных тканей к абиотическим стрессам с использованием кондуктометрического метода // Поволжский экологический журнал. 2005. № 1. С. 3–11.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В СКВЕРАХ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Авдеева Е.В., Кухар И.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: Rahuk@mail.ru

Высокие темпы урбанизации сопровождаются значительным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду. Красноярск – промышленный город, и эта проблема является актуальной. Развитие сети городских скверов и парков улучшает качество городской среды. Состояние и развитие деревьев, произрастающих в скверах и парках города, тесно связано со многими техногенными факторами, и поэтому при изучении биометрических параметров древесных насаждений можно сделать вывод об экологическом состоянии городской среды при различных уровнях загрязнения. Распространению на городских объектах озеленения березы повислой и липы мелколистной способствуют их эстетические качества, нетребовательность к почвенным условиям, быстрота роста, зимостойкость, высокие средозащитные свойства. Анализ биометрических параметров данных видов был выполнен в возрастной динамике. Исследования позволяют связать изменчивость биометрических параметров роста березы повислой и липы мелколистной с текущим состоянием и изменением экологии в скверах и парках г. Красноярск и учитывать это при создании новых объектов озеленения. На основании анализа исследований при озеленении городских пространств следует высаживать березу повислую, при этом липа разнообразит видовой состав скверов и парков.

Ключевые слова: изменчивость, биометрические параметры, береза повислая, липа мелколистая

VARIABILITY OF BIOMETRIC PARAMETERS OF THE GROWTH OF HANGING BIRCH AND SMALL-LEAVED LINDEN IN THE SQUARES OF KRASNOYARSK

Avdeeva E.V., Kukhar I.V.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, e-mail: Rahuk@mail.ru

The high rates of urbanisation of cities are accompanied by a significant increase in the anthropogenic load on the environment. Krasnoyarsk is an industrial city and this problem is urgent. The development of a network of urban squares and parks improves the quality of the urban environment. The state and development of trees growing in squares and parks of the city is closely related to many technogenic factors, and therefore, the study of the biometric parameters of tree plantations can draw a conclusion about the ecological state of the urban environment at various levels of pollution. The distribution of drooping birch and small-leaved linden in urban landscaping facilities is facilitated by their aesthetic qualities, undemanding to soil conditions, growth rate, winter hardiness, and high environmental protection properties. Analysis of the biometric parameters of these species was performed in the age dynamics. The studies allow us to link the variability of biometric growth parameters of drooping birch and small-leaved linden with the current state and changes in ecology in public gardens and parks of Krasnoyarsk and take this into account when creating new landscaping objects. Based on the analysis of studies, when landscaping urban spaces, a hanging birch should be planted, while the linden tree diversifies the species composition of squares and parks.

Keywords: variability, biometric parameters, *tilia cordata* Mill., *betula pendula* Roth.

Высокие темпы урбанизации сопровождаются значительным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду. Красноярск – промышленный город, и эта проблема является актуальной. Развитие сети городских скверов и парков улучшает качество городской среды. Зеленые насаждения города помимо эстетико-гигиенических выполняют стабилизирующие функции. Древесные растения способны выступать в качестве индикатора состояния городской среды и предупредить опасные изменения в окружающей среде, поэтому необходимо проводить исследования состояния зеленых насаждений, находить за-

кономерности и на основе результатов качественно управлять процессом озеленения городских территорий.

Распространению на городских объектах озеленения березы повислой и липы мелколистной способствуют их эстетические качества, нетребовательность к почвенным условиям, быстрота роста, высокие средозащитные свойства. На основании этого актуальным является установление особенностей их роста в различных условиях произрастания.

Были изучены работы Е.В. Авдеевой [1], Л.Н. Скрипальщиковой [2], Е.В. Лисотовой [3], А.Ю. Кулагина [4] и др., изучавших специфику роста древесных насаждений

в городских условиях с различной степенью антропогенного загрязнения.

Цель исследования заключается в установлении изменчивости показателей роста березы повислой и липы мелколистной в возрастной динамике в скверах г. Красноярска.

Материалы и методы исследования

Изучались биометрические параметры березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в скверах г. Красноярска, характеризующие их состояние в возрасте от 6 до 50 лет.

Исследуемые насаждения располагаются в насаждениях общего пользования (скверы и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска). Было отобрано 9 скверов: «Лесок», «Серебряный», «Космонавтов», «Сказочный», «Панюковский», «Энтузиастов», «Юбилейный», «Одесский», «им. В.И. Сурикова» и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска (Плодово-ягодная станция и питомник МП «УЗС»). На отобранных объектах озеленения Красноярска были обследованы порядка 2,5 тыс. деревьев в 2017–2022 гг.

На каждом объекте выполнена фотофиксация деревьев. Для работы использовался отечественный пакет программ «КОМПАС». Были проведены измерения биометрических параметров: высота дерева, высота до максимального диаметра кроны, высота до начала кроны, диаметр кроны. Учитывая различия условий произрастания деревьев в пределах участка, по результатам обмеров получили средние значения всех биометрических параметров.

Построение рядов роста деревьев в высоту проведено статистическим методом. Для построения оценочных шкал роста деревьев весь массив средних значений высот разделен на количество рядов роста в соответствии с результатами кластерного анализа.

Для описания взаимосвязи средних значений высот деревьев с возрастом в пределах рядов роста по высоте использовалась формула Мичерлиха [5, с. 38].

Диаметр древостоя является более изменчивым параметром, чем высота. Даже в насаждениях одного возраста и равной высоты, т.е. произрастающих в одинаковых условиях, диаметры деревьев могут колебаться в значительных пределах. Причиной большей изменчивости диаметров является то, что динамика роста по данному параметру зависит от значительно большего числа факторов, чем рост в высоту [5, с. 38].

При построении зависимостей роста по диаметру использовалась группировка насаждений по условиям местопроизрастания, полученная в ходе анализа данных по высоте.

Результаты исследования и их обсуждение

Древесные растения одного вида, развивающиеся под воздействием различных уровней техногенной нагрузки, по внешним признакам отличаются как между собой, так и с древесными насаждениями данных видов естественных лесных массивов. Исследования ряда авторов [6–8] показали, что рост насаждений зависит от условий произрастания. Рост как процесс не прерывается в течение жизни растений, но под влиянием внешних факторов изменяются его формы и скорость. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в скверах г. Красноярска, представлена на рис. 1–4.

Установить степень воздействия факторов городской среды позволяют исследования биометрических параметров древесных растений. Разница между средними значениями высот исследуемых видов в удовлетворительных и напряженных условиях произрастания, а также в конфликтных и критических начиная с возраста 25 лет не является достоверно значимой. На основании этой выборки для удовлетворительных и напряженных условий, а также конфликтных и критических объединены и построены обобщенные графики роста по высоте для березы и липы.

Рост по высоте достоверно описывается уравнением Мичерлиха. Коэффициенты уравнений и параметры оценки уравнений получены с использованием стандартных программ нелинейного регрессионного анализа в программе Statistica 13 и представлены в табл. 1, на рис. 5 и 6.

В лесостепной зоне г. Красноярска для березы преобладающим является II класс бонитета. В зоне темнохвойной и светлохвойной тайги наиболее распространенными являются древостои III класса бонитета. На основании данных бонитетной шкалы для семенных древостоев построены графики зависимости высоты насаждений от возраста для II и III классов бонитета. Из литературных источников [9, с. 120; 10, 11] получены данные о возрастных изменениях высот деревьев исследуемых пород в условиях среды городов Украины и Европейской части России.









Тип условий произрастания удовлетворительный – напряженный			
Возрастное состояние			
v	g ₁	g ₂	g ₃
			
конфликтный – критический			
			

Рис. 1. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой в период покоя









Тип условий произрастания удовлетворительный – напряженный			
Возрастное состояние			
v	g1	g2	g3
			
конфликтный – критический			
			

Рис. 2. Визуализация динамики возрастных состояний березы повислой в вегетационный период

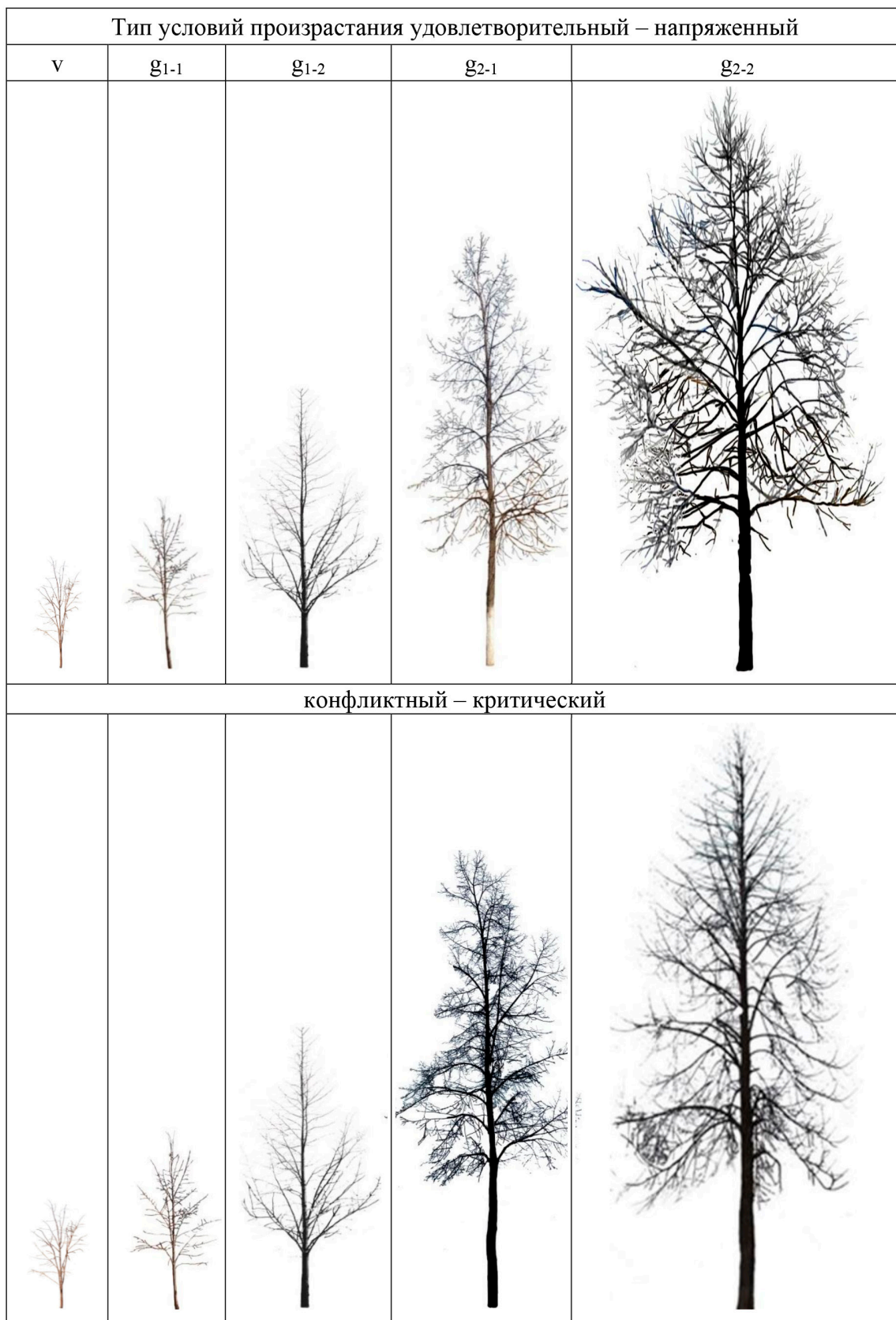


Рис. 3. Визуализация динамики возрастных состояний липы мелколистной в период покоя

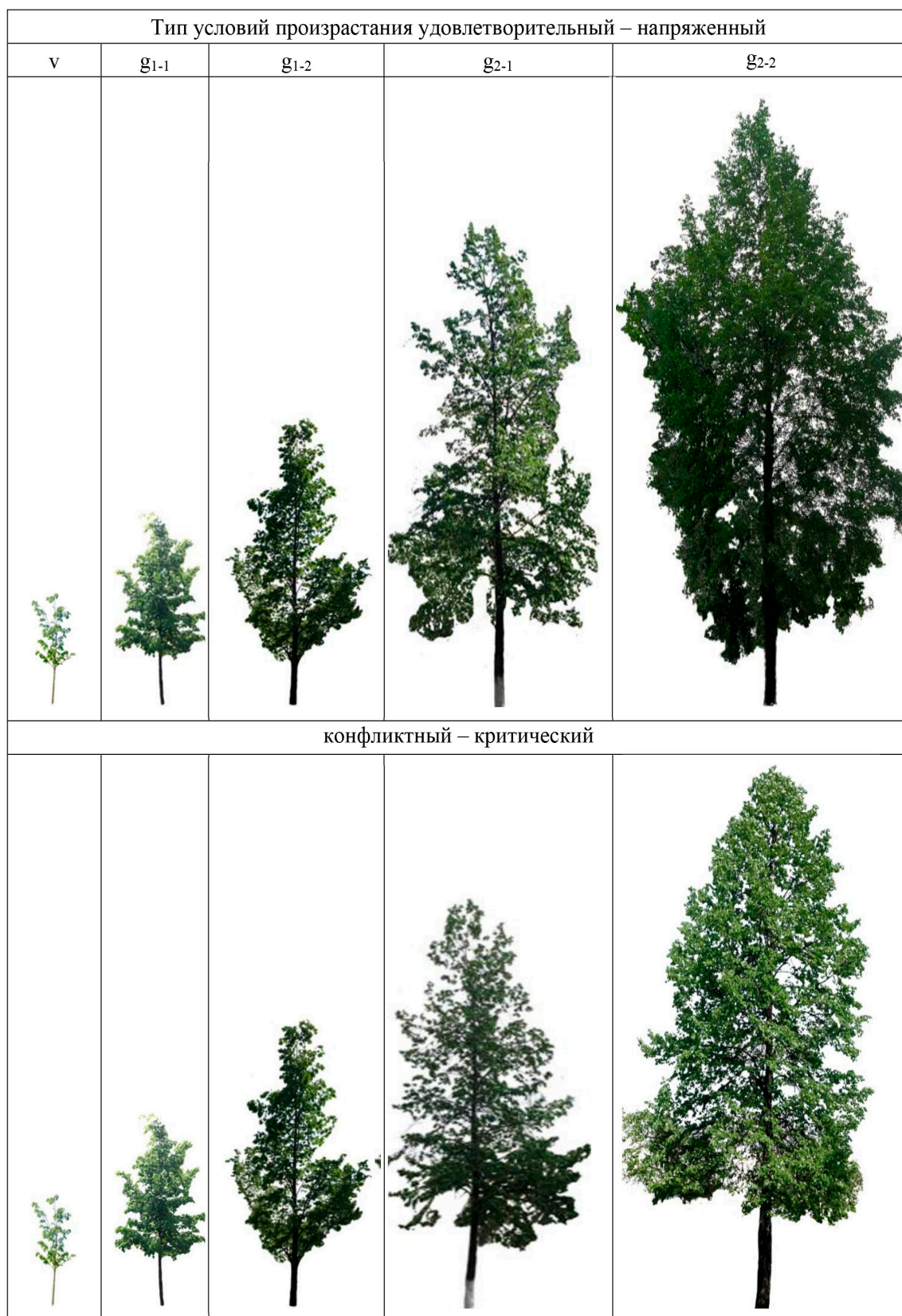


Рис. 4. Визуализация динамики возрастных состояний липы мелколистной в вегетационный период

Таблица 1

Коэффициенты уравнения и критерии их оценки

Тип условий произрастания	Береза повислая					Липа мелколистная				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	F	b_1	b_2	b_3	R_2	F
Удовлетворительный – напряженный	18,05	16,7	2,1	0,989	3416	13,92	21,39	1,8	0,993	6809
Конфликтный – критический	17,09	21,39	1,71	0,994	12922	11,07	15,6	2,81	0,982	5346

Примечание: R^2 – коэффициент детерминации, F – критерий Фишера.

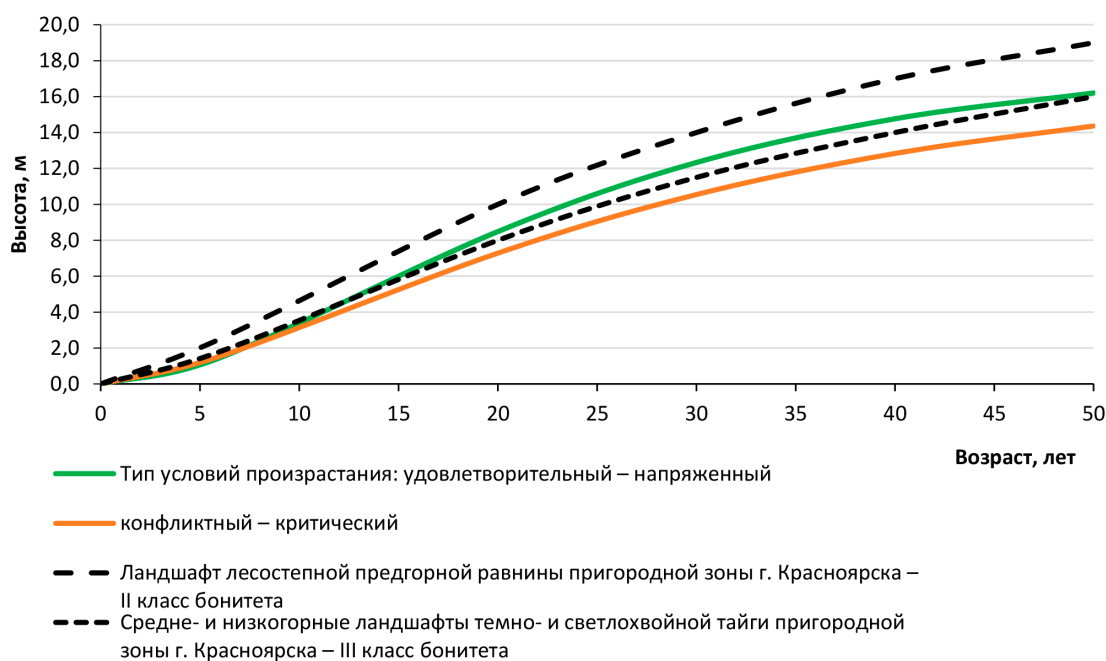


Рис. 5. Рост березы повислой по высоте в скверах г. Красноярска

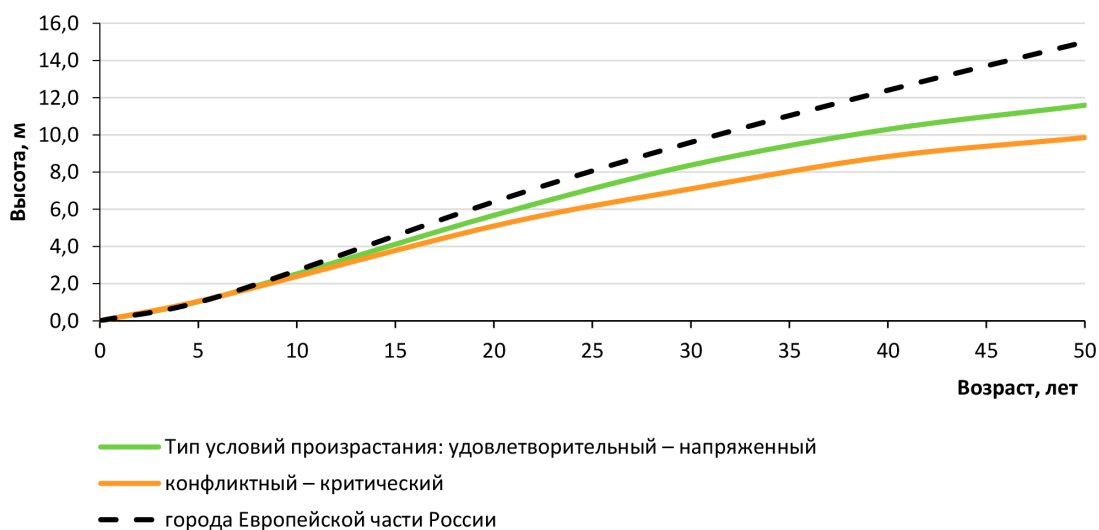


Рис. 6. Рост липы мелколистной по высоте в скверах г. Красноярска

Сравнительный анализ роста деревьев по высоте показал, что:

– до 25-летнего возраста условия произрастания не оказывают существенного влияния на морфологическое развитие обоих видов, в дальнейшем в темпах роста по высоте выделено два типа для каждого вида. Амплитуда изменения значений по высоте деревьев в возрасте 50 лет для березы составляет 1,84 м, для липы – 1,74 м. Интервал между кривыми роста составляет 11,3% для березы, 15,01% для липы, что отвечает требованиям суммарной точности группировки рядов по типам роста;

– рост по высоте березы в удовлетворительном – напряженном типах условий произрастания к 50-летнему возрасту превышает рост липы на 26%, в конфликтном – критическом – на 31%;

– наложение графиков зависимости высоты деревьев березы повислой от возраста показало, что высота посадок березы повислой, растущих в удовлетворительных – напряженных условиях города, к 50-летнему возрасту соответствует данному показателю у деревьев, растущих в естественных насаждениях III класса бонитета. У насаждений, растущих в конфликтных – критических условиях города, потери по высоте

к 50-летнему возрасту составляют до 10,2% относительно данного показателя естественных насаждений III класса бонитета;

– так как липа мелколистная является интродуцентом, сравнение показателей роста проведено с показателями ее роста в Европейской части России. В условиях урбанизированной среды г. Красноярска наблюдается отставание роста липы мелколистной по высоте до 22,7% в удовлетворительных – напряженных условиях произрастания и до 34,3% в конфликтных – критических условиях по сравнению ростом в городах Европейской части России.

Полученные результаты позволили составить ряды роста исследуемых видов в урбанизированной среде в зависимости от условий произрастания (табл. 2).

При построении графиков зависимостей роста по диаметру использовалась группировка насаждений исследуемых видов по условиям местопроизрастания, полученная в ходе анализа данных по высоте. Зависимости роста по диаметру березы повислой и липы мелколистной представлены на графиках (рис. 7). Коэффициенты и параметры уравнения роста по диаметру ствола для березы повислой и липы мелколистной представлены в табл. 3.

Таблица 2

Ряды роста исследуемых видов по типам условий произрастания

Возраст, лет	Тип условий произрастания			
	удовлетворительные – напряженные	конфликтные – критические	удовлетворительные – напряженные	конфликтные – критические
	Береза повислая		Липа мелколистная	
10	1,5–2,5 (саженцы ГОСТ 24909-81)			
20	6,0–10,5	5,5–9,5	4,0–7,0	3,0–5,5
30	10,6–13,5	9,6–11,9	7,1–9,4	5,6–8,0
40	13,6–15,5	12,0–13,5	9,5–11,0	8,1–9,5
50	15,6–16,9	13,6–14,9	11,1–12,5	9,6–10,5

Таблица 3

Коэффициенты уравнения и критерии их оценки

Тип условий произрастания	Береза повислая				Липа мелколистная			
	Коэффициенты уравнения		Критерии оценки		Коэффициенты уравнения		Критерии оценки	
	b_1	b_2	R^2	F	b_1	b_2	R_2	F
Удовлетворительный – напряженный	1,37	0,90	0,873	261	1,11	0,951	0,975	938
Конфликтный – критический	1,15	0,88	0,922	922	1,55	0,811	0,880	645

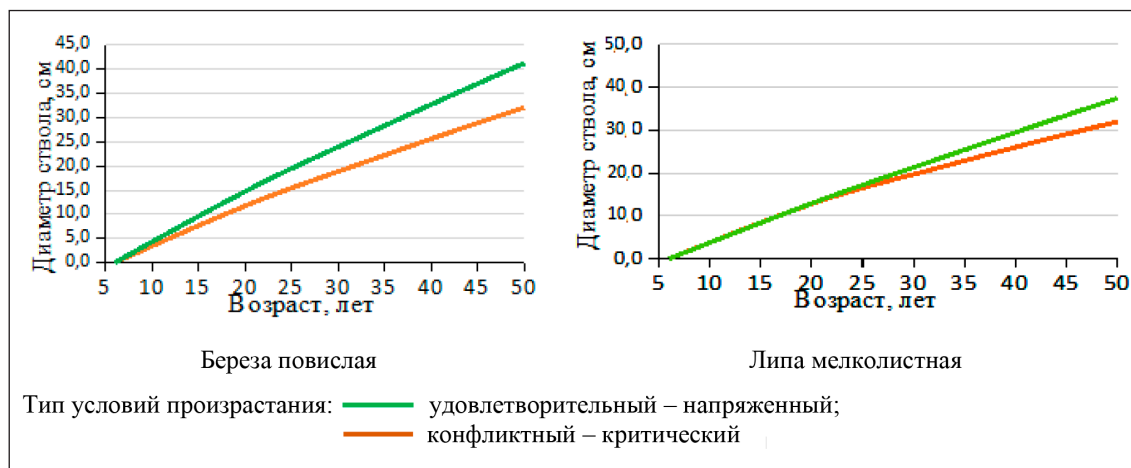


Рис. 7. Рост исследуемых видов по диаметру ствола

Анализ результатов исследований показал, что при увеличении техногенных нагрузок наблюдается снижение размеров исследуемых видов, а к 50-летнему возрасту снижение роста составит: для березы – 35%, липы – 19%, при этом существенных различий между исследуемыми видами по диаметру ствола деревьев, произрастающих в конфликтных – критических условиях, не проявляется.

Заключение

При озеленении г. Красноярска рекомендуется высаживать березу повислую, при этом липа мелколистная повысит биоразнообразие городских посадок. Анализ биометрических параметров березы повислой и липы мелколистной выполнен в возрастной динамике. Установлена взаимосвязь уровня качества среды и типов условий произрастания. Итоги исследований позволяют связать изменчивость биометрических параметров роста березы повислой и липы мелколистной с состоянием экологии в скверах г. Красноярска и учитывать это при создании новых объектов озеленения.

Список литературы

1. Авдеева Е.В. Зеленые насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города: на примере г. Красноярска: дис. ... докт. сельхоз. наук. Красноярск, 2008. 390 с.
2. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Стабильность развития листовой пластинки березы повислой в пригородах Красноярска // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды:

сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. В 2 ч. 2018. С. 1135–1138.

3. Lisotova E.V., Suntsova L.N., Inshakov E.M. Analysis of state of *betula pendula*, *padus maackii* and *malus baccata* tree in the main plantings of Krasnoyarsk city // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2020. Т. 23. С. 58–60.

4. Кулагин А.Ю., Николаева В.В. Фенологические наблюдения за липой мелколистной (*Tilia cordata* mill.) на территории г. Уфы // Биология. 2014. № 3. С. 150–153.

5. Кузьмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 1. С. 36–42.

6. Извеков А.А. Динамика таксационных показателей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях урбанизированной среды г. Красноярска: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2021. 20 с.

7. Лебедев А.В. Динамика продуктивности и средообразующих свойств древостоев в условиях городской среды (на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии): автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2019. 20 с.

8. Панов А.И. Изменчивость сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских посадках: на примере г. Красноярска: дис. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2021. 224 с.

9. Глебова О.В., Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Сидоренко М.В., Юнина П.В. Природный комплекс большого города: Ландшафт-экол. анализ / Рос. акад. наук. Ин-т экологии Волж. бассейна. М.: Маик Наука/Интерпериодика, 2000. 285 с.

10. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев европейской части России // Сибирский лесной журнал. 2020. № 5. С. 45–54. DOI: 10.15372/SJFS20200505.

11. Кухар И.В., Томышева В.Д. Мониторинг состояния городских объектов озеленения // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сборник статей международной научно-практической конференции. Красноярск, 2022. 404 с.

УДК 630*11:630*566(470.11)
DOI 10.17513/use.38084

ОСОБЕННОСТИ РОСТА *PINUS SYLVESTRIS* L. В МЕСТАХ, ОГРАНИЧЕННЫХ БЕЛЫМ МОРЕМ, НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Давыдов А.В., Богданов А.П., Третьяков С.В.,
Цветков И.В., Карабан А.А., Парамонов А.А.

ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Архангельск,
e-mail: a.v.davydov@sevniilh-arh.ru

В связи с высокой экологической ценностью естественных сосновых древостоев, ограниченных Белым морем, авторами было проведено исследование роста сосны (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей по береговой линии на территории Архангельской области. Остается открытым вопрос о том, применимы ли таксационные нормативы для таких древостоев. Особенности приморских сосен связаны с повышенной ветровой нагрузкой, а также специфическими условиями роста на песках. Полевые исследования проведены летом 2022 г. на территории острова Ягры (Приморский район, г. Северодвинск), а также в районе г. Онега (Онежский район). Всего произведены измерения на 18 пробных площадях в разных типах леса. В большинстве случаев доминантным видом напочвенного покрова выступает черника (*Vaccinium myrtillus* L.). Сравнение того, как соотносятся средние диаметры и высоты со средними возрастными, позволило отметить существенное влияние ветровой нагрузки и освещенности на динамику роста приморских насаждений сосны. Выявленные особенности роста отличаются от показателей таблиц хода роста как для северотаежных и притундровых сосновых древостоев Архангельской области, так и для притундровых сосен европейской части России.

Ключевые слова: сосняк, динамика роста, нормативы таксации, Белое море, ветровая нагрузка

Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства «Разработка лесотаксационных нормативов для насаждений сосны обыкновенной на северном пределе их распространения, расположенных на границе с открытыми пространствами: тундрами, водно-болотными участками (морем) в районе притундровых лесов и редкостойной тайги и в защитных лесах северотаежного района европейской части Российской Федерации и разработка рекомендаций по ведению в них хозяйства» (регистрационный номер темы: 122012600067-9).

GROWTH FEATURES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN PLACES BOUNDED BY THE WHITE SEA ON THE TERRITORY OF THE ARKHANGELSK REGION

Davydov A.V., Bogdanov A.P., Tretyakov S.V.,
Tsvetkov I.V., Karaban A.A., Paramonov A.A.

Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, e-mail: a.v.davydov@sevniilh-arh.ru

Due to the high ecological value of natural pine stands bounded by the White Sea, the authors conducted a study of the growth of pine (*Pinus sylvestris* L.) growing along the coastline in the Arkhangelsk region. The question remains whether the taxation standards are applicable for such stands. The features of seaside pines are associated with increased wind load, as well as specific growth conditions on the sands. Field studies were conducted in the summer of 2022 on the territory of Yagry Island (Primorsky district, Severodvinsk), as well as in the area of Onega (Onega district). In total, measurements were made on 18 test areas in different types of forest. In most cases, blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) are the dominant type of ground cover. A comparison of how average diameters and heights correlate with average ages allowed us to note the significant influence of wind load and illumination on the growth dynamics of coastal pine stands. The revealed growth features differ from the indicators of the growth course tables for both the north taiga and tundra pine stands of the Arkhangelsk region, and for the tundra pines of the European part of Russia.

Keywords: pine forest, growth dynamics, taxation standards, White Sea, wind load

The publication was prepared based on the results of research work carried out within the framework of the state assignment of the «Northern Research Institute of Forestry» to conduct applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency «Development of forest inventory standards for Scots pine plantations at the northern limit of their distribution, located on the border with open spaces: tundra, wetlands (sea) in the area of near-tundra forests and sparse taiga and in protective forests of the northern taiga region of the European part of the Russian Federation and the development of recommendations for managing their economy» (registration number of the topic: 122012600067-9).

Сосняки, располагающиеся на участках, ограниченных Белым морем, представляют не столько хозяйственную, сколько экологическую и эстетическую ценность [1; 2]. На динамику роста сосен могут влиять самые разные факторы, изучением которых занимаются и за рубежом [3–5]. В частности, исследователями опубликованы сведения о повышении продуктивности в связи с последствиями изменения климата [6].

За исключением лесохозяйственной деятельности, на особенности формирования сосновых древостоев в определенной местности большое влияние оказывают природно-климатические условия. Наиболее существенными факторами для формирования притундровых лесов являются лесные пожары, низкие температуры воздуха и почвы, а также сильные арктические ветра. Считается, что пирогенное влияние, которое прогревает почву и снабжает ее питательными элементами от сгоревших растений, является главным фактором, способствующим естественному лесовозобновлению в притундровых лесах. В свою очередь, почвенные условия оказываются наиболее благоприятными вблизи водоемов, поскольку рядом с ними формируется более теплый микроклимат. При этом хвойные деревья вырастают сравнительно низкими, поскольку их кроны преломляют сильные потоки воздуха, надвигающиеся на притундровые древостои с безлесных пространств Арктики. Соответственно, притундровые леса служат естественным климаторегулирующим барьером для поддержания большей продуктивности лесов северной тайги [7, с. 204–212, 230–242, 245–250].

Аналогичное влияние ветровой нагрузки испытывают сосны, произрастающие по берегам Белого моря, поэтому прибрежные древостои сухопутной европейской части Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) формируются в схожих лесорастительных условиях с притундровыми лесами.

Сосновые типы леса в притундровой зоне охарактеризованы исследователями как сосняки мохово-лишайниковые, бруснично-лишайниковые, брусничные, черничные свежие и влажные, кустарничково-сфагновые, сфагновые и ерниковые [7, с. 316–317, 328]. Сосны прибрежной полосы западной части Белого моря (Онежская губа) на территории Республики Карелия произрастают преимущественно в условиях заболоченности. Из них формиру-

ются кустарничково-сфагновые, скальные, чернично-скальные, хвощово-сфагновые сосняки [1]. В свою очередь сосняки Соловецкого архипелага представлены черничными, брусничными, кустарничково-сфагновыми и мохово-лишайниковыми типами леса [8]. Все древостои при указанных географических особенностях являются низкопродуктивными и характеризуются преимущественно V классом бонитета и ниже. Сосняки черничные на острове Ягры, который находится в зеленой зоне г. Северодвинска и относится к Двинской губе Белого моря, отличаются высокой сбежистостью ствола, что объясняется последствиями ветровой нагрузки [2].

Результаты исследования генофонда основных лесобразующих пород западного водосбора Белого моря (Республика Карелия и Мурманская область) позволяют судить об однородности генетических популяций северотаежных и притундровых сосняков региона, то есть об отсутствии значительных микробиологических отличий у сосен обыкновенных в АЗРФ [9].

В то же время имеются сведения о неприменимости северотаежных нормативов динамики роста к соснякам Соловецкого архипелага. В результате влияния морского ветра на них образуются более низкие и искривленные, чем в северной тайге, стволы с большими диаметрами при высоте до 15 м. В результате формируется сильная сбежистость стволов и отсутствует положительная корреляция высоты с возрастом. Исследованные деревья относятся преимущественно к соснякам черничным [10; 11]. Также известно, что специальные таблицы хода роста для Соловецких островов не разрабатывались. Одной из причин является более высокий класс бонитета лесных культур сравнительно с естественными древостоями сосны обыкновенной на острове Большом Соловецком [12].

Что касается сосняков материкового побережья Белого моря, то и в отношении них до сих пор не стоял вопрос о необходимости разработки отдельных таксационных нормативов по динамике роста или уточнения имеющихся таблиц, которые применимы к притундровым лесам.

Цель исследования – изучить особенности строения сосняков материкового побережья Белого моря Архангельской области и сравнить их с динамикой роста северотаежных и притундровых сосновых древостоев.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводили летом 2022 г. в сосняках, произрастающих на границе с Белым морем и на возвышенности вблизи него в природном рекреационном комплексе местного значения «Сосновый бор острова Ягры» (Приморский район,

г. Северодвинск), а также в 14 квартале Онежского участкового лесничества и 46 квартале Онежского сельского лесничества Онежского лесничества (Онежский район). При закладке, таксации и описании учетных площадок получены данные, использованные для составления описания древостоев в табл. 1 [13, с. 10–15, 22–55].

Таблица 1

Описание сосняков материкового побережья Белого моря на учетных площадках

пп	Бонитет	Тип леса	Формула состава древостоя	Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Общий запас, м ³ /га
На границе с морем («Сосновый бор острова Ягры»)							
1	III	С _{черн}	75С(44)13Б(22)12Ос(23)	С	11,2	15,9	299
				Ос	12,3	16,8	
				Б	9,7	7,8	
2	III	С _{черн}	90С(49)10Б(32) ед. Ос	С	11,4	16,7	414
				Б	12,4	8,5	
3	IV	С _{черн}	91С(60)9Б(41) ед. Ос	С	13,0	14,1	187
				Б	9,8	8,4	
На границе с морем (14 квартал Онежского участкового лесничества)							
4	III	С _{черн-скал}	80С(76)20Е(69) ед. Б	С	16,4	21,2	198
				Е	14,3	15,9	
5	IV	С _{черн-скал}	51С(75)49Е(69) ед. Б ед. Лц	С	15,6	19,2	138
				Е	15,6	11,1	
6	IV	С _{черн-скал}	62С(81)33Е(107)5Б	С	15,8	19,9	147
				Е	13,3	13,5	
				Б	13,9	11,3	
7	III	С _{черн-скал}	79С(83)16Е(107)5Б ед. Лц	С	18,5	28,3	250
				Е	13,3	14,6	
				Б	13,1	10,3	
8	III	С _{черн-скал}	72С(68)18Е(77)10Лц(78) ед. Б	С	15,2	21,5	158
				Е	11,9	14,8	
				Лц	10,7	12,5	
9	III	С _{скал}	81С(70)10Е(73)9Лц(78)	С	15,2	21,2	186
				Е	10,0	11,4	
				Лц	10,7	12,5	
На возвышенности вблизи моря (14 квартал Онежского участкового лесничества)							
10	IV	С _{скал}	82С(56)13Е(44)5Б	С	12,5	14,1	119
				Е	13,0	16,6	
				Б	9,0	12,4	
11	III	С _{скал}	81С(55)19Е(44) ед. Б	С	11,8	12,2	121
				Е	11,0	11,1	
На возвышенности вблизи моря (46 квартал Онежского сельского лесничества)							
12	IV	С _{скал}	81С(68)12Лц(93)7Е(71)	С	15,2	21,5	158
				Лц	10,7	12,5	
				Е	11,9	14,8	
13	IV	С _{скал}	77С(73)19Е(85)4Лц(87) ед. Б	С	13,4	22,1	122
				Е	9,9	12,4	
				Лц	13,4	18,9	

Примечание. С_{черн} – сосняк черничный; С_{чер-скал} – сосняк чернично-скальный; С_{скал} – сосняк скальный.

Таблица 2

Описание сосняков на границе с открытым болотным пространством на учетных площадках

пп	Бонитет	Тип леса	Формула состава древостоя	Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Общий запас, м ³ /га
На холме посреди болота (о. Ягры)							
14	IV	С _{черн}	96С(68)4Б(29) ед. Ос	С	13,3	22,5	373
				Б	10,2	9,9	
На вершине склона (82 квартал Онежского сельского лесничества)							
15	I	С _{черн}	100С(81) ед. Б	С	24,4	22,3	461
16	I	С _{черн}	100С(70) ед. Б ед. Е	С	24,2	21,8	462
Внизу склона на границе с болотом (82 квартал Онежского сельского лесничества)							
17	III	С _{куст-сфагн}	100С(59) ед. Б	С	15,1	14,5	179
18	III	С _{куст-сфагн}	88С(48)12Б(29) ед. Лц	С	16,5	13,9	323
				Б	16,6	13,0	

Примечание. С_{куст-сфагн} – сосняк кустарничково-сфагнового типа леса.



Рис. 1. Сравнение средних по пробным площадям объемов стволов сосны обыкновенной, определенных по формуле для Европейского Севера России и по уравнению для притундровых лесов европейской части России

Также для сравнения влияния открытого пространства и ветровой нагрузки описаны древостои на учетных площадках, представленные в табл. 2.

Для камеральной обработки собранных данных проведен анализ существующих нормативов по Соловецкому архипелагу, по притундровым лесам европейской части России и общих по Европейскому Северу России [7, с. 328–331; 14, с. 233–237; 15, с. 42, 97, 178, 232–233]. Объемные таблицы, раз-

работанные для Соловецкого архипелага, не подходят для сосняков материкового побережья, так как некоторые сопоставления диаметров и высот, представленные в исследуемых древостоях, выходят за пределы табличных. В связи с чем интерполяция в указанных случаях недопустима. Сравнение по средним объемам стволов сосны на учетных площадках, которые определены разными способами по средним диаметрам и высотам, представлено на рис. 1.



Рис. 2. Сосняк на скалистом побережье Белого моря в районе исследований

Согласно рис. 1, показатели объемов стволов, определенные по формуле для сосняков Европейского Севера России и по специальному уравнению для притундровых сосен европейской части России, отличаются несущественно, так как систематическая ошибка составляет $\pm 0,0036 \text{ м}^3$ ($\pm 1,2776\%$). Объемы стволов, рассчитанные по уравнению для притундровых сосен, получаются в основном заниженными, в силу трудных для произрастания природных условий АЗРФ. Существенная разница объемов стволов в древостоях на вершине склона (табл. 2) объясняется тем, что уравнение для расчета объемов стволов притундровых сосен европейской части России не включает высоты более 20 м, при их исключении систематическая ошибка составляет $\pm 0,0027 \text{ м}^3$ ($\pm 1,1361\%$). В связи с этим объемы стволов выше 20 м определяли по формуле для Европейского Севера России [7, с. 330; 15, с. 42].

Уравнение для расчетов объемов стволов притундровых сосен следующее [7, с. 330]:

$$V = G_{1,3} \cdot (0.40 \cdot H + 1.33), \quad (1)$$

где V – объем древесного ствола, м^3 ;

$G_{1,3}$ – площадь поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м²;

H – высота ствола, м.

Аналогичным способом определяли объемы стволов сопутствующей породы березы

повислой (*Betula pendula* Roth), высота которых составляет 4,5 м и более [7, с. 331]:

$$V = (0.477 \cdot H + 0.626) \cdot G_{1,3}, \quad (2)$$

Объемы стволов осины (*Populus tremula* L.), ели (*Picea abies* (L.) H.Karst.) и лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), оказавшихся в составе древостоя, определяли по нормативам для Европейского Севера России.

При определении типов леса, как в случае с древостоями на рис. 2, ориентировались на результаты уже имеющихся исследований в АЗРФ [1, 2].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе полевых работ летом 2022 г. заложено 18 учетных площадок в четырех типах леса. Сосняки черничные на о. Ягры являются сильно вытоптанными, как показано на рис. 3, но черника (*Vaccinium myrtillus* L.) является наиболее устойчивым видом живого напочвенного покрова, она произрастает как в северотаежной, так и в притундровой лесорастительных зонах. Чернично-скальные сосняки отличаются значительным количеством брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и вороники (*Empetrum nigrum* L.). В скальных сосняках отмечено чередование мохово-лишайникового напочвенного покрова с вересковым (*Calluna vulgaris* (L.) Hill).



Рис. 3. Типичный сосново-березовый древостой в ООПТ «Сосновый бор острова Ягры»

В кустарничково-сфагновых сосняках преобладают сфагнум оттопыренный (*Sphagnum squarrosum* Crome), брусника и морощка (*Rubus chamaemorus* L.).

Средние высоты черничных, скальных и чернично-скальных сосняков, произрастающих на границе с морем и вблизи моря на возвышенности, согласуются с динамиками роста нормальных северо-таежных и притундровых сосновых древостоев Архангельской области, а также с динамикой роста мохово-лишайниковых сосняков Крайнего Севера. Древостой на холме посреди болота на о. Ягры имеет схожую среднюю высоту с древостоями, испытывающими ветровую нагрузку, идущую с Белого моря. Сосняки, заложенные для сравнения, имеют отличающиеся от приморских средние высоты, что указывает на разницу условий произрастания. Древостои, произрастающие на возвышенности вблизи моря, не имеют существенных отличий от насаждений на границе с открытым пространством моря.

Данные из табл. 1 показывают, что средние диаметры исследуемых насаждений соответствуют выбранным динамикам роста меньше, чем в половине случаев. Учитывая светолюбивость сосны, авторы считают, что отмеченные особенности роста по диаметру связаны с повышенным освещением на границе с Белым морем.

Заключение

Исследование сосновых древостоев, произрастающих на побережье Белого моря Онежского и Приморского района Архангельской области, показало, что средние диаметры и высоты имеют сходства и отличия со значениями, приведенными в таблицах хода роста модальных древостоев для северо-таежных и притундровых сосен Европейского Севера России, а также притундровых сосен европейской части России. По средним высотам приморские сосняки занимают промежуточное положение между северо-таежными и притундровыми древостоями, а по средним диаметрам значительно отличаются от тех и других. Приведенные сведения позволяют судить о наличии пробелов в базе лесотаксационных нормативов Европейского Севера России.

Список литературы

1. Громцев А.Н., Бахмет О.Н., Карпин В.А., Петров Н.В., Туонен А.В., Ткаченко Ю.Н. Ландшафтные особенности и экологическая оценка природных комплексов на Карельском и Поморском берегах Белого моря // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 5. С. 90–98. DOI: 10.17076/eco957.
2. Тюкавина О.Н. Состояние и рост сосны в лесопарке Ягры // Вестник КрасГАУ. 2014. № 3 (90). С. 138–143.
3. Mehtätalo L., Peltola H., Kilpeläinen A., Ikonen V.-P. The Response of Basal Area Growth of Scots Pine to Thinning: A Longitudinal Analysis of Tree-Specific Series Using a Non-linear Mixed-Effects Model // Forest Science. 2014. Is. 60 (4). P. 636–644. DOI: 10.5849/forsci.13-059.

4. Sensuła B., Wilczyński S., Opała M. Tree Growth and Climate Relationship: Dynamics of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growing in the Near-Source Region of the Combined Heat and Power Plant During the Development of the Pro-Ecological Strategy in Poland // *Water Air Soil Pollut.* 2015. Vol. 226. [Электронный ресурс]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-015-2477-4> (дата обращения: 20.06.2023). DOI: 10.1007/s11270-015-2477-4.
5. Socha J., Tymińska-Czabańska L., Bronisz K., Zięba S., Nawryło P. Regional height growth models for Scots pine in Poland // *Scientific Reports.* 2021. Is. 11. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33990666/> (дата обращения: 20.06.2023). DOI: 10.21203/rs.3.rs-47496/v1.
6. Socha J., Solberg S., Tymińska-Czabańska L., Tompałski P., Vallet P. Height growth rate of Scots pine in Central Europe increased by 29% between 1900 and 2000 due to changes in site productivity. *Forest Ecology and Management.* 2021. Vol. 490. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112721001912> (дата обращения: 20.06.2023). DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119102.
7. Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России: природа и ведение хозяйства. Архангельск: СевНИИЛХ, 1998. 332 с.
8. Соболев А.Н., Феклистов П.А. Напочвенный покров сосновых насаждений Соловецкого архипелага // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник.* 2014. Т. 18, № 4. С. 38–44. [Электронный ресурс]. URL: https://les-vest.msfu.ru/les_vest/2014/Les_vest_4_2014.pdf (дата обращения: 20.06.2023).
9. Ильинов А.А., Раевский Б.В., Чирва О.В. Состояние генфондов основных лесобразующих видов водосбора Белого моря (на примере *Picea × fennica* (Regel) Kom. и *Pinus sylvestris* L.) // *Экологическая генетика.* 2020. Т. 18, № 2. С. 185–202. DOI: 10/17816/ecogen19006.
10. Феклистов П.А., Соболев А.Н. О возможности применения таблиц хода роста древесных пород на Соловецких островах // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.* 2008. № 4. С. 152–154.
11. Соболев А.Н., Феклистов П.А. Особенности строения сосновых древостоев на острове Большом Соловецком // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.* 2022. № 1 (385). С. 77–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-77-87.
12. Соболев А.Н., Феклистов П.А., Грязькин А.В., Гавевский Н.П., Барзут О.С. Рост древостоев разных пород в одинаковых условиях местопроизрастания на Большом Соловецком острове // *Лесной вестник.* 2022. Т. 26, № 2. С. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-24-30.
13. Третьяков С.В., Коптев С.В., Наквасина Е.Н., Бахтин А.А., Ильинцев А.С., Богданов А.П., Кекишева Ю.Е. Лесная таксация. Часть 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ: учебное пособие. Архангельск: САФУ, 2023. 119 с.
14. Ипатов Л.Ф., Косарев В.П., Проузин Л.И., Торхов С.В. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск: ГУП «СОЛТИ», 2009. 244 с.
15. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской области и Республики Коми. Архангельск: ОАО ИПП «Правда Севера», 2012. 672 с.

СТАТЬИ

УДК 91:338.48:663.2(470.620)
DOI 10.17513/use.38085

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВИННОГО ТУРИЗМА И АНАЛИЗ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВИНОДЕЛЕН КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Волкова Т.А., Комаров Д.А., Максимов Д.В.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,
e-mail: mist-next4@inbox.ru*

На территории Краснодарского края растет количество виноделен, принимающих у себя туристов, активно развивается туристская инфраструктура на их территории, появляется большое количество маршрутов винного туризма, а винный туризм набирает свою популярность на российском и международном туристских рынках. Сегодня объекты винного туризма с большим желанием сотрудничают с курортной сферой края и составляют значительную ее часть. Посещение виноделен представляет собой не просто путешествие, это исключительное времяпрепровождение, особый вид эстетики и атмосферного неспешного отдыха. Целью исследования является оценка роли виноделен в развитии туризма на территории Краснодарского края. В рамках исследования подробно рассмотрены винные туристские маршруты различного масштаба, функционирующие на территории региона в рамках винного туризма. Проанализирована деятельность 60 виноделен Краснодарского края, проведена пофакторно-интегральная оценка по 13 критериям. Результаты анализа позволили рассмотреть возможности и потенциал каждого исследуемого винодельческого хозяйства Краснодарского края для развития винного туризма в разрезе муниципальных образований. Краснодарский край обладает довольно существенным потенциалом для организации и развития винного туризма – некоторые объекты отличаются крайне высоким уровнем развития винного туризма (Абрау-Дюрсо, Шато Пино, Шато Андре и др.), но в настоящий момент в крае во всех муниципальных образованиях развит на среднем уровне.

Ключевые слова: Краснодарский край, туризм, винный туризм, винодельни, винные маршруты, пофакторно-интегральная оценка, дегустация, уровень развития винного туризма

CURRENT STATE OF WINE TOURISM AND ANALYSIS OF TOURIST ACTIVITY OF WINE PRODUCTS IN KRASNODAR REGION

Volkova T.A., Komarov D.A., Maksimov D.V.

Kuban State University, Krasnodar, e-mail: mist-next4@inbox.ru

On the territory of the Krasnodar region, the number of wineries hosting tourists is growing, the tourist infrastructure is actively developing on their territory, a large number of wine tourism routes are appearing, and wine tourism is gaining its popularity in the Russian and international tourist markets. Today, objects of wine tourism are cooperating with great desire with the resort sector of the region and constitute a significant part of it. Visiting wineries is not just a journey, it is an exceptional pastime, a special kind of aesthetics and atmospheric unhurried relaxation. The purpose of the study is to assess the role of wineries in the development of tourism in the Krasnodar region. As part of the study, wine tourist routes of various sizes, operating in the region within the framework of wine tourism, are considered in detail. The activities of 60 wineries in the Krasnodar region were analyzed, a factor-integral assessment was carried out according to 13 criteria. The results of the analysis made it possible to consider the possibilities and potential of each studied winery in the Krasnodar region for the development of wine tourism in the context of municipalities. The Krasnodar region has a rather significant potential for the organization and development of wine tourism – some objects are distinguished by an extremely high level of development of wine tourism (Abrau-Dyurso, Chateau Pino, Chateau Andre, etc.), but at the moment in the region in all municipalities it is developed on middle level.

Keywords: Krasnodar region, tourism, wine tourism, wineries, wine routes, factor-integrated assessment, tasting, level of development of wine tourism

В последнее десятилетие виноделие России уверенно укрепляет свои позиции и развивается с форсированной скоростью. Сейчас оно вышло на мировую арену с новым громким именем, а российские винодельни появляются во все большем количестве винных карт заведений различного уровня, отмечаются престижными мировыми наградами и критиками. В связи с этим растет и количество виноделен, принимающих у себя туристов, активно развивается туристская инфраструктура на их террито-

рии, появляется большое количество маршрутов винного туризма, а винный туризм набирает свою популярность на российском и международном туристских рынках.

Степень научной проработанности выбранной темы в России на данный момент находится в процессе накопления теоретических и нормативно-правовых основ – в учебных пособиях и научных работах российских ученых винодельни как ресурс туризма начали появляться сравнительно недавно и пока что затронуты лишь поверхностно –

в настоящее время работы преимущественно освещают активный рост развития винного туризма и его дальнейшие перспективы, при этом почти полностью отсутствует понятийный аппарат винного туризма и почти не рассмотрена его ресурсная база.

На территории России виноградарство получило наибольшее распространение в основном в Южном федеральном округе, где площадь виноградников в плодоносящем возрасте составляет 56,2 тыс. га [1]. Если рассматривать данные на уровне федерации, подавляющую часть валового сбора винограда в России обеспечивают 5 регионов: Краснодарский край – 27% от всей площади виноградников, Республика Дагестан – 25,8%, Республика Крым – 20,1%, Ставропольский край – 5,3%, Ростовская область – 4,2%, а на оставшиеся регионы приходится 14,6% [2].

За последнее десятилетие развитие винного туризма в Краснодарском крае перешло от начальной стадии на стадию активного роста [3]. Сегодня объекты винного туризма Краснодарского края с большим желанием сотрудничают с курортной сферой края и составляют значительную ее часть. Так, Российским союзом туриндустрии по инициативе участников винной и туристической отраслей был создан отдельный комитет по винному туризму, в состав которой вошли руководители крупных туроператоров (Ривьера, Музенидис Трэвел и др.), виноделен (Абрау-Дюрсо, Фанагория и др.), представители медиа (МИЦ Известия, Simple Wine News и др.), федеральных структур и профессиональных ассоциаций (Роскачество, Союз виноградарей и виноделов России). Среди тем, поднимаемых комитетом: углубление взаимодействия винодельческой и туристической сфер, развитие межрегиональных проектов, развитие новых форматов событийного туризма (винные марафоны, фестивали), создание профстандартов и программы подготовки винных гидов, презентации винных туров для иностранных операторов, организация и проведение форумов по винному туризму и др.

Однако с развитием винного туризма на территории Краснодарского края пока не все так просто, существуют определенные проблемы, тормозящие процесс роста. Из видимых проблем яркой является транспортная логистика. В настоящее время добраться в Краснодарский край сложнее, чем раньше, что связано с большой загруженностью автотрасс и закрытием авиасообщения

на юге России, но тем не менее винодельни продолжают принимать большое количество туристов и популярность данных объектов только растет. В настоящее время объекты винного туризма, расположенные на территории региона, каждый год принимают у себя уже более 350 тыс. туристов.

В связи с тем, что винодельческие и виноградарские хозяйства напрямую относятся к объектам сельскохозяйственной отрасли, чаще всего винный туризм рассматривается как одна из составных частей сельского (аграрного) туризма, который представляет собой ознакомление с деятельностью сельскохозяйственных товаропроизводителей и участие в сельскохозяйственных работах. В частности, это связано с тем, что винные туристы посещают виноградники и могут принимать участие в сборе урожая или производстве вина. В 2022 г. в Государственную думу РФ был внесен законопроект № 149339-8 «О внесении изменений в Федеральный закон "О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации"» [4], целью которого было законодательно закрепить возможность предоставления услуг винного туризма.

В законопроекте предлагалось внесение изменения в Федеральный закон от 27.12.2019 № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» (далее – Федеральный закон), предусматривающего новое направление деятельности винодельческих хозяйств – осуществление деятельности по оказанию услуг в сфере винного туризма. При этом допускалась возможность размещения на земельных участках, включенных в Федеральный реестр виноградопригодных земель, объектов капитального строительства, некапитальных строений, сооружений, предназначенных для производства продукции виноделия, предоставления услуг винного туризма. К сожалению, указанный законопроект решением Комитета Государственной Думы по экономической политике был признан несоответствующим требованиям ч. 3 ст. 104 Конституции Российской Федерации и п. «д» ч. 1 ст. 105 Регламента Государственной Думы и в соответствии со ст. 107 Регламента Государственной Думы был возвращен сенаторам Российской Федерации – авторам законодательной инициативы.

Указанный законопроект определял винный туризм как «одно из направлений сельского туризма, предусматривающее посещение виноградарских и винодельческих хозяйств в целях отдыха, ознакомления с их

деятельностью или участия в сельскохозяйственных работах без извлечения материальной выгоды с возможностью предоставления услуг по временному размещению, организации досуга, экскурсионных и иных услуг». Следует отметить, что данное определение довольно узко сформулировано, ведь винный туризм более многогранный и имеет ярко выраженные черты и иных видов туризма: промышленного, культурно-познавательного, гастрономического, событийного.

В значительной степени развитие винного туризма тормозит почти полное отсутствие объектов размещения при винодельнях. Упомянутый выше законопроект [4], помимо введения понятий «винный туризм» и «объекты винного туризма», также предполагал закрепление возможности комплексного освоения земель винодельческих хозяйств, иными словами разрешения на строительство «объектов винного туризма» – зданий и сооружений, предназначенных не только для производства вина, но и для предоставления туруслуг, в том числе объектов размещения для туристов. Нельзя отрицать, что данный законопроект был направлен прежде всего в поддержку малого и среднего бизнеса, в том числе микровиноделен, ведь по закону агротуризмом можно заниматься только на территории виноградников от 10 га, законопроект же предусматривал пересмотр определения площади виноградников относительно площади строений. Из 28 тыс. га земли под виноградники, микровинодельни сейчас контролируют менее 2 тыс. га.

Посещение виноделен представляет собой не просто путешествие, это исключительное времяпрепровождение, особый вид эстетики и атмосферного неспешного отдыха. На сегодняшний день помимо ознакомления с производственными моментами изготовления вина и прогулок по виноградникам объекты винного туризма активно стали развивать туристскую инфраструктуру и уже предлагают большой пакет туруслуг, включающий рестораны с изысканными гастрономиями, мастер-классы, разного рода мероприятия, фестивали и многое другое. Развивая у себя данное направление, винодельни не только стимулируют количество посетителей в межсезонье и низкий сезон, но также дают толчок к развитию для всей винодельческой отрасли.

Целью исследования является оценка роли виноделен в развитии туризма на территории Краснодарского края.

Материалы и методы исследования

Информационная база исследования – материалы аналитических центров, государственной статистики, законодательные акты, исследовательские отчеты. Методы исследования: анализ научно-методических источников, внутренней документации экономики РФ, обобщение теоретического материала, анализ статистических данных, по-факторно-интегральная оценка.

Результаты исследования и их обсуждение

Сегодня в России в целом и на территории Краснодарского края в частности уже получили свое развитие винные туристские маршруты в рамках винного туризма. Есть как небольшие маршруты для самостоятельных туристов или тех, с которыми работают туроператоры, так и крупные региональные и межрегиональные проекты России, такие как «Винные дороги Краснодарского края» или «Винные дороги Боспорского царства». На сайте tourist.wine представлены несколько специально разработанных однодневных маршрутов для самостоятельных туристов, которые предусматривают посещение виноделен с ее объектами показа и специфическими услугами, а также достопримечательности и разнообразные точки питания (от бургерных до ресторанов) рядом с ними. Например, однодневные маршруты «Винная Анапа», «Голубицкая Стрелка», «Тамань», «Фанагория и Узунов», «Вино, пицца, улитки» и др. Последний маршрут из перечисленных включает в себя посещение кафе, двух виноделен, пивоварни и экофермы.

Если говорить об организованном винном туризме, то многие локальные и крупные российские туроператоры предлагают однодневные или многодневные программы туров с посещением одной или нескольких виноделен Краснодарского края. Из крупных игроков рынка среди них, например, Алеан, Fun&Sun, Музенидис Трэвел, Simple Travel. Из локальных туроператоров Краснодарского края – Амра Туристик, ЭОС, Ривьера Сочи, Командор, Меридиан и др. Также в Краснодаре был создан проект Бюро «Винные истории», которое в сотрудничестве с туроператорами и турагентами России также занимается организацией винных туров, мероприятий для виноделов, специалистов отрасли и простых любителей вина.

Немаловажно отметить работу винных гидов – дипломированных экспертов, в сопровождении которых можно не только организовать индивидуальную программу

по винодельням различных регионов России, но и попасть на эксклюзивные экскурсионно-дегустационные программы виноделен, закрытых для обычных посетителей. В список винных гидов Краснодарского края входят: Валерия Иванникова, Елена Милостьянова, Марианна Литвинская, Сергей Евмененко, Гертруда Кузнецова, Дарья Безрукова, Екатерина Емельянова, Владимир Шатько, Ольга Заварухина и др. На сегодняшний день функционируют как минимум пять крупных российских туристических винных маршрутов регионально и межрегионального масштаба (табл. 1).

Первым крупным проектом подобного плана, реализованным на территории Краснодарского края, стал винный маршрут «Янтарная лоза». Данный маршрут был создан Министерством курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края в 2017 г. Маршрут проходит через Новороссийск, Анапу и Темрюкский район и включает в себя посещение семи объектов, это центр винного туризма Абрау-Дюрсо, Усадьба Семигорье, Владимирская усадьба, винодельческий дом Каракезиди, Винное подворье старого грека, а также Кубань-Вино и Фанагория.

В рамках национального проекта «Международная кооперация и экспорт» Ассоциацией агротуризма Краснодарского края в 2019 г. был создан еще один краевой винный маршрут, который получил яркое название «Хвала Вину». Маршрут проходит по винодельням Новороссийска и Темрюкского района, а его протяженность составила 240 км. В данный маршрут входит посещение девяти площадок, пять из которых – винодельческие хозяйства. Среди них Шато Пино, центр винного туризма Абрау-Дюрсо, Поместье Голубицкое, Кубань-Вино и винодельня Нестеров.

Первым же крупным межрегиональным винным маршрутом стали «Винные дороги Боспорского царства». Данный маршрут был создан в 2019 г. как отдельное направление в рамках межрегионального туристического маршрута «Золотое кольцо Боспорского царства», разработанного совместными усилиями Министерства курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края и Русского географического общества [6]. Он объединил в себе культуру и историю виноделия в трех регионах России. Маршрут проходит от Севастополя по Крыму через Кубань до устья Дона в Ростовской области. Всего в маршруте сейчас предусмотрено порядка 30 экскурсионных объектов показа, каждый из которых в своем стиле представляет историю развития виноделия и виноградарского дела в своем регионе. В данный перечень входят как уже набравшие популярность крупные предприятия, так и небольшие производители авторских вин, 14 из которых находятся в Краснодарском крае. В крае в данный маршрут входят следующие винодельни: Абрау-Дюрсо, Фанагория, Шато Пино, Мысхако, Винное подворье старого грека, Марьиная усадьба, Кубань-Вино, Поместье Голубицкое, Долина Лэфкадия, Имение Сикоры, Шато де Талю, комплекс Винотерия (винодельня Нестеров), Южная винная компания, Мильстрим. Артефакты античного виноделия, в частности в таких крупных локациях, как Фанагория и Гермонасса (Тамань) в Краснодарском крае, свидетельствуют о высоком уровне местной культуры производства и потребления вина в античное время. Данный маршрут в проекте «Золотое кольцо Боспорского царства» позволил создавать комплексные межрегиональные турпродукты и начать позиционировать Россию как один из мировых центров античной и винной культуры.

Таблица 1

Крупные винные маршруты

№	Название маршрута	Год	Кем разработан маршрут
1	«Янтарная лоза» (160 км)	2017	Министерство курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края
2	«Хвала Вину» (240 км)	2019	Ассоциация агротуризма Краснодарского края
3	«Винные дороги Боспорского царства»	2019	Министерство курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края и Русское географическое общество
4	«Винные дороги Краснодарского края» (528 км)	2022	Министерство курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края [5]
5	«К виноградникам у моря»	2023	ООО «РЖД Тур»

Примечание: составлено авторами.

Более свежим и интригующим турпродуктом является новый круглогодичный туристический маршрут «Винные дороги Краснодарского края», который был разработан и утвержден в 2022 г. Министерством курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края в рамках национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства». Авторы проекта выделили 20 виноделен края. В данный маршрут входят следующие винодельни края: Винное подворье старого грека, Винная деревня, Семейная винодельня Литавщук, Скалистый берег, Шумринка, Шато де Талю, Шато Андре, Gunko Winery, Долина Лефкадия, Шато Пино, Имение Сикоры, Мысхако, Тристория, Абрау-Дюрсо, Совер Баш, Фанагория, Suhov Winery, Поместье Голубицкое, Шато Тамань, Южная винная компания. Маршрут «Винных дорог» берет свое начало в Анапе, далее продолжается на Тамани («Шато Тамань») и в Голубицкой («Поместье Голубицкое»), а затем через поселок Сенной («Фанагория») и село Молдавское («Долина Лефкадия») движется в сторону Новороссийска («Абрау-Дюрсо» и «Шато Пино»), заканчивается маршрут в Геленджике («Шато де Талю»). Общая протяженность маршрута составляет 528 км. Продолжительность от нескольких дней до недели. Всего в «Винных дорогах» насчитывается порядка 200 объектов, включая средства размещения, агротуристические и винные комплексы, точки питания, исторические объекты. Соответственно предусмотрено различное комбинирование туров «проживание + питание + экскурсии» в зависимости от конкретных запросов и интересов туристов. Следует отметить, что авторы проекта старались разработать маршрут для максимально широкой целевой аудитории, поэтому на маршруте также фигурируют детские программы и развлечения. Одной из ключевых целей создания данного маршрута является цель привлечь внимание к возрождающемуся отечественному виноделию, узнать, как делают российское вино, которое получает все большее признание на международном рынке, а также для того чтобы с другой стороны оценить историко-культурную и природную специфику Краснодарского края.

В феврале 2023 г. также был анонсирован новый проект винного туризма, запуск которого планируется летом 2023 г. – новый туристический маршрут по Краснодарскому краю – туристический поезд «К винограду к морю». Данный пятидневный

маршрут, связывающий Москву и приморские районы Краснодарского края – Тамань и Новороссийск, предоставит туристам возможность познакомиться с местными культурно-историческими и природными достопримечательностями и посетить обзорные экскурсии, дегустации и мастер-классы по ходу маршрута. В маршрут входят посещение комплексов: Шато Тамань, Кубань-Вино, Фанагория, Мысхако, Шато Пино, центр винного туризма Абрау-Дюрсо. Планируется, что данный поезд будет совершать регулярные рейсы весь летний сезон.

Таким образом, можно отметить, что значительный потенциал в области российского виноделия и винного туризма уже замечен туристической отраслью и в будущем данное направление будет получать еще большее продвижение, а винный туризм имеет все шансы стать новой точкой роста и развития не только юга России, но и страны в целом.

В рамках исследования были проанализированы туристские ресурсы 60 виноделен Краснодарского края. Анализ проводился по следующим показателям: проведение дегустаций, наличие винотеки (фирменного магазина) на территории объекта, проведение экскурсий, наличие официального сайта и возможности забронировать посещение онлайн, возможность посещения объектов и их программ с детьми, ценовая категория на экскурсии и дегустации, также были рассмотрены возможность размещения и организации питания, наличие объектов аграрного туризма, музеев, проведение событийных мероприятий и мастер-классов, возможности интерактивного вовлечения туристов в сельскохозяйственные работы, а также были рассмотрены некоторые отличительные особенности изучаемых объектов.

Дегустация наравне с экскурсией по винодельческому комплексу и посещением фирменного магазина является основным продуктом, который винодельня может предложить туристам. Как правило, посещение винодельни начинается с экскурсии по комплексу, затем плавно перетекает в дегустацию вин и заканчивается посещением винотеки. Экскурсия проводится в сопровождении подготовленного профессионала – гида-экскурсовода, который обзорно рассказывает о создании данного предприятия и его концепции, о размере виноградников и специфике их терруара, также, если экскурсия включает посещение производственных цехов, гид доступно объясняет

туристам основы производственного процесса изготовления вина от лозы до розлива по бутылкам. Далее экскурсии могут варьироваться в зависимости от инфраструктуры и туристского предложения каждой конкретной винодельни. В настоящее время 46 из 60 изучаемых виноделен уже проводят у себя экскурсии для туристов.

Однако пока не у всех виноделен есть программы для приема туристов, некоторые готовы уделять время только профессионалам рынка и партнерам, а кто-то в целом пока закрыт для посещения, как Шато ле Гран Восток, Винный дом Бюрнье, Мезыбь, Криница, Усадьба Дивноморское и Галицкий и Галицкий. Такие объекты, хоть и не принимают у себя туристов, часто устраивают мероприятия и дегустации в Москве, Санкт-Петербурге и некоторых других городах, а также были признаны за рубежом и отмечены международными наградами. Данные винодельни с точки зрения туризма можно рассматривать как перспективные.

Чаще всего посещение винодельни представляет собой экскурсионно-дегустационный тур, соответственно, дегустация в данном случае является важным продолжением экскурсии, иногда сразу являясь частью комплексного экскурсионного продукта, а не отдельным предложением. Хотя дегустации пользуются даже большим спросом у туристов и не проводятся лишь в 12 из 60 объектов. Винотеки же в свою очередь отсутствуют лишь у 7 из изучаемых объектов.

Стоит отметить, что, несмотря на то, что многие из представленных виноделен проводят экскурсии и дегустации, далеко не все из них имеют туристскую инфраструктуру и представляют туристу качественный тур-продукт. У микровиноделен часто это происходит в формате «камерного мероприятия» и включает в себя рассказ о своем предприятии от самих ее владельцев, которые и проводят дегустации и экскурсии, когда позволяет время. Соответственно, посещение таких объектов, как правило, не проводится постоянно, а только в свободные от основной работы дни и ограничивается 5–10 туристами за раз, по предварительной записи.

Стоимость экскурсий и дегустаций сильно варьируется от бесплатного посещения, как в семейной винодельне-музее «Бабушкина Хата», до индивидуальных эксклюзивных программ за 350 тыс. руб. в Шато Пино. Средняя стоимость групповой экскурсии 1000–1500 руб. с чел. За индивидуальную программу в группе

до 5 чел. средняя стоимость экскурсии составляет 5000–10000 руб. Стоимость дегустаций на винодельнях зависит от выбранного винного сета (базовые, премиальные, резервные линейки вина) и варьируется в среднем от 1000–3000 руб. с чел. Стоит отметить, что на микровинодельнях цены более демократичные.

Продолжительность экскурсии в среднем составляет от 1 до 3 ч в зависимости от предлагаемой или выбранной программы.

С появлением различных сервисов большинство людей предпочитают не звонить, а забронировать посещение на туристский объект онлайн на сайте. С точки зрения клиента это связано с желанием сэкономить время, когда можно увидеть все возможные варианты для посещения и выбрать для себя наиболее подходящий, а с точки зрения организации сократятся неязки благодаря системе оповещения, будет формироваться клиентская онлайн-база, которую можно использовать для рассылки об актуальных программах и акциях и др. К сожалению, на сегодняшний день сайты официальные сайты есть не у всех из представленных виноделен и лишь немногие из них, 9 из общего количества изучаемых (Фанагория, Абрау-Дюрсо, Шато Пино, Мысхако, Шато де Талю, Гай-Кодзор, Имение Сикоры, винодельня Нестеров и Сухая гора), технически могут это устроить, в большинстве случаев все еще нужно бронировать по телефону или через заявку на сайте (форма обратной связи). Вариативность бронирования посещения виноделен представлена на рис. 1.

Важной частью целевой аудитории посетителей виноделен являются люди 35+, которые подстраивают свои путешествия под каникулы детей и путешествуют вместе с ними, поэтому часто встает вопрос возможности посещения виноделен, в частности экскурсий и дегустаций, вместе с детьми. Некоторые винодельни придерживаются политики посещения с возрастным ограничением. Но в большей части объектов посещение с детьми разрешено, за исключением непосредственной дегустации, когда дети в дегустационный зал не допускаются. На данный момент не везде предусмотрена детская комната, в которой дети смогут подождать своих родителей, что также является определяющим фактором для посещения данного объекта с приобретением полного пакета услуг. К примеру, на винодельне Фанагория дети до 14 лет на территорию винодельни не допускаются, а с 14 лет только в сопровождении взрослых.

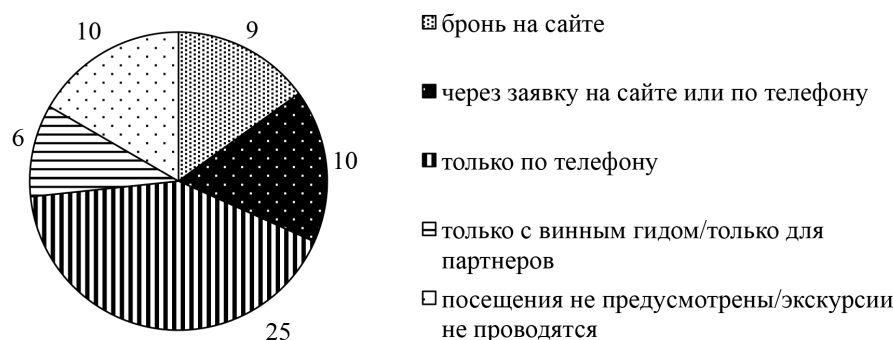


Рис. 1. Вариативность бронирования посещения виноделен Краснодарского края
Источник: составлено авторами

На винодельнях Мысхако и Имение Сикоры действует уже более строгое ограничение 18+. Хорошим примером проработки туристского продукта на целевую аудиторию с детьми является детская программа «Прогулка с эльфом по лесному королевству» на винодельне Шато Пино или Кукольный театр для детей в Детском центре Abrau Junior от Abrau-Дюрсо.

Таким образом, «базовый турпродукт» при посещении виноделен включает в себя обзорную экскурсию по территории винодельни, виноградникам и производству (может меняться в зависимости от внутренних правил винодельни), дегустации линейки собственной продукции, а также посещения фирменного магазина-винотеки с возможностью приобрести и увезти с собой уникальную продукцию. По такой схеме действует большая часть виноделен Краснодарского края.

Далее турпродукт винного туризма уже обрастает дополнительными программами, услугами, объектами в зависимости от того, что может предложить винодельня. Одним из основных вопросов у туристов после экскурсионно-дегустационной программы является возможность размещения. Это связано с востребованностью туров с ночевками, которые дают возможность погрузиться в эту уникальную атмосферу и никуда не торопиться. Немногие винодельни имеют собственную гостиницу и могут закрыть данную потребность туристов. Однако даже у небольших объектов на винной карте края присутствуют малые средства размещения – мини-отели и гостевые дома, в среднем до 20 номеров, где туристы смогут остановиться по предварительному бронированию. Данный вопрос крайне актуален, но развитие гостиничной инфраструк-

туры, как уже упоминалось, пока сильно затруднено в связи с действующим законодательством. В настоящее время менее четверти всех виноделен (14 из 60 объектов) могут предложить гостям остановиться в собственном отеле. Лидером по данному показателю является Abrau-Дюрсо, в комплекс которого входят 7 средств размещения, включая туристический лагерь, авто-и экокемпинги, базу отдыха, усадьбу «Круглое озеро», бутик-отель «Империял» и четырехзвездочный отель Abrau Light Resort & SPA. Собственные гостиницы есть также у таких виноделен, как Шато Пино Порт Запад и Порт Восток, у Фанагории, гостевой дом на 14 номеров в Долине Лефкадия, мини-отель на 8 номеров в комплексе Винотерия и др. Понимая всю актуальность данного вопроса, многие винодельни, особенно крупные, уже сейчас планируют в скором времени открыть собственную гостиницу на своей территории. Так, например, одним из долгосрочных проектов винодельни Шато де Талю является создание SPA-отеля примерно на 60 номеров.

Важным элементом турпродукта винного туризма также является организация питания на территории объектов, где помимо кухни можно насладиться винами с местной винодельни. К ним могут относиться как микроточки по типу «кафе» или «бистро», так и полноценные рестораны с высокой авторской кухней. Точки питания на данный момент присутствуют в 26 из 60 исследуемых объектов. Как и в предыдущем пункте, рекордсменом является Центр винного туризма Abrau-Дюрсо, который имеет на своей территории 14 разнообразных точек питания, включая столовую, кофейню, пекарню, кондитерскую, фудкорт, бар, кафе и рестораны. Уникальным предложе-

нием выделяются, например, Шато Пино с блюдами из улиток с собственной улиточной фермы (улиточное мороженое и др.), Шато де Талю с утонченной французской и локальной черноморской кухней или Villa Aristov со своим гастромоллом.

Объекты аграрного туризма, имеющие у 18 из 60 исследуемых виноделен, также являются дополнительными магнитами для туристов. К ним относятся, например, вышеупомянутая улиточная ферма, собственная пасека и небольшой питомник для птиц в Шато Пино, животноводческая или органическая фермы, питомники, пасеки как в Шато Андре, Николаев и сыновья, Долине Лефкадия, сыроварне в Тристории или Усадьбе Семигорье, питомнике виноградных саженцев в Шато Тамань и др.

Также классическим дополнением турпродукта является музей на территории винодельни: при этом он может быть как посвящен истории виноделия и виноградарства края, со старинными артефактами, бутылками вина, винными погребами, как в «Абрау-Дюрсо», «Марьиной Усадьбе» или «Винном подворье старого грека», так и быть современным музеем искусства с тематическими и временными выставками, как, например, в «Поместье Голубицком» или digital музее в Центре энологического туризма Villa Aristov и др. Музеи присутствуют в 22 из 60 виноделен, как правило в крупных.

Привлекательными для туристов являются также тематические мероприятия и мастер-классы, проводимые на винодельнях. Мероприятия могут быть как «камерные» с эксклюзивным предложением, так и могут носить масштабный характер праздников и фестивалей. В настоящее время на винодельнях проводятся события разного формата: свадьбы, корпоративные и MICE-мероприятия, выставки художественного искусства, показы фильмов, показы мод, фотосессии, пикники на виноградниках, йога и другие активные виды отдыха, квесты, музыкальные концерты, театральные перформансы, более тематические мероприятия, такие как винное казино, нос сомелье, винные ванны, мастер-классы по рисованию вином, фестивали сбора урожая и др. Тематика зависит в первую очередь от степени консервативности виноделен и от масштаба, с которым они хотят и способны работать. На текущий момент лишь 31 из 60 изучаемых объектов может предложить туристу посещение разнообразного формата и характера мероприятия

сверх «классических туров». Примерами мероприятий могут послужить пикники на виноградниках, мастер-классы по гастрономии или рисованию вином в Шато де Талю, веломаршруты, пикники на озере, рыбалка или полеты на воздушном шаре в Долине Лефкадия, проведение велопробегов на винодельне Гунько, йога и прогулка на лошадях или квест «Сокровища Боспора» в Марьиной Усадьбе и др. Из крупных мероприятий, например, можно выделить парусные регаты в Абрау-Дюрсо, ежегодный Фестиваль молодого вина в Шато Пино или Фанагорию, которая уже несколько лет подряд устраивает «Сочные забеги» по виноградникам Тамани, а в «Винной деревне» ежегодно проводятся такие праздники и мероприятия, как «Фестиваль сыра», «Фестиваль музыки», «Праздник сбора винограда» и др.

Также одним из критериев оценки виноделен в данном анализе был критерий возможности интерактивного вовлечения туристов в сельскохозяйственные работы. Данный пункт включает в себя, например, привлечение туристов к сбору урожая или предоставление возможности приготовления вина. Из 60 исследуемых объектов только 18 дают туристам подобным образом приобщиться к культуре виноделия. Чаще всего подобная услуга представляет собой возможность для туристов принять участие в сборе урожая в осенний период. Помимо этого в данную программу может входить помощь в приготовлении вина, давка винограда ногами и др. Например, ежегодно осенью «Винный дом Каракезиди» устраивает праздник, во время которого мужчины в огромном чане традиционно ногами давят виноград, из которого закладывается так называемое «вино дружбы». Сюда же можно отнести уроки гаражного виноделия с частичным или полным погружением с виноделами «Усадьбы Семигорья». Также интересное предложение имеется у винодельни «Шато Пино»: в их перечне турпродуктов есть экскурсионная программа «Прогулка в облаках». Она включает в себя мастер-класс «Как правильно собирать виноград», пикники, дегустации и фотосессия для социальных сетей. Особенность данной программы в том, что через год туристам отправят уникальную именную бутылку вина, сделанную из винограда, который они собирали.

Также были рассмотрены отличительные особенности объектов – то, что выделяет данный объект среди остальных.

Такие туристские достопримечательности могут принимать разные формы, начиная от уникальных интерьеров или локаций для фото, особенных зон отдыха, выдающихся коллекций или эксклюзивных услуг. Так, например, в Поместье Голубицком такими особенностями выступают современные дизайнерские интерьеры наравне со старинным маяком со смотровой площадкой на крыше, в Фанагории – это единственный в России собственный бондарный цех, а также гончарная мастерская, где для эксклюзивной продукции делают древнегреческие амфоры, килики и бочонки. На винзаводе Саук-Дере – это легендарные подвалы и система винных галерей, на винодельне Нестеров – уникальный кулинарный театр под открытым небом, а в Долине Лефкадия

такой особенностью является, например, полет на воздушном шаре и др.

Для общей оценки уровня развития туризма на объектах винного туризма Краснодарского края были отобраны 13 критериев, а за каждый критерий относительно качественных показателей максимально может быть начислен 1 балл, минимально – 0 баллов (табл. 2).

Всего было проанализировано 60 объектов. Объекты, набравшие от 0 до 4 баллов, были отнесены к объектам с низким уровнем развития туризма или тем, где развитие отсутствует, объекты, набравшие от 5 до 9 баллов, – к объектам со средним уровнем развития, от 10 баллов и выше – к объектам с высоким уровнем развития. Результаты оценки уровня развития представлены на рис. 2 и 3.

Таблица 2

Критерии оценки уровня развития винного туризма (составлено авторами)

№	Критерий оценки	Оценка	Качественные показатели	Балл
1	Проведение дегустаций	Оценка наличия дегустационных залов и проведения дегустаций	проводятся	1
			не проводятся	0
2	Фирменный магазин (винотека)	Оценка наличия фирменного магазина (винотеки) на территории комплекса	есть	1
			нет	0
3	Экскурсии	Оценка экскурсионной деятельности	проводятся	1
			не проводятся	0
4	Официальный сайт	Оценка наличия собственного официального сайта	есть	1
			нет	0
5	Возможность забронировать экскурсию на сайте	Оценка возможности забронировать посещение на сайте	есть	1
			нет	0
6	Посещение с детьми	Оценка возможности посещения объекта с детьми	возможно	1
			невозможно	0
7	Возможность размещения туристов	Оценка возможности размещения туристов на территории объекта	есть	1
			нет	0
8	Организация питания	Оценка возможности организации питания на территории объекта	есть	1
			нет	0
9	Наличие объектов аграрного туризма	Оценка наличия объектов аграрного туризма на территории	есть	1
			нет	0
10	Наличие музея	Оценка наличия музея на территории объекта	есть	1
			нет	0
11	Проведение событийных мероприятий, мастер-классов	Оценка проводимых на территории объекта событийных мероприятий, мастер-классов	проводятся	1
			не проводятся	0
12	Возможность интерактивного вовлечения в сельскохозяйственные работы	Оценка возможности интерактивного вовлечения туристов в сельскохозяйственные работы	возможно	1
			невозможно	0
13	Отличительные особенности	Оценка наличия отличительных особенностей у объекта	есть	1
			нет	0

Примечание: составлено авторами.

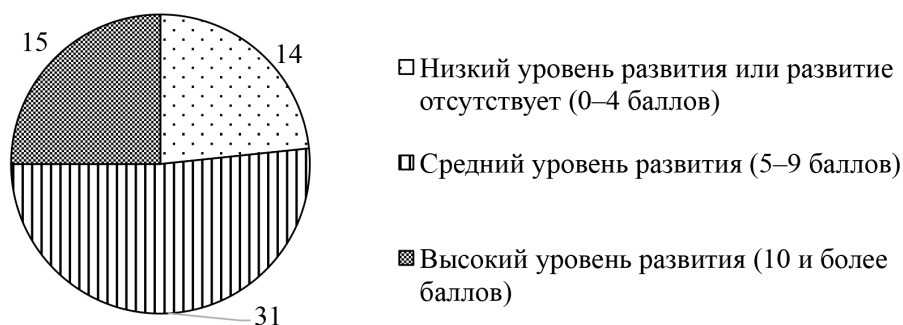


Рис. 2. Оценка уровня развития туризма на винодельнях Краснодарского края
 Источник: составлено авторами

Таблица 3

Уровень развития винного туризма в Краснодарском крае в разрезе МО

№	Муниципальное образование	Средний балл по группе объектов МО по развитию туризма	Уровень развития туризма
1	ГО Сочи	9	средний
2	ГО Новороссийск	8,4	средний
3	МО Темрюкский район	8,1	средний
4	МО Северский район	7,5	средний
5	ГО Анапа	6,4	средний
6	МО Крымский район	6,1	средний
7	ГО Геленджик	4,3	низкий
8	ГО Краснодар	2,5	низкий

Примечание: составлено авторами.

Винодельнями – лидерами по развитию туризма в данном перечне стали Центр винного туризма Абрау-Дюрсо, Шато Пино, Шато Андре – они набрали максимальное из возможных количество баллов. Винодельческий дом Каракезиди, винодельня Нестеров и Долина Лефкадия набрали 12 баллов – из-за отсутствия музея (винодельня Нестеров) или возможности забронировать посещение онлайн. В группу объектов с высоким уровнем развития туризма вошло всего 15 объектов (25% от всех объектов).

Группа со средним уровнем развития туризма является самой многочисленной – в нее входит 31 объект (51,6% от всех объектов). Как правило, объекты данной группы могут предложить туристам классические турпакеты, включающие в себя посещение дегустации, экскурсии, винотеки. Услуги по организации питания и размещения в данных объектах чаще всего не предполагаются.

В группу с низким уровнем развития вошли 14 объектов (23,4% от всех: винодельческий дом Бюрнье, Fervino, Усадьба

Дивноморское, Криница и др.). Туристская деятельность во многих объектах из данного перечня отсутствует, но есть также объекты, закрытые для массового посещения – если экскурсионно-дегустационные посещения и проводятся, то только для партнеров, специалистов отрасли и частных посетителей с винным гидом.

Для оценки развития винного туризма в крае в разрезе муниципальных образований проведем расчеты среднего балла по каждой группе объектов. Исходя из полученных результатов, представленных в табл. 3, видно, что показатели развития винного туризма в Краснодарском крае находятся на среднем уровне (5–9 баллов) во всех муниципальных образованиях, за исключением ГО Геленджик и Краснодар, где наблюдается низкий уровень развития.

Данный анализ позволил рассмотреть возможности и потенциал каждого исследуемого винодельческого хозяйства Краснодарского края для развития винного туризма.

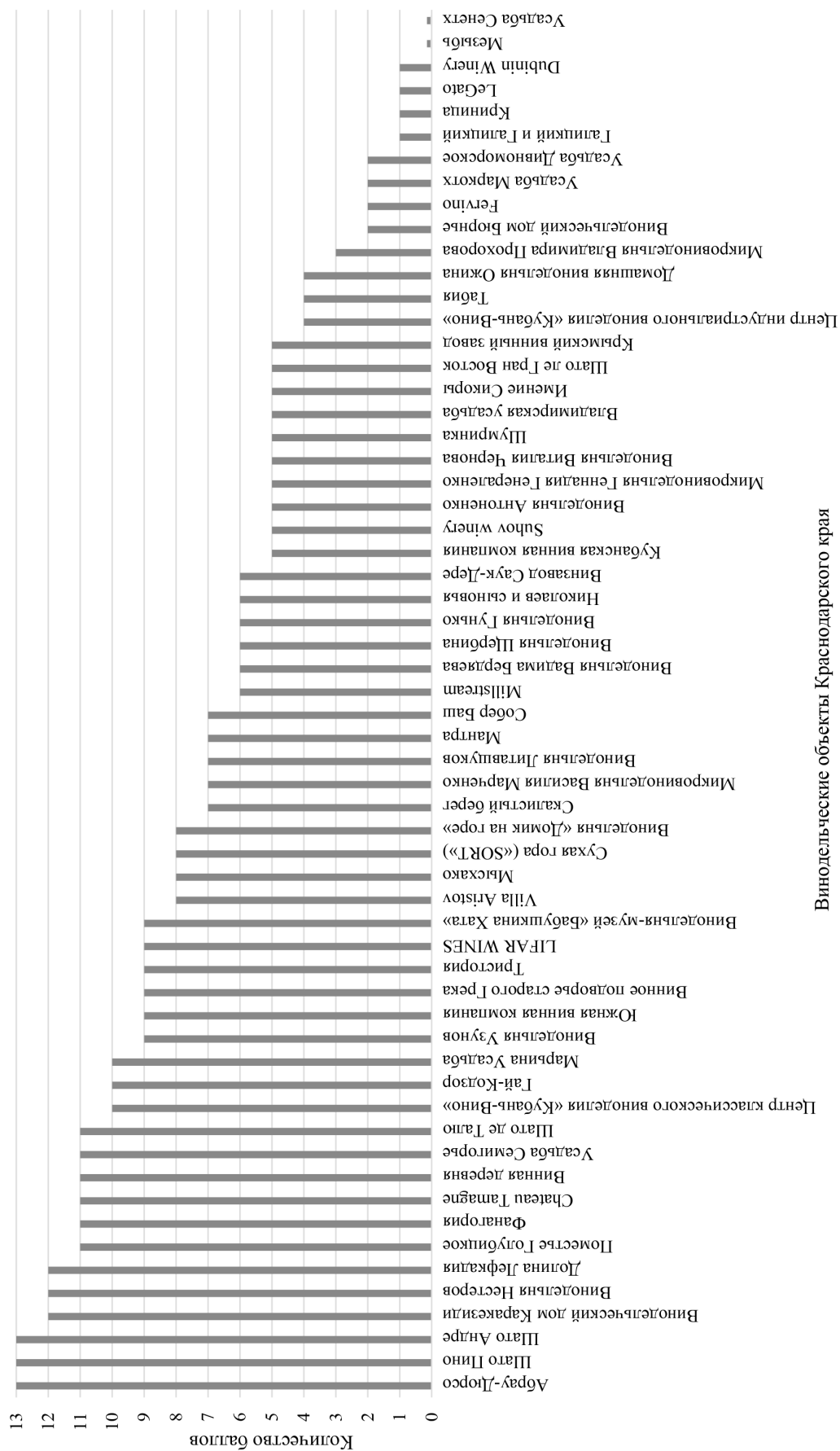


Рис. 3. Рейтинг винодельческих объектов Краснодарского края по уровню развития винного туризма
 Источник: составлено авторами

Около четверти всех объектов в настоящий момент не готовы принимать у себя туристов, а более половины объектов находятся на среднем уровне развития винного туризма. Основными факторами, которые тормозят развитие винного туризма, являются отсутствие туристской инфраструктуры (средств размещения, объектов организации питания и др.) и необходимость больших затрат на ее формирование. Таким образом, из проведенного анализа можно сделать вывод, что Краснодарский край обладает довольно существенным потенциалом для организации и развития винного туризма – некоторые объекты отличаются крайне высоким уровнем развития винного туризма (Абрау-Дюрсо, Шато Пино, Шато Андре и др.), но в настоящий момент в крае во всех муниципальных образованиях он развит на среднем уровне. Лидирующее место по суммарному туристскому потенциалу занимают объекты ГО Новороссийска и МО Темрюкского района. Следует уточнить, что, несмотря на показатель в табл. 2, необъективно присваивать ГО Сочи лидирующую позицию по развитию винного туризма, так как в МО расположен всего один объект винного туризма.

Заключение

В настоящее время существует множество видов туризма, но, так как наука о туризме достаточно молода, а туристская отрасль очень динамична, она как меняется под спрос, так и формирует новые виды в связи с научно-техническим развитием и развитием общества, не все дефиниции прописаны в нормативно-правовой базе и не все из них одинаково рассматриваются учеными, в частности слабо рассмотрен «винный туризм». Весь комплекс туристских ресурсов отечественными исследователями традиционно рассматривается с позиции деления на три укрупненные группы: природные, культурно-исторические и социально-экономические ресурсы. Именно туристские ресурсы имеют первостепенное значение при организации туризма – они составляют основу успешного развития туризма, определяют специфику его развития в каждом конкретном регионе и служат мощным фундаментом для производства туристского продукта любого вида туризма.

В данном исследовании винный туризм рассмотрен как специализированный вид туризма, основанный на сельском, промышленном, культурно-историческом, гастрономическом и событийном видах туризма,

который предусматривает посещение виноградарских и винодельческих хозяйств в целях отдыха, ознакомления с их деятельностью и спецификой технологических процессов, а также с историко-культурными особенностями региона и для участия в сельскохозяйственных работах без извлечения материальной выгоды с возможностью предоставления услуг по временному размещению, организации досуга, экскурсионных и иных услуг.

Краснодарский край, как регион с богатыми наследием и традициями виноделия и потребления вина, имеет также большую базу культурно-исторических ресурсов, которые активно транслируются винодельческими хозяйствами, включающими в экскурсии по своим комплексам историко-культурные аспекты и имеющими на своей территории исторические здания, сооружения и памятники культуры; культурными центрами («Марьяна Усадьба» и др.), краеведческими и археологическими музеями («Античная Горгиппия» и др.), тематическими музеями истории виноделия (Музей античного виноделия в «Абрау-Дюрсо» и др.), которые проводят интерактивные выставки и имеют инсталляции с большими коллекциями артефактов виноделия. Край также богат на социально-экономические ресурсы, необходимые для развития данного направления, и включает в себя большую базу информационных ресурсов (официальные сайты и социальные сети виноделен, сайты официальных федеральных и региональных структур, туристические порталы, специализированные издания и блоги и пр.), разработанных винных маршрутов для самостоятельных и организованных групп туристов («Винные дороги Краснодарского края» и др.), трудовых (туроператоры, менеджеры по туризму, гиды-экскурсоводы, винные гиды и пр.) и образовательных ресурсов (университетов с профильными направлениями образования, курсов сомелье и школ вина и пр.), всех управленческих и финансовых (доходы от туризма, инвестиции, гранты, собственные средства и пр.) ресурсов данной сферы. Помимо этого огромную роль играет материально-техническая база (винодельческие предприятия, виноградники и пр.) и туристская инфраструктура региона (средства размещения, объекты питания и др.). Соответственно, Краснодарский край в силу своего природного богатства и уникальных физико-географических условий, культурно-исторического наследия, развитых социально-экономических

ресурсов имеет всю совокупность туристских ресурсов, необходимых для развития винного туризма на своей территории.

В рамках анализа винного туризма Краснодарского края в целом было рассмотрено его современное состояние и проблемы развития, а также созданные на территории региона винные маршруты. Углубленно были исследованы сведения по 60 винодельням Краснодарского края и по развитию туризма на них. На основе этих данных также была проведена пофакторно-интегральная оценка уровня развития винного туризма Краснодарского края в разрезе муниципальных образований, что позволило рассмотреть возможности и потенциал каждого исследуемого винодельческого хозяйства региона для развития винного туризма. Около четверти всех объектов в настоящий момент не готовы принимать у себя туристов, а более половины объектов находятся на среднем уровне развития винного туризма. Основными факторами, которые тормозят развитие винного туризма, являются отсутствие туристской инфраструктуры (средств размещения, объектов организации питания и др.) и необходимость больших затрат на ее формирование. Из проведенного анализа видно, что Краснодарский край обладает довольно существенным потенциалом для организации и развития винного туризма – некоторые объекты отличаются крайне высоким уровнем развития винного туризма (Абрау-Дюрсо, Шато Пино, Шато Андре и др.), но в настоящий момент в крае во всех МО он развит на среднем уровне. Лидирующее место по суммарному туристскому потенциалу занимают объ-

екты ГО Новороссийска и МО Темрюкского района.

Современное состояние туристской отрасли на территории Краснодарского края, в частности развитие винного туризма, позволяет говорить о том, что существующие винодельни, от малых форм хозяйствования до крупных агротуристических комплексов, расположенные в различных МО края, являются полноценными ресурсами развития туристской деятельности как винного туризма, так и туризма в целом.

Список литературы

1. Жуковская И.Ф., Овчинников А.Ю. Энотуризм в России: новые вызовы и новые возможности в развитии сельскохозяйственных территорий и виноделия // *Modern economy success*. 2022. № 5. С.157–163.
2. Нагорных И.К. Комплексный анализ развития отрасли виноградарства и виноделия в России // *Менеджмент в АПК*. 2021. № 4. С. 21–29.
3. Волкова Т.А. Гастрономический и эногастрономический туризм: особенности и региональное развитие на примере Краснодарского края // *География и туризм*. 2021. № 2. С. 60–65.
4. Законопроект № 149339-8 «О внесении изменений в Федеральный закон «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» // СОЗД ГАС «Законотворчество»: официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/149339-8> (дата обращения: 10.01.2023).
5. Приказ Министерства курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края «Об утверждении Доклада о результатах за 2018 год и основных направлениях деятельности министерства курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края на 2019–2022 годы» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561683538?section=text> (дата обращения: 10.06.2023).
6. Золотое кольцо Боспорского царства // ВОО «Русское географическое общество». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rgo.ru/ru/krasnodarskoe-regionalnoe-otdelenie/proekty/zolotoe-kolco-bosporskogo-carstvat> (дата обращения: 10.06.2023).

УДК 504.53:911.2:574
DOI 10.17513/use.38086

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОСТРОВАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Киселёва А.Г., Пшеничникова Н.Ф., Родникова И.М.

*ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: alena_kiseleva@mail.ru*

В работе отражено современное состояние геосистем трех групп островов залива Петра Великого. Первая группа объединяет крупные южные, юго-западные и северо-восточные острова; вторая группа – острова средние юго-западные и северо-восточные острова; третья группа – малые юго-западные и северо-восточные острова. Все острова имеют единое происхождение и незначительные различия почвенно-растительного покрова. Геоэкологическое состояние оценивалось по лесистости и антропогенно измененным территориям островов. Самые сохраненные экосистемы на островах Сидорова, Наумова и Петрова. Наиболее антропогенно измененные экосистемы на островах Скребцова, Ахлестышева и Энгельма. Основными факторами группировки островов являются различия в их площадях и количестве местообитаний. В первой группе наибольшее сходство имеют острова Путятина, Русский и Попова – это самые разнообразные по местообитаниям острова; большое сходство у островов Фуругельма, Шкота и Герасимова, которые имеют среднее количество местообитаний. Характерной особенностью этих островов является большое разнообразие форм рельефа. Во второй группе средних островов сходны острова Сидорова и Орехова, а также Наумова и Лаврова. В третьей группе очень сходны острова Бычий, Скребцова и Второй, а также Энгельма и Папенбергена.

Ключевые слова: острова, растительность, лишайники, почвы, антропогенез, Приморский край

GEOECOLOGICAL STUDIES OF SOIL AND VEGETATION COVER ON THE ISLANDS OF PETER THE GREAT BAY

Kiseleva A.G., Pshenichnikova N.F., Rodnikova I.M.

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

The present conditions of geosystems of three groups of islands in Peter the Great Bay were carried out. The first group is the large southern, southwestern and northeastern islands; the second group – the middle islands from the southwest and northeast; the third group is the small southwestern and northeastern islands. All islands have a common origin and slight differences in land cover. The geoeological state was assessed by forest cover and anthropogenically modified territories of the islands. Sidorov, Naumov and Petrov islands have the most preserved ecosystems. The most anthropogenically modified ecosystems are on Skrebtsov, Akhlyostyshev and Engelm islands. The most preserved ecosystems on the islands of Sidorov, Naumov and Petrov. The most anthropogenically modified ecosystems on the islands of Skrebtsov, Akhlyostyshev and Engelm. The main factors in the grouping of the islands are differences in their areas and the number of habitats. In the first group, the islands of Putyatina, Russky and Popov have the greatest similarity – these are the most diverse islands in terms of habitats; there is a great similarity between the islands of Furugelm, Shkot and Gerasimov, which have an average number of habitats. A characteristic feature of these islands is a wide variety of landforms. In the second group of middle islands, the islands of Sidorov and Orekhov are similar; also as Naumov and Lavrov. In the third group, the islands of Bychiy, Skrebtsov and Vtoroy are very similar; also as Enhelm and Papenberg.

Keywords: islands, vegetation, lichens, soils, anthropogenies, Primorsky region

В прибрежных зонах мира проживает около 60% всего мирового населения, располагаются 2/3 крупных городов с населением более 1,6 млн жителей [1, с. 140]. При оценке геоэкологического состояния территорий используют такие показатели, как изменение видового состава и численности видов, сокращение площади коренных ассоциаций и проективного покрытия растительного покрова и др. [2, с. 78]. Почвенно-растительный покров отражает совместное влияние природных и антропогенных факторов на островные экосистемы. В заливе Петра Великого и севернее вдоль побережья расположены более 60 крупных,

средних, малых островов: 1) южные острова Дальневосточного биосферного морского заповедника – остров Фуругельма, мыс Островок Фальшивый (почти остров); 2) юго-западные острова – Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда; 3) острова северо-восточного сектора – Путятина, Скалы Крейсера, Петрова, Орехова, Второй и др. Интенсивное антропогенное влияние на геосистемы этих островов началось в конце XIX в. Динамика, состояние островов залива были отражены в предыдущих работах авторов [3, 4]. Ведущая роль в биоиндикации принадлежит растительному покрову, а также одним из широко применяемых направлений

для оценки антропогенного влияния является использование лишайников [5, с. 125].

Цель нашей работы – изучить геоэкологическое состояние островов залива Петра Великого. Территория находится в наиболее густонаселенной и промышленно развитой части Приморского края, в результате чего на островах увеличилась доля антропогенно трансформированных местообитаний.

Материалы и методы исследования

В работе исследовались растительный, лишайниковый и почвенный покровы. Классификация почв дана по Л.Л. Шишову и др. [6, с. 109–112]. Оценивалась лесистость островов и антропогенно трансформированные территории в процентном соотношении. Были выделены типы почвенно-растительного покрова для 21 острова: мыс Островок Фальшивый, Фуругельма, Шкота, Герасимова, Пуяттина, Русский, Попова, Рейнеке, Сидорова, Орехова, Наумова, Лаврова, Скалы Крейсер Большой, Скалы Крейсер Малый, Петрова, Бычий, Скребцова, Второй, Энгельма, Папенбергена, Ахлестышева.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время на островах распространены нижеперечисленные типы почвенно-растительного покрова.

Разреженные травяные сообщества: супралиторальные группировки на скалах и частично на маршевых почвах из *Leymus mollis* (Trin.) Pilg., *Mertensia maritima* (L.) S.F. Gray, *Honkenya oblongifolia* Torr. et Gray, *Atriplex subcordata* Kitag., *Salsola komarovii* Iljin, *Rumex maritimus* L., *Carex gmelinii* Hook. et Arn., *C. kobomugi* Ohwi; супралиторальные группировки на скалах и частично на примитивных почвах из *Lathyrus japonicus* Willd., *Thermopsis lupinoides* (L.) Link, *Angelica gmelinii* (DC.) M. Pimen., *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq., *Ligusticum scoticum* L; петрофитные группировки на примитивных почвах из *Festuca kolesnikovii* Tzvel., *F. vorobievii* Probat., *Poa vorobievii* Probat., *Astragalus marinus* Boriss., *Oxytropis ruthenica* Vass., *Kitagawia littoralis* (Worosch. et Gorovoi) M. Pimen.

Луговая растительность: приморские луга на луговых почвах *Rosa rugosa* Thunb., *Thermopsis lupinoides* (L.) Link, *Angelica gmelinii* (DC.) M. Pimen., *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.; влажные разнотравные луга на лугово-глебовых почвах *Ranunculus sarmmentosus* Adams, *Spergularia salina* J. et C. Presl, *Atriplex patens* (Litv.) Iljin, *Chenopo-*

dium glaucum L., *Salicornia perennans* Willd., *Suaeda glauca* (Bunge) Bunge; разнотравные луга на задернованных буроземах из *Aster spathulifolius* Maxim., *Chrysanthemum coreanum* (Lévl. et Vaniot) Worosch., *Heteropappus saxomarinus* Kom., *H. villosus* Kom., *Lilium lancifolium* Thunb.; петрофитные луга на примитивных почвах из *Scrophularia grayana* Maxim., *Plantago camtschatica* Link, *Anaphalis sinica* Hance, *Artemisia littoricola* Kitam.

Болота: разнотравные сообщества на низинных торфяниках и торфянисто-перегнойно-глебовых почвах *Polygonum liaotungense* Kitag., *Glaux maritima* L., *Potentilla anserina* L., *Plantago japonica* Franch. et Savat., *Hippuris tetraphylla* L., *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz.; заболоченные осоково-разнотравные сообщества на лугово-болотных почвах из *Carex glareosa* Wahlenb., *C. scabri-folia* Steud., *C. subspathacea* Wormsk. ex Hornem., *Puccinellia kurilensis* (Takeda) Honda; влажные тростниково-разнотравные сообщества на лугово-болотных почвах из *Phragmites japonicus* Steud., *Triglochin asiaticum* L.

Озера, водоемы: прибрежно-водные и водные сообщества *Sagittaria natans* Pall., *Potamogeton natans* L., *P. pectinatus* L., *P. perfoliatus* L., *P. pusillus* L., *Ruppia maritima* L.

Кустарниковые сообщества: кустарниково-разнотравные сообщества на сильно скелетных темных буроземах; кустарниково-разнотравные сообщества на аллювиально-луговых почвах; кустарниково-разнотравные сообщества на примитивных почвах; кустарниково-разнотравные сообщества из *Berberis amurensis* Rupr. и *Juniperus davurica* Pall. на примитивных почвах; можжевельниковые сообщества на буроземах темных иллювиально-гумусовых; кустарниково-разнотравные сообщества на задернованных луговых почвах; кустарниково-разнотравные сообщества из *Rhododendron mucronulatum* Turcz., *Lespedeza bicolor* Turcz., *Berberis amurensis* Rupr. на неполноразвитых сильно скелетных буроземах; кустарниково-полукустарниково-разнотравно-лиановые сообщества из *Lespedeza bicolor* Turcz., *Sorbaria sorbofolia* (L.) A. Br., *Rosa maximoviciana* Regel, *Rosa rugosa* Thunb., *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm., *Actinidia kolomikta* (Maxim) Maxim., *Vitis amurensis* Rupr. на темных буроземах; полукустарниковые гмелинно-полынные сообщества на темных буроземах; гмелинно-полынно-леспедецевые сообщества на темных буроземах.

Широколиственные леса: высокосомкнутые полидоминантные широколиственные леса с лианами из *Carpinus cordata* Blume,

Tilia amurensis Rupr., *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Acer ginnala* Maxim., *A. mono* Maxim., *A. tegmentosum* Maxim., *A. pseudosiboldianum* (Pax) Kom. на темных буроземах и типичных буроземах; высокосомкнутый дубовый лес *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. с *Carpinus cordata* Blume, *Phellodendron amurense* Rupr., Kom. на неполноразвитых сильно скелетных буроземах; ольхово-черемухово-ивовые леса на задернованных глееватых буроземах; дубовый лес на буроземах типичных; низкорослый широколиственный лес на темных буроземах; разреженный широколиственный лес на типичных буроземах и темных буроземах [4].

Хвойные леса: тисовая ассоциация *Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. ex Endl. на темных иллювиально-гумусовых буроземах; ельник *Picea ajanensis* Fisch. ex Carrière на эродированных оподзоленных буроземах.

Хвойно-широколиственные леса: тисово-широколиственный лес на оподзоленных буроземах; сосново-широколиственный лес из *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc., *Tilia amurensis* Rupr., *Betula platyphylla* Sukaczew, *B. dahurica* Pall. на оподзоленных буроземах.

На участках скал, находящихся под непосредственным воздействием моря, развиваются приморские виды лишайников *Hydropunctaria maura* (Wahlenb. ex Ach.) C. Keller, Gueidan & Thüs, *Athallia scopularis* (Nyl.) Arup, Frödén & Søchting, *Flavoplaca marina* (Wedd.) Arup, Frödén & Søchting. На валунно-галечных пляжах преобладают *Aspicilia cinerea* (L.) Körb., *Diplotomma alboatrum* (Hoffm.) Flot., виды родов *Xanthoparmelia*, *Ramalina conspersa*. В лишайниковых сообществах на приморских скалах встречаются *Physcia caesia* (Hoffm.) Fürnr., *P. dubia* (Hoffm.) Lettau, *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg., *Ramalina subbreviskula* Asahina. На скалах, защищенных от воздействия открытого моря, развиваются очень богатые в видовом отношении сообщества лишайников. Здесь преобладают виды, которые часто встречаются в сообществах на коре деревьев *Anaptychia isidiata* Tomin, *Myelochroa aurulenta* (Tuck.) Elix & Hale, *Heterodermia hypoleuca* (Ach.) Trevis, *Parmotrema perlatum* (Huds.) M. Choisy, *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. В лесных сообществах на коре деревьев среди лишайников доминируют такие виды, как *Myelochroa aurulenta*, *M. subaurulenta* (Nyl.) Elix & Hale, *Parmotrema perlatum*, *Anaptychia isidiata*, *Phaeophyscia hirtuosa* (Kremp.) Essl., *Heterodermia hypoleuca*, *Graphis rikuzensis* (Vain.) M. Nakan.,

G. scripta (L.) Ach., *Leptra multipuncta* (Turner) Hafellner, *P. pertusa* (L.) Tuck., *Opeltia flavorubescens* (Huds.) S.Y. Kondr. & Nur. На островах, подвергающихся наибольшему антропогенному воздействию, наблюдается обеднение видового состава лишайников и преобладание среди них видов, устойчивых к антропогенному влиянию.

На рассматриваемых островах наряду с буроземами типичными и буроземами оподзоленными распространены буроземы темные с высоко и глубокогумусированным профилем, формирующиеся под высокосомкнутыми широколиственными лесами с густым травостоем [7]. Современное состояние почвенного покрова определяется экспозицией склонов, высотой и крутизной. При этом определяющим фактором является разнообразие растительности. К верхним частям водоразделов в виде прерывистых ареалов приурочены неполноразвитые маломощные буроземы с каменисто-щебнистым профилем. Северные и южные склоны средней крутизны, покрытые полидоминантными широколиственными лесами, заняты маломощными и сильно скелетными буроземами типичными. Под древостоями с густым травостоем развиты высоко и глубоко гумусированные буроземы темные. Ограниченные площади на выположенных склонах, в условиях замедленного водообмена формируются буроземы оподзоленные со следами оглеения в иллювиальной части профиля. На нижних частях восточных склонов с развитым кустарниково-полукустарниковым ярусом, под разреженным древостоем распространены буроземы темные иллювиально-гумусовые. При маломощном и сильно скелетном профиле они характеризуются глубокой гумусированностью [3].

Геоэкологические исследования по показателям лесистости и антропогенно измененным территориям выявили острова с наибольшей и наименьшей сохранностью островных экосистем. На островах Сидорова, Наумова и Петрова лесистость составляет больше 80%, а антропогенно измененные территории – меньше 50%. Лесистость островов Герасимова, Рикорда, Русский составляет больше 60%, а антропогенно измененные территории – меньше 50%, кроме острова Русский, у которого меньше 60%. Все остальные острова с очень небольшим процентом лесистости менее 50%. Из них наиболее антропогенно измененные острова Скребцова, Ахлестышева – больше 80%, острова Энгельма – больше 60%, остальные острова – меньше 50%.

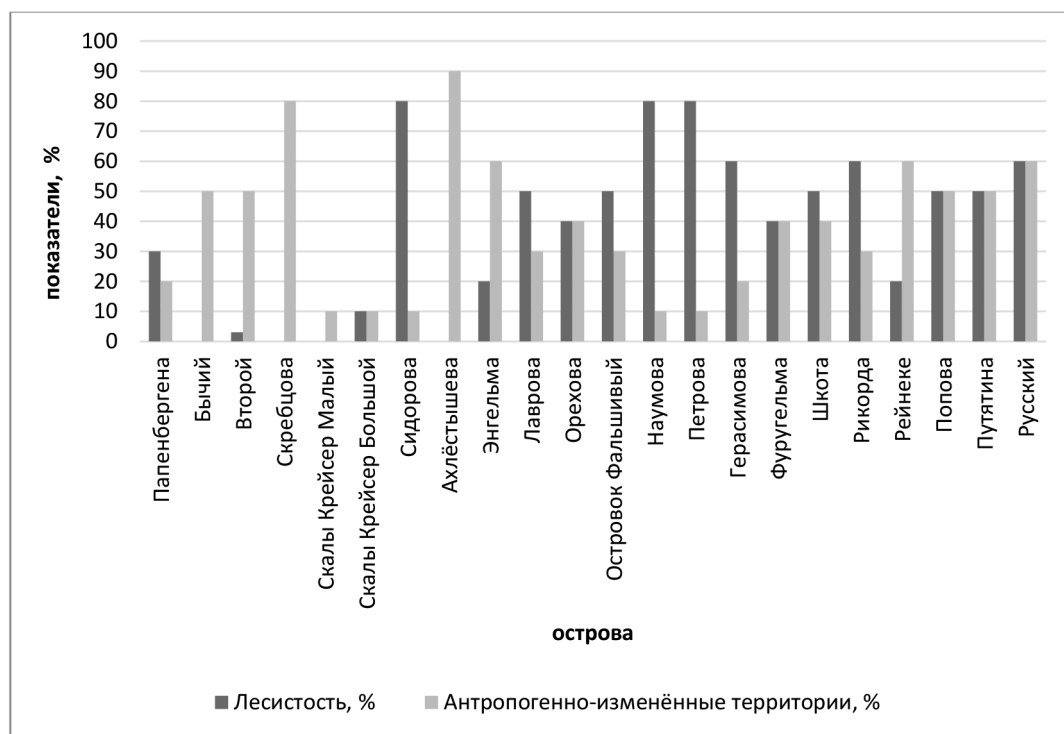


Рис. 1. Характеристика островов по антропогенной трансформации растительности

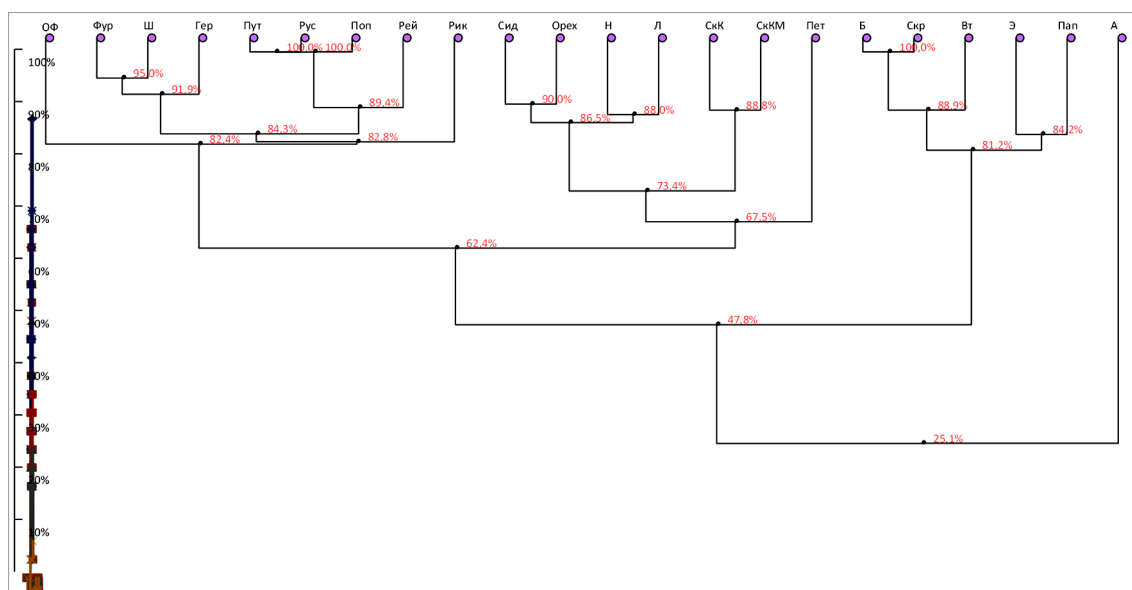


Рис. 2. Дендрограмма сходства островов залива Петра Великого по почвенно-растительному покрову: ОФ – мыс Островок Фальшивый; острова: Фур – Фуругельма; Ш – Шкота; Гер – Герасимова; Пут – Пуяттина; Рус – Русский; Поп – Попова; Рей – Рейнеке; Сид – Сидорова; Орех – Орехова; Н – Наумова; Л – Лаврова; СКК – Скалы Крейсера Большой; СККМ – Скалы Крейсера Малый; Пет – Петрова; Б – Бычий; СкР – Скребцова; Вт – Второй; Э – Энгельма; Пап – Папенберген; А – Ахлестышева

По результатам кластерного анализа все острова объединились в три группы по сходству почвенно-растительного покрова (рис.

2). В первую группу вошли самые крупные острова, имеющие сходство на 89% с островом Рейнеке, а также средние острова. Вто-

рая группа включает небольшие острова, которые сходны на 68% с островом Петрова. Третья группа объединила самые маленькие острова. Маленький остров Ахлестышева сходен с тремя группами на 25%.

Основными факторами группировки островов являются различия в их площадях и количестве местообитаний. Первая группа включает крупные острова с наибольшим разнообразием почвенно-растительного покрова от супралиторальных группировок на скалах на примитивных почвах до высокосомкнутых полидоминантных широколиственных лесов на типичных или темных буроземах, где присутствуют болотные, озерные и антропогенно трансформированные сообщества. Характерная особенность этих островов – большое разнообразие форм рельефа. В первой группе наибольшее сходство имеют острова Путятина, Русский и Попова – это самые разнообразные по местообитаниям острова; большое сходство у островов Фуругельма, Шкота и Герасимова, которые имеют среднее количество местообитаний. В группе объединены южные, юго-западные и северо-восточные острова. Вторая группа включает острова средних размеров с разнообразными травяными, кустарниковыми и лесными сообществами на буроземах темных и буроземах темных иллювиально-гумусовых. Рельеф этих островов менее разнообразен. Во второй группе островов сходны острова Сидорова и Орехова; Наумова и Лаврова, которые объединяют юго-западные и северо-восточные острова. Третья группа включает малые (небольшие) острова, представляющие собой скальные выходы над поверхностью моря, с абразионно-отвесными берегами и выполненными вершинами, покрытыми труднопроходимыми травяно-кустарниковыми зарослями на буроземах слабообразованных и буроземах темных иллювиально-гумусовых. Дальнейшее деление кластеров соответствует различию в количестве местообитаний. В третьей группе очень сходны острова Бычий, Скребцова и Второй; Энгельма и Папенбергена – это юго-западные и северо-восточные острова. Острова с наибольшим сходством почвенно-растительного покрова объединились. Например, мыс Островок Фальшивый несмотря на свои небольшие размеры вошел в одну группу с наиболее крупными островами, благодаря большому разнообразию типов почвенно-растительного покрова. Все острова имеют единое происхождение и незначительные различия почвенно-растительного покрова.

Заключение

Исследования показали, что очень небольшое число островов не подверглось сильному антропогенному изменению – Сидорова, Наумова и Петрова. Наиболее антропогенно измененными островами являются Скребцова, Ахлестышева и Энгельма. По количеству местообитаний и сходству почвенно-растительного покрова выделяются три группы островов. Основными факторами группировки островов являются различия в их площадях и количестве местообитаний. Первая группа включает крупные острова с наибольшим разнообразием почвенно-растительного покрова от супралиторальных группировок на скалах на примитивных почвах до высокосомкнутых полидоминантных широколиственных лесов на типичных или темных буроземах, присутствуют болотные, озерные и антропогенно трансформированные сообщества. Характерная особенность этих островов – большое разнообразие форм рельефа. В первой группе объединены крупные южные, юго-западные и северо-восточные острова. Вторая группа включает острова средних размеров юго-западные и северо-восточные острова. Третья группа включает малые (небольшие) острова, это юго-западные и северо-восточные острова. Острова имеют незначительные различия почвенно-растительного покрова, что обусловлено микроклиматическим влиянием и воздействием природных и антропогенных факторов.

Список литературы

1. Кропинова Е.Г., Афанасьева Э.П. Устойчивое развитие прибрежных территорий как основа комплексного управления прибрежными зонами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 1. С. 140–147.
2. Емельянов А.Г. Основы природопользования: учебник для студ. высш. учеб. заведения. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 304 с.
3. Ганзей К.С., Киселева А.Г., Родникова И.М., Пшеничникова Н.Ф. Современное состояние и антропогенная трансформация геосистем островов залива Петра Великого // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2016. Вып. 36. № 1. С. 40–49.
4. Ганзей К.С., Киселева А.Г., Родникова И.М., Лячевская М.С., Пшеничникова Н.Ф. Природные и антропогенные факторы развития острова Попова (Японское море) // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 131–141. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-1(131-141).
5. Недоросткова И.Г. Лихеноиндикация загрязнения приземного воздуха города Усурийска (Приморский край) // Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 1. С. 125–129.
6. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
7. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. URL: <https://egpr.esoil.ru/content/1sem.html> (дата обращения: 25.06.2023).

УДК 556.545:556.53
DOI 10.17513/use.38087

СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА МЕЗОПРИЛИВНОГО ЭСТУАРИЯ АРКТИЧЕСКОЙ РЕКИ В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ НА ПРИМЕРЕ УСТЬЯ Р. ИНДИГИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Лохов А.С., Мискевич И.В., Нецветаева О.П., Котова Е.И.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: a.s.lohov@yandex.ru

Сокращение ледового покрова в Арктике может привести в ближайшем будущем к увеличению величины приливов в устьях ряда средних и малых рек, оси которых ориентированы в меридиональном направлении. Однако такие водные объекты изучены на данный момент крайне слабо. В данной работе исследован режим мезоприливного эстуария р. Индиги (юго-восток Баренцева моря) в зимнюю межень. Экспедиционные работы проводились в марте 2023 г. Определены температура воды, соленость (минерализация), содержание растворенного кислорода, рН, ХПК, концентрация взвешенных веществ и биогенных элементов. Полученные результаты рассмотрены в рамках модели маргинального фильтра устьев рек, предложенной академиком А.П. Лисицыным. Показано, что структура маргинального фильтра рассматриваемого эстуария в зимнюю межень сходна с ее структурой в летнюю межень, но с некоторыми отличиями. Зимой исчезает влияние гидробиологических процессов, а в зоне коагуляционно-сорбционной ступени (5–30%) появляются дополнительные внутриэстуарные источники поступления в водную среду органики, идентифицируемой по параметру химического потребления кислорода, а также минеральных солей азота (нитритов и нитратов) и кремния. Такими источниками могут быть: разгрузка иловых вод при приливных деформациях ледовым покровом донных отложений приморских лугов, антропогенный сток п. Индига, подземный источник.

Ключевые слова: маргинальный фильтр, устьевая область, взвесь, биогенные элементы, химическое потребление кислорода, Арктика, Баренцево море, Индига

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

FEATURES OF THE MARGINAL FILTER STRUCTURE FORMATION IN THE MESOTIDAL ARCTIC RIVER ESTUARY DURING THE WINTER LOW TERM ON EXAMPLE OF THE INDIGA RIVER, BARENTS SEA

Lokhov A.S., Miskevich I.V., Netsvetaeva O.P., Kotova E.I.

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

The reduction of Arctic ice cover may lead to increasing tides magnitude in the estuaries of medium and small rivers in the near future. The axes of these rivers are oriented in the meridional direction. However, such water bodies have been studied extremely poorly at the present time. The regime of the mesotidal Indiga River estuary (southeast of the Barents Sea) was explored during the winter low water. Fieldworks was carried out in March 2023. Water temperature, salinity (mineralization), dissolved oxygen content, pH, COD, suspended matter concentration and biogenic elements were determined. The results are considered within the framework of the marginal filter model of river estuaries proposed by Academician A.P. Lisitsyn. It is shown that the marginal filter structure of the considered estuary in the winter low water period is similar to its structure in the summer low water period, but with some differences. The influence of hydrobiological processes disappears in winter. Here is additional intraestuary source of organic matter appear in the coagulation-sorption stage zone (5–30%). It is identified by the chemical oxygen demand parameter. Also, mineral nitrogen salts (nitrites and nitrates) and silicon enter in the aquatic environment in that zone. Such intraestuary sources can be: discharge of silt waters during tidal deformations by the ice cover of coastal meadows sediments, anthropogenic runoff from the Indiga Village and underground source.

Keywords: marginal filter, estuary, suspended matter, nutrients, chemical oxygen demand, Arctic, Barents Sea, Indiga River

The studies were carried out in the course of fulfilling the state task on the topic “Modern and ancient bottom sediments and suspended matter of the World Ocean – a geological record of environmental and climate changes: dispersed sedimentary matter and bottom sediments of the seas of Russia, the Atlantic, Pacific and Arctic Oceans - lithological, geochemical and micropaleontological studies ; study of pollution, paleoenvironments and processes in the marginal filters of rivers” No. FMWE-2021-0006.

Наблюдаемое в последние десятилетия потепление климата в западном секторе российской Арктики должно повлечь за собой усиление приливных явлений в Печорском и в Карском морях за счет снижения площади ледового покрова, который может значительно уменьшать величину прилива. В данной ситуации можно ожидать формирование мезоприливных условий в устьях ряда средних и малых рек, оси которых ориентированы в меридиональном направлении, которое совпадает с направлением движения приливной волны, формирующейся в центральной части Северного Ледовитого океана.

Под мезоприливными эстуариями принято понимать такие устья рек, на взморьях которых в сизигию величина прилива превышает 1,6 м, но остается меньше 2,6 м. К сожалению, подобные водные объекты на арктической территории России изучены крайне слабо, особенно остается не освещенным в научном плане состояние их биогеоценозов в зимнюю межень. В зарубежной литературе данная тема также недостаточно освещена. Существующие работы главным образом направлены на изучение многолетних изменений стока рек [1], изменений количества переносимого реками материала вследствие изменения климата, либо рассматриваются реки без эстуариев [2]. Подобного рода исследования были проведены коллективом Северо-западного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на малых реках Белого моря [3, 4]. Результаты исследования, представленные в настоящей статье, можно рассматривать как определенный шаг к решению данной проблемы. Целью работы является исследование специфики формирования маргинального фильтра реки Индиги, впадающей в Баренцево море, в мезоприливных условиях, в зимнюю межень.

Индига впадает в Индигскую губу в юго-восточной части Баренцева моря на западной границе Печорского моря. Она

попадает в категорию так называемых средних рек, имеет длину 193 км и площадь водосбора, равную 3790 км². Средняя величина прилива в сизигию на ее устьевом взморье составляет 2 м. Зимой она заметно снижается из-за влияния ледового покрова в эстуарии.

Материалы и методы исследования

Исследование зимнего режима рассматриваемого водного объекта проводилось в марте 2023 года. Расположение комплексных гидрологических станций показано на рисунке 1, а их координаты представлены в таблице 1.

На станции 2и пробы воды отбирали в малую и полную воды приливо-отливного цикла, на станции 1и – в полную воду, на станции 3и – в малую воду.

Температуру воды, соленость (минерализацию) и содержание кислорода определяли с помощью многопараметрического анализатора жидкости Multi 3420 фирмы WTW, величину pH – с помощью pH-метра Марк-903. Выделение взвеси проводили методом мембранной ультрафильтрации под вакуумом через чистые (обработанные 4%-ной соляной кислотой и тщательно промытые бидистиллированной водой) ядерные фильтры. Предварительное взвешивание ядерных фильтров осуществляли на электронных лабораторных весах «Adventurer Pro» model RV214 (производства фирмы «ОНАUS Europe», со специальным классом точности и ценой деления 0,1 мг). Использовали ядерные фильтры (диаметр – 47 мм, диаметр пор – 0,45 мкм), изготовленные в Объединенном институте ядерных исследований в г. Дубне. Определение биогенных веществ осуществляли фотометрически в соответствии с руководящими документами: РД 52.24.419-2019; РД 52.10.738-2010; РД 52.24.381-2017; РД 52.10.745-2020; РД 52.10.744-2020; определение параметра ХПК – в соответствии с ГОСТ 31859-2012 на спектрофотометре НАСН DR 3900.

Таблица 1

Координаты станций в эстуарии р. Индиги в марте 2023 г.

Номер станции	Координаты		Примечания
	с.ш.	в.д.	
1и	67,68410°	48,87718°	м. Тонтой
2и	67,65178°	49,03230°	п. Индига
3и	67,57954°	49,08174°	о. Сорванный



Рис. 1. Карта-схема комплексных гидрологических станций в эстуарии р. Индиги в марте 2023 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проведенных наблюдений рассматривались в рамках модели маргинального фильтра устьев рек, предложенной академиком А.П. Лисицыным [5]. В соответствии с данной моделью, зону смешения речных и морских вод (или маргинальный фильтр) делят на 3 части: пресноводную (соленость до 1‰), солоноватоводную (от 1 до 20–30‰) и соленую (более 30‰).

Его наиболее важные процессы происходят во второй его части – солоноватоводной. Так, при увеличении солености образуются три последовательные зоны (ступени): 1) гравитационная (мутевая «пробка») с аномально высокими концентрациями взвешенных веществ по причине развития процессов их коагуляции; 2) коагуляционно-сорбционная (химическая «пробка»), где происходят флокуляция органики и сорбция из воды растворенных металлов; 3) биологическая, в которой при просветлении водной толщи благодаря первым двум ступеням происходит развитие фитопланктона, который, в свою очередь, обеспечивает питание зоопланктона – организмов-фильтраторов. Тем

не менее, в некоторых случаях три ступени маргинального фильтра могут располагаться и в других его частях – пресноводной и соленой. Так, например, в Белом море в устьевой области р. Северной Двины (наиболее хорошо изученной) гравитационной ступени соответствует интервал солености в 0,5–5‰, коагуляционно-сорбционной – 5–20‰ и биологической – соленость более 20‰ [6, с. 276]. Результаты обработки проб воды, отобранных в зимнюю межень 2023 г на р. Индиге, показаны в таблице 2.

Исследование маргинального фильтра эстуария р. Индиги, проведенное в летнюю межень 2022 года, показало следующее [7]. Гравитационная ступень здесь располагается в интервале солености менее 5‰, а коагуляционно-сорбционная ступень – в диапазоне 5–30‰. При этом биологическая ступень маргинального фильтра вытесняется из эстуария в Индигскую губу на акваторию с соленостью более 30‰ и глубинами более 15–20 м. Однако наилучшие условия для массового развития планктона наблюдаются в лагунных озерах с наличием солоноватых вод, которые располагаются на приморских заливных лугах (лайдах).

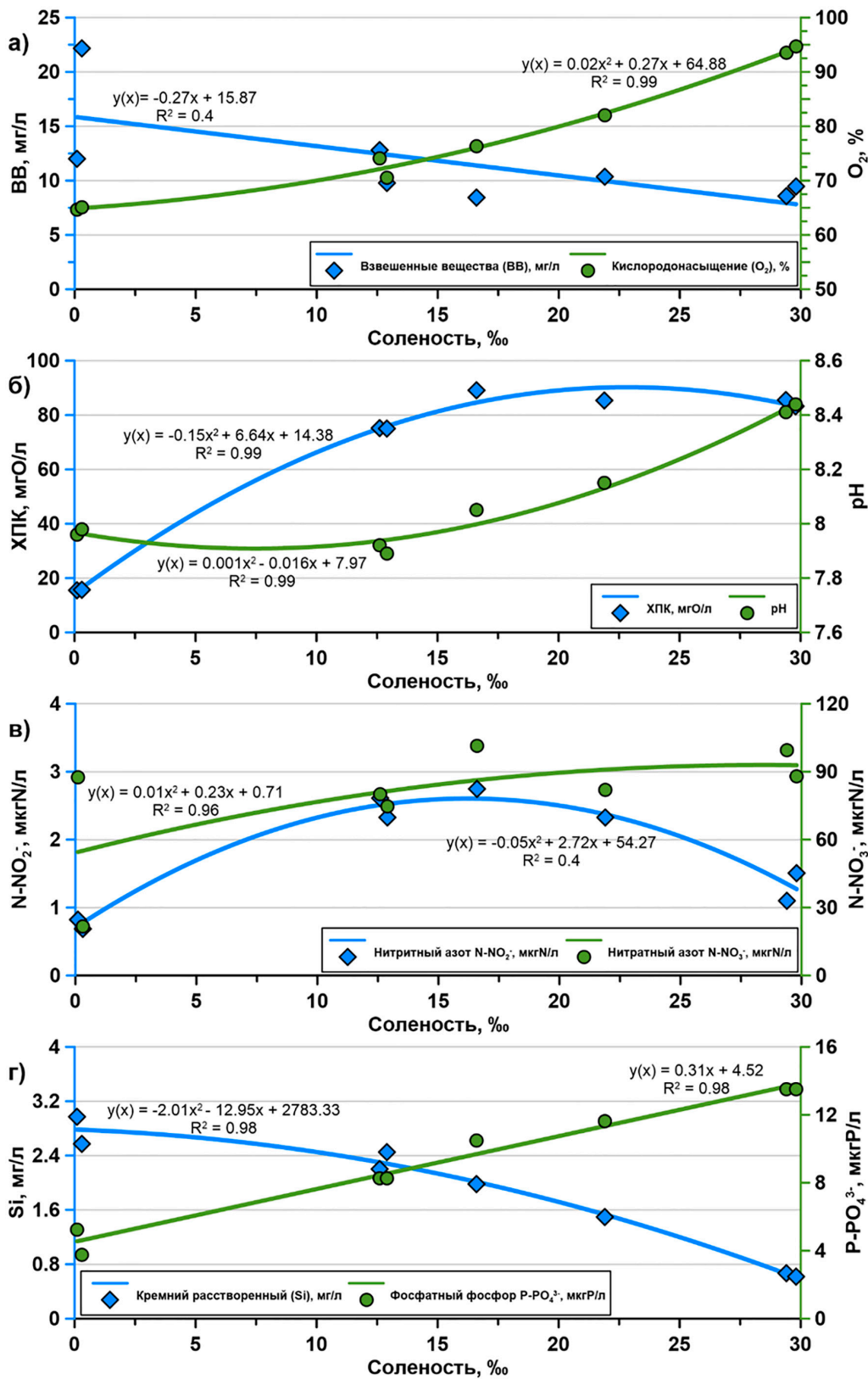


Рис. 2. Графики связи солености с концентрацией взвешенных веществ и кислородонасыщением (а), параметрами ХПК и pH (б), концентрациями нитритного и нитратного азота (в), растворенного кремния и фосфатного фосфора (г) в эстуарии р. Индиги в марте 2023 г.

Таблица 2

Гидролого-гидрохимическая характеристика вод эстуария р. Индиги в марте 2023 г.

Показатель	Номер станции (фаза прилива)							
	1и (ПВ)		2и (ПВ)		2и (МВ)		3и (МВ)	
Горизонт, м	1,0	5,0	1,0	8,0	1,0	7,0	1,0	2,5
Температура воды, °С	-1,9	-1,9	-1,2	-1,5	-1,0	-1,0	-0,1	-0,1
Соленость, ‰	29,4	29,8	16,6	21,9	12,6	12,9	0,1	0,3
Кислород, мг/л	14,44	14,64	11,54	12,51	11,05	10,49	9,41	9,51
Кислород, %	93,5	94,7	76,3	82,0	74,1	70,5	64,7	65,1
pH	8,41	8,44	8,05	8,15	7,92	7,89	7,96	7,98
Концентрация взвешенных веществ, мг/л	9,48	8,58	10,37	8,44	9,78	12,81	22,1	12,0
Фосфатный фосфор, мкг/л	13,5	13,5	10,5	11,6	8,3	8,3	5,3	3,8
Нитритный азот, мкг/л	1,10	1,51	2,75	2,33	2,61	2,33	0,82	0,69
Нитратный азот, мкг/л	99,5	88,0	101,4	82,1	80,1	74,7	87,5	21,8
Кремний, мкг/л	667	620	1979	1495	2203	2448	2974	2573
ХПК, мгО/л	85,5	83,1	89,0	85,3	75,2	75,0	15,5	15,6

Графики связи с соленостью концентрации взвешенных веществ и гидрохимических параметров в эстуарии р. Индиги в зимнюю межень 2023 года показаны на рисунке 2.

Результаты анализа полученной информации указывают на то, что структура маргинального фильтра эстуария в зимнюю межень с формальной точки зрения сходна с ее структурой в летнюю межень. Гравитационная ступень располагается в зоне устьевых вод с соленостью менее 5‰, а коагуляционно-сорбционная ступень занимает диапазон 5–30‰.

Однако процессы, происходящие на этих ступенях маргинального фильтра, зимой приобретают иной характер. В первую очередь, исчезает влияние гидробиологических процессов, о чем, в частности, свидетельствуют наличие линейной связи между соленостью и фосфатным фосфором, а также более низкое по сравнению с летней меженью кислородонасыщение эстуарных вод (65–94%). Связь между содержанием взвешенных веществ, концентрации которых становятся на порядок ниже, чем в летнюю межень, и распределением солености становится квазилинейной.

В зоне коагуляционно-сорбционной ступени появляются дополнительные внутриэстуарные источники поступления в водную среду органики, идентифицируемой по параметру ХПК, а также минеральных солей азота (нитритов и нитратов) и кремния.

Наиболее вероятной причиной их появления служит разгрузка иловых вод при приливных деформациях ледовым покровом донных отложений приморских лугов. На их территориях ледовый покров в малую воду приливо-отливного цикла опускается на луговой почвенно-растительный покров и частично примерзает к нему. В полную воду прилива при вертикальных и горизонтальных подвижках лед всплывает, сильно деформируя почвенно-растительный покров, насыщенный иловыми водами, обогащенными детритом и продуктами минерализации органики, продуцируемой летом галофитами и планктоном. Следует заметить, что для кремния подобный процесс был ранее зафиксирован в макроприливных эстуариях Чёшской губы Баренцева моря [8, с. 21], но он не наблюдается в устьях больших рек [9, с. 55; 10].

Механизмы поступления в реки материала, образующегося в процессе таяния многолетнемерзлых пород, до конца не ясны, и, учитывая изложенное выше, возможно выдвинуть гипотезу, что в мезоприливных устьях арктических рек маргинальный фильтр осуществляет сортировку материала, освобождаемого при разрушении, на фоне наблюдаемого потепления климата многолетнемерзлых грунтов, по следующей схеме: растворенные вещества и часть мелкодисперсных частиц попадают в морские воды, основная часть нерастворенных частиц в основном аккумулируется внутри

эстуария на приливных осушках и приморских лугах. Их попадание на открытую акваторию моря возможно лишь при аномально высоком речном паводке в весенний сезон или при сильных ветровых стоннонагонных явлениях редкой повторяемости с обеспеченностью не более 5%. При отсутствии подобных факторов низинные участки прибрежных зон приливных эстуариев арктических рек в настоящее время начинают постепенно заболачиваться.

Заключение

Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют предположить, что маргинальный фильтр арктического мезоприливного эстуария в зимний период во многом зависит от процессов, происходящих на приливных осушках и приморских лугах под действием вертикальных и горизонтальных подвижек льда. При этом наблюдается переток растворенных веществ и мелкодисперсной взвеси органического происхождения, накопленных в экосистеме эстуария в летне-осенний период, на открытую акваторию моря. Данная ситуация наиболее характерна для устьев малых и средних рек, где площади соприкосновения между средами лед – донные отложения – галофиты получают наибольшую относительную протяженность.

Необходимо отметить, что возможно наличие и других источников материала, например антропогенного. Население поселка Индига составляет порядка 600 человек. Также возможно поступление веществ вместе с подземными водами. Так, на удалении около 1 км от точки 2и выше по течению реки Большая Щелиха был обнаружен ключ, соленость воды в котором составляла порядка 50 г/л.

Выдвинутые предположения носят предварительный характер, и для их подтверждения необходимо расширить геоэкологические исследования устьев малых и средних рек западного сектора российской Арктики, которые до настоящего времени остаются практически не изученными.

Список литературы

1. Yang D., Shi X., Marsh P. Variability and extreme of Mackenzie River daily discharge during 1973–2011 // *Quaternary International*. 2015. Vol. 380–381. P. 159–168. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.09.023.
2. Магрицкий Д.В., Повалишников Е.С., Фролова Н.Л. История изучения стока воды и водного режима рек Арктической зоны России в XX в. и начале XXI в. // *Арктика и Антарктика*. 2019. № 3. С. 61–96. DOI: 10.7256/24538922.2019.3.29939.
3. Коробов В. Б. Исследования устьевых областей малых рек Белого моря ИО РАН в XXI веке // *Геология морей и океанов: материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Том II. М.: ИО РАН, 2022. С. 219–223.
4. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Мосеев Д.С. Специфика формирования маргинальных фильтров в приливных устьях малых рек Арктических Море // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 1. С. 141–146. DOI: 10.31857/S0030157421010135.
5. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 4, № 5. С. 735–747.
6. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // *Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера*. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.
7. Котова Е.И., Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Чульцова А.Л. Характеристика маргинального фильтра эстуария реки Индига в Баренцевом море // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 9. С. 39–44. DOI: 10.17513/use.37890.
8. Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Брызгалов В.В. Исследования экосистем эстуариев рек Чиж и Чёша на полуострове Канин. Архангельск: ООО «Консультационное информационно-рекламное агентство», 2014. 108 с.
9. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
10. Лещёв А.В. Особенности трансформации и переноса взвеси в устьевой области реки Северной Двины // *Проблемы региональной экологии*, 2013. № 3. С. 114–119.

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКОВ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АЛДАН РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

¹Николаева Н.А., ²Копырина Л.И.

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

²ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Эльконский ураново-рудный район расположен в верхнем течении р. Алдан Республики Саха (Якутия) в пределах Эльконского горного массива. Ресурсный потенциал массива позволяет рассматривать его в качестве крупнейшего в России и мире резервного источника урана, золота и многих других полезных ископаемых. При разработке месторождений возникают многочисленные экологические проблемы, одной из которых является качественное состояние водотоков как приемников загрязняющих веществ, в том числе радиоактивных, распространяющихся с территорий разработок по компонентам природной среды. В связи с этим важно изучение водорослей, являющихся естественными индикаторами качественного состояния вод, а также гидрохимического состояния водотоков бассейна. Представлены результаты натуральных и лабораторных гидробиологических и гидрохимических исследований рек исследуемой территории. Впервые проведена инвентаризация водорослей фитопланктона и фитоперифитона исследуемого района. Выявлено, что основу таксономического спектра водорослевых сообществ формирует альгофлора отдела Bacillariophyta, менее разнообразны Cyanobacteria, единичны Chlorophyta и Ochrophyta. Фитопланктон во всех исследованных реках крайне беден по числу видов, по численности и биомассе. Гидрохимические исследования показали, что содержание большинства нормируемых ингредиентов исследуемых водотоков р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже предельно допустимых концентраций, нормируемых для водоемов рыбохозяйственного значения. Из загрязняющих веществ антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов. В летнее время отмечено высокое содержание сульфидов в воде ручья Непроходимый, впадающего в р. Курунг. Это обстоятельство, а также очень низкие показатели фитопланктона на станциях ручья Пропадающий являются последствием многолетних разработок в прошлые годы загрязненных горных отвалов в бассейне р. Курунг. В целом определено, что качественное состояние рек бассейна р. Алдан в пределах Эльконского ураново-рудного района обусловлено низкотемпературным режимом климата и вод, а также расположением в области прерывистого распространения многолетнемерзлых пород.

Ключевые слова: Якутия, реки, водоросли, гидрохимический состав, техногенное воздействие

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023; номер госрегистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190038-0) и в рамках проекта государственного задания (№ FWRS-2021-0014) программы по приоритетному направлению ПФНИ РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.).

HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL RESEARCH OF THE UPPER REACHES WATERCOURSES OF THE RIVER ALDAN, SAKHA REPUBLIC

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»,
Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

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

The Elkon uranium-ore region is located in the upper reaches of the river Aldan of the Republic of Sakha (Yakutia) within the Elkon mountain range. The resource potential of the massif allows us to consider it as the largest reserve source of uranium, gold and many other minerals in Russia and the world. During the development of deposits, environmental problems arise, for example, the quality of watercourses. In this regard, it is important to study the algal flora, which are natural indicators of the qualitative state of the waters and study of the hydrochemical state of water. The results of field and laboratory hydrobiological and hydrochemical studies of the rivers of the study area are presented. For the first time, an inventory of phytoplankton and phytoperiphyton algae in the study area was carried out. It was revealed that the basis of the taxonomic spectrum of algal communities is formed by the algaeflora of the Bacillariophyta division, Cyanobacteria are less diverse, Chlorophyta and Ochrophyta are single. Phytoplankton

in all studied rivers is extremely poor in terms of the number of species, abundance and biomass. Hydrochemical studies have shown that the content of the majority of normalized ingredients in the studied watercourses of the river Aldan in the area of the Elkonky horst is below the maximum permissible concentrations. There is a high content of petroleum products. In summer, a high content of sulfides in the water of the Neprokhodimyi stream, which flows into the river Kurung, is noted. This circumstance, as well as the very low levels of phytoplankton at the stations of the Propadajushij stream, are the result of many years of mining in the past years of polluted mountain dumps in the Kurung river basin. In general, it has been determined that the qualitative state of the rivers in the Aldan river basin within the Elkon uranium ore region is due to the low-temperature regime of the climate and waters, as well as the location in the area of discontinuous distribution of permafrost.

Keywords: Yakutia, rivers, algae, hydrochemical composition, anthropogenic impact

The work was carried out according to the state task 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; within the framework of the draft state task (No. FWRS-2021-0014) of the program in the priority area of the Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the long term (2021–2030).

В настоящее время возрос интерес к ресурсам Эльконского горного массива (горста), расположенного в верхнем течении р. Алдан в Якутии. Суммарный ресурсный потенциал горста составляет 650 тыс. т урана, что позволяет рассматривать его в качестве крупнейшего в России резервного источника сырья [1]. Также значительно увеличилась потребность в добыче золота и других полезных ископаемых. В настоящее время на месторождении Северное производится добыча золота, потенциал которого, доступный для открытой добычи, составляет не менее 500 т [2].

При разработке месторождений возникают многочисленные экологические проблемы, одной из которых является исследование качественного состояния водотоков как приемников загрязняющих веществ, в том числе радиоактивных, распространяющихся с территорий разработок по компонентам природной среды. В связи с этим важно изучение современного видового состава и количественных показателей биогеоценозов, являющихся естественными индикаторами качественного состояния вод – альгофлоры (фитопланктона и фитоперифитона), а также гидрохимического состояния воды.

Целью данной работы является исследование водных объектов по гидробиологическим и гидрохимическим показателям на территории Эльконского ураново-рудного района Якутии.

Материалы и методы исследования

В работе использованы единые, общепринятые унифицированные методики сбора и обработки альгологического материала [3, с. 32–63, 151–172]. Количественные (объемом 100 л) и качественные пробы отбирались с помощью планктонной сетки

Апштейна (газ N30) в литорали и пелагиали водоемов в слое 0,5 м от поверхности воды. Для идентификации водорослей использованы отечественные и зарубежные определители. Подсчет количества клеток водорослей производился под микроскопом Микмед-6 с использованием счетной камеры Нажотта объемом 0,05 см³ в трехкратной повторности. Расчет численности и биомассы проведен обычным счетно-объемным методом. Индекс сапробности рассчитывался по методу Пантле и Букка [4] в модификации Сладечека [5]. Названия таксонов приведены согласно базе данных [6] с учетом дополнений и уточнений последних отечественных и зарубежных выпусков. Материалом для гидробиологических исследований послужили количественные пробы фитопланктона, собранные в августе 2018 г. на 12 станциях рек Алдан, Элькон, Эльконкан, Курунг, Большой Ыллымах и их притоках (рисунок). Карта-схема составлена на картографической основе [7].

Отбор проб воды на химический анализ производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 в полевых условиях в весенний паводок и летнюю межень [8–10], химический анализ – в аттестованных химических лабораториях г. Якутска по общепринятым методикам. Материалом послужили данные гидрохимических полевых работ на реках Алдан, Элькон, Эльконкан, Курунг, Большой Ыллымах, Делинда, Русская, Холодная.

Результаты исследования и их обсуждение

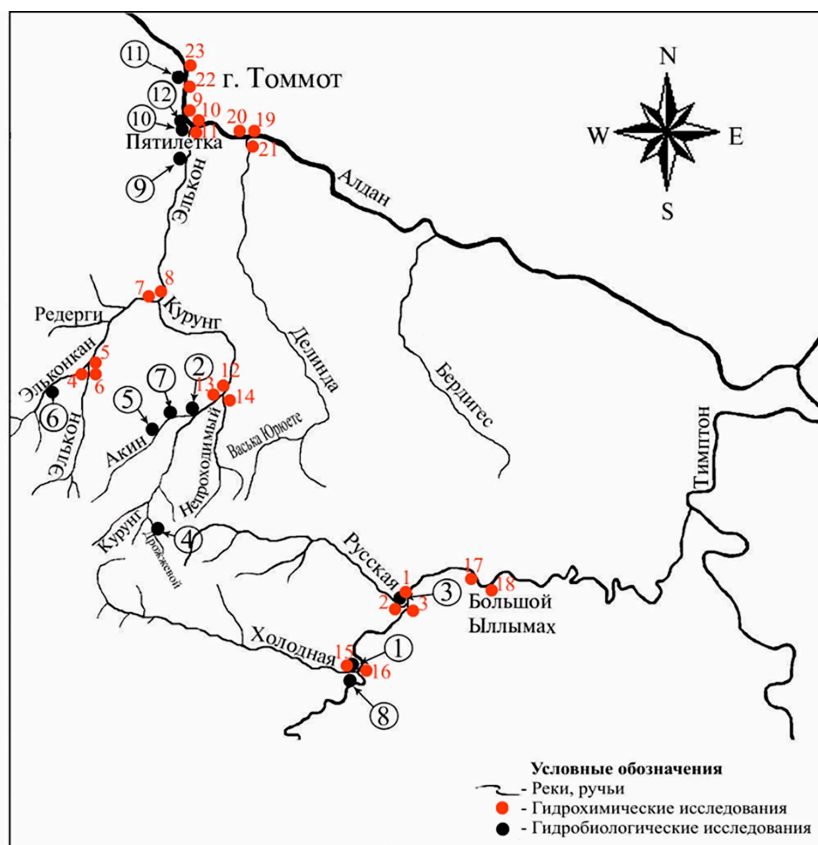
Гидробиологические исследования

Гидробиологические исследования поверхностных вод являются одним из важнейших инструментов для оценки экологического состояния природной среды. Важ-

ную роль в этом играют биоиндикаторы состояния водной среды, в качестве которых выступают такие гидробионты, как фитопланктон и фитоперифитон. Они чутко реагируют на любые изменения экологического состояния водоемов, характеризуют степень антропогенного загрязнения, явля-

ясь естественными индикаторами качества воды [11–14].

Результаты исследований по определению показателей видового состава, численности, биомассы фитопланктона и индекса сапробности в водных объектах представлены в таблице.



Карта-схема отбора проб воды на гидрохимический и гидробиологический анализы территории исследования

Основные параметры водорослей по водным объектам

п/п	Название водных объектов	Число видов	Численность тыс. (кл./л)	Биомасса (мг/л)	Сапробность (S)
1	Р. Холодная, устье	2	0,036	0,0001	–
2	Руч. Минеевский, устье	2	0,036	0,0001	–
3	Р. Русская, устье	5	283,680	0,72	0,43
4	Руч. Дрожжевой, ниже участка Д	5	5,040	0,02	–
5	Руч. Пропадающий, выше участка К1	5	4,080	0,02	1,4
6	Руч. Элькочан, среднее течение	2	0,036	0,0001	–
7	Руч. Пропадающий, ниже участка К1	2	0,548	0,002	–
8	Р. Большой Ыллымах, выше устья р. Холодной	4	0,072	0,0006	2,0
9	Р. Элькон, у моста	1	1,800	0,002	–
10	Р. Элькон, устье	4	0,198	0,0002	0,65
11	Р. Алдан, г. Томмот	2	0,012	0,00001	–
12	Р. Алдан, пос. Пятилетка	8	2,610	0,003	0,80

Как видно из таблицы, фитопланктон в водотоках крайне беден как по числу видов (от 1 до 8), так и по численности (от 0,012 до 283,680 тыс. кл/л) и биомассе (от 0,00001 до 0,72 мг/л). Основу выявленного списка фитопланктона водотоков составили виды из четырех отделов: Cyanobacteria – 1 вид, Ochrophyta – 1, Bacillariophyta – 17, Chlorophyta – 1 вид.

Среди отмеченных отделов водорослей доминирует отдел Bacillariophyta, где в обрастаниях высших водных растений (фитоперифитон) и камней (эпилиты) часто присутствовали – *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarneski, *Cymbella cistula* (Ehrenberg) O. Kirchner, *Odontidium hyemale* (Roth) Kützing, *Odontidium mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Diatoma vulgare* Bory, *Eunotia fallax* A. Cleve, *Eunotia diodon* Ehrenberg, *Eunotia praerupta* Ehrenberg, *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Williams & Round, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick, *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh, *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve, *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, *Staurosirella martyi* (Héribaud) Morales & Manoylov, *Tabellaria fenestrata* (Lynge) Kützing. Из отдела Cyanobacteria нечасто – *Chamaesiphon confervicola* A. Braun, *Tolypothrix distorta* Kützing ex Bornet & Flahault. Отдел Chlorophyta представлен редким видом *Chaetophoropsis elegans* (Roth) B. Wen Liu, Qian Xiong, X. Dong Liu, Z. Yu Hu & G. Xiang Liu и в обрастаниях постоянны из Ochrophyta – *Tribonema vulgare* Pascher.

В количественном отношении наиболее высокая численность водорослей отмечена в устье р. Русская, где средняя численность составила 283680 кл /л, биомасса 0,72 мг/л в сложении которых участвовали виды из отдела Bacillariophyta – *Odontidium hyemale*, *Diatoma vulgare*, *Fragilariforma virescens*, *Hannaea arcus*, *Tabellaria fenestrata*. В руч. Дрожжевой и Пропадающий выявлено по 5 видов водорослей, где средняя численность видов составила 5040 и 4080 кл/л, биомасса – 0,02 мг/л каждое.

Следует отметить, что по числу видов в одних и тех же реках имеются существенные различия. Например, в р. Элькон у моста (т. 9) и в устьевой части (т. 10) были обнаружены 1 и 4 вида соответственно. Обеднение фитопланктона можно отметить и на других участках р. Алдан, г. Томмот (т. 11) и пос. Пятилетка (т. 12), где было выявлено 2 и 8 видов соответственно. Видимо, в (т. 12) были благоприятные

условия для развития фитоперифитонных видов, где в количественных пробах фитопланктона встречались виды обрастатели мхов и высших водных растений из отдела Bacillariophyta – *Epithemia adnata*, *Eunotia diodon*, *Eunotia fallax*, *Eunotia praerupta*, *Staurosirella martyi*; из Cyanobacteria реофильный и нитчатый вид – *Tolypothrix distorta*; из Ochrophyta нитчатый вид – *Tribonema vulgare*.

Большое влияние на фитопланктон руч. Пропадающий на участках выше К 1 (т. 5) и ниже К 2 (т. 7) оказывают отвалы участка Курунг, что проявляется в низком уровне развития водорослей. По нашим данным, число видов уменьшается от 5 (т. 5) до 2 видов (т. 7), средняя численность от 4,080 до 0,5480 тыс. кл/л, биомасса от 0,02 до 0,002 мг/л соответственно. Видимо, это обусловлено радиоактивным загрязнением изучаемых вод руч. Пропадающий (т. 7), расположенного ниже отвалов участка Курунг.

Индекс сапробности варьирует в пределах 0,43–2,2. В р. Большой Ыллымах, выше устья р. Холодной найдены виды – индикаторы загрязнения водной среды, это *Gomphonema truncatum*, *Nitzschia palea*, сапробные значения которых составили 2,2–2,0 соответственно. Следует отметить, что в формировании качества воды существенными факторами являются проточность, а также физико-химические, биохимические и другие естественные процессы.

Полученные сведения по фитопланктону исследованных рек являются новыми и могут составить основу для создания базы данных для биомониторинга в условиях нарастания техногенных нагрузок на водные экосистемы р. Алдан.

Гидрохимические исследования

Гидрохимическое состояние рек в районе Эльконского горста изучалось в основном гидробиологами ЯНЦ СО РАН [15], мониторинг качества воды проводился на пункте наблюдения, расположенном на р. Алдан, 500 м выше г. Томмот.

Во время проведенных в периоды весеннего половодья и летней межени исследований было определено содержание следующих компонентов, характеризующих физико-химический состав воды: физические свойства (запах, прозрачность, водородный показатель, взвешенные вещества, жесткость), солевой состав (хлориды, сульфаты, кальций, магний, натрий, калий, гидрокарбонаты, сухой остаток), газовый состав (растворенный кислород, двуокись углерода),

биогеогенный состав (аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты, железо), загрязняющие вещества органического происхождения (ХПК, фенолы, нефтепродукты, АПАВ), а также ряд тяжелых металлов [8–10].

Результаты оценки гидрохимического состояния воды района Эльконского горста получены путем сравнения данных лабораторных исследований с предельно допустимыми концентрациями для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) [10]. Определено, что изучаемые речные воды имеют преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав. Гидрокарбонатно-кальциево-магниевые воды распространены незначительно. Воды характеризуются малой величиной общей минерализации с содержанием, не превышающим 200 мг/дм³, преимущественно нейтральной средой, по показателю жесткости очень мягкие. По водородному показателю в поверхностных водах Эльконского месторождения преобладают нейтральные (85%). Слабощелочные воды составляют 11%, а слабокислые – 4% от всех исследованных. По показателю общей жесткости доминируют очень мягкие воды (до 1,5 мг-экв/дм³, что составляет 74%, а также встречаются мягкие воды, составляющие 26% [8, 9].

Исследования газового состава воды на изучаемых водотоках, проведенные в весеннее время, показали, что содержание растворенного кислорода было высоким и колебалось от минимальной величины в 9,38 мг O₂ /л в точке р. Большой Ыллымах (67% насыщения) до максимальной величины в 15,92 O₂ /л, которое составило 113,7% насыщения в р. Курунг. Содержание двуокиси углерода не превышало нормируемых значений [8, 9]. Таким образом, газовый режим определен как удовлетворительный.

Отмечены разовые максимальные превышения содержания общего железа, меди и цинка, при этом их среднегодовое содержание не превышает предельно допустимых норм.

Концентрация большинства тяжелых металлов находится ниже нормируемых пределов. Из органических веществ в 19% пробах выявлено превышение предельно допустимых значений для водоемов рыбохозяйственного значения по нефтепродуктам [8].

Таким образом, содержание большинства нормируемых ингредиентов исследуемых водотоков верхнего течения р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значе-

ния. Из загрязняющих веществ [8] антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов. Вместе с тем в летнюю межень отмечалось увеличение в воде содержания сульфидов, связанное с техногенным воздействием отвалов горных пород, содержащих радиоактивные элементы и расположенных в бассейне р. Курунг [9].

Заключение

Впервые проведена инвентаризация водорослей рек бассейна р. Алдан в зоне расположения Эльконского ураново-рудного района. В таксономическом спектре основу фитопланктона формировали водоросли из отдела *Bacillariophyta*, менее разнообразны *Cyanobacteria*, единичны *Chlorophyta* и *Ochromyza*. Отмечена неравномерность пространственного распространения водорослей в различных реках в зависимости от различия концентрации и качественного состава органических веществ, поступающих в водоемы. Фитопланктон изученных рек крайне беден как по числу видов (от 1 до 8), так и по численности (от 0,012 до 283,680 тыс. кл/л) и биомассе (от 0,00001 до 0,72 мг/л). Большое влияние на фитопланктон руч. Пропадающего на участках выше К 1 (т. 5) и ниже К 2 (т. 7) оказывают отвалы участка Курунг, что проявляется в низком уровне развития водорослей. Индекс сапробности варьирует в пределах 0,43–2,20.

Исследования показали, что содержание большинства нормируемых ингредиентов в водотоках р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже допустимых уровней. Из загрязняющих веществ антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов.

В целом по результатам гидробиологических и гидрохимических исследований определено, что качественное состояние рек бассейна р. Алдан в пределах Эльконского горста обусловлено низкотемпературным характером режима климата и речных вод в условиях прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. Низкие показатели альгофлоры на станциях руч. Пропадающего, а также высокое содержание сульфидов в воде руч. Непроходимый являются последствиями техногенного загрязнения воды от горных отвалов участка Курунг.

Полученные результаты являются новыми и могут стать основой для создания базы данных по биомониторингу водных ресурсов бассейна р. Алдан.

Список литературы

1. Спирин Э.К., Филонов А.В., Киселев С.В. Эльконский ураново-рудный район как перспектива Российской уранодобывающей промышленности // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 11-1. С. 81–83.
2. Данилов А.А., Гласс И.Д., Е.С. Овчарова, Фомин В.Ю., Руденко А.А., Журавлев В.Г., Домаренко В.А. Перспективы освоения комплексных золотоурановых месторождений Эльконского района // *Золото и технологии*. 2021. № 3 (53). С. 34–41.
3. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.
4. Pantle R., Buck H. Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // *Gas und Wasserbach*. 1955. Vol. 96, Is. 18. P. 604–618.
5. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // *Ergebnisse Limnologie*. 1973. No. 7. P. 1–218.
6. Guiry M.D., Guiry G.M. Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org>. (дата обращения: 15.05.2023).
7. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Кузнецова Л.И. Естественные радионуклиды ^{238}U , ^{226}Ra и ^{222}Rn в поверхностных водах Эльконского ураново-рудного района (Южная Якутия) // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 6 (2019). С. 613–620. DOI: 10.31857/S0321-0596466613-620.
8. Николаева Н.А., Салова Т.А. Гидрохимические и гидробиологические исследования воды рек Южной Якутии в зоне разработки Эльконского ураново-рудного месторождения // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14652> (дата обращения: 20.07.2023).
9. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Ксенофонтова М.И. Оценка гидрохимического состояния рек бассейна Алдана в районе строительства Эльконского горно-металлургического комбината // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4659> (дата обращения: 30.07.2023).
10. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. Гидрологическое и гидрохимическое состояния поверхностных вод зоны влияния Эльгинского угольного месторождения // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9238> (дата обращения: 20.07.2023).
11. Parmar T.K., Rawtani D., Agrawal Y.K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution // *Frontiers in life science*. Taylor & Francis. 2016. No. 9 (2). P. 110–118.
12. Tulay O., Erkaya I.A., Solak C.N., Udoh A.U. Diversity and Ecology of Algae from Melen River (Western Black Sea River Catchment) in Turkey // *Turkish Journal of fisheries and aquatic sciences*. 2018. No. 18. P. 1187–1194.
13. Gökçe D. Algae as an Indicator of Water Quality. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/51074> (дата обращения: 15.05.2023).
14. Firsova A.D., Bessudova A.Y., Likhoshway Y.V., Kopyrina L.I. Chrysophycean stomatocysts from two unique lakes of Yakutia (Russia) // *Phytotaxa*. 2020. Vol. 474, Is. 3. P. 197–217.
15. Кузнецова Л.И., Чевычелов А.П. Мониторинг химического состава поверхностных вод в зоне хозяйственного освоения Амуро-Якутской железнодорожной магистрали // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019. Т. 24, № 1. С. 92–102. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-1-92-102.

УДК 504.054:[550.424.6+546.79]
DOI 10.17513/use.38089

О ТРАНСГРАНИЧНОМ ПЕРЕНОСЕ РАДИОНУКЛИДОВ ЛЕТУЧИМИ МЫШАМИ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

^{1,2}Смагин А.И., ³Чеботина М.Я., ³Гусева В.П., ⁴Орлов О.Л.

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск,
e-mail: smagin54@mail.ru;

²ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики»

Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, Озерск;

³Институт экологии растений и животных Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург;

⁴ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Тюмень

В работе приводятся результаты исследований уровней радиоактивного загрязнения летучих мышей (Chiroptera) из двух местообитаний в районе расположения радиационно опасного предприятия Производственного объединения «Маяк» на севере Челябинской области. Колонии рукокрылых располагались вне зоны радионуклидной геохимической аномалии на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения, под крышами построек на входе в городской парк г. Озерска и под крышами зданий лагеря отдыха недалеко от г. Кыштыма. Уровни радиоактивного загрязнения животных из выводковых колоний на севере Челябинской области в районе Кыштыма и Озерска варьировали в широких пределах при средних значениях для Озерска 31 ± 3 и 11 ± 2 , а Кыштыма – 341 ± 47 и 28 ± 15 кБк/кг для ^{90}Sr и ^{137}Cs соответственно. Контролем служили животные, обитающие на территории Свердловской области, у которых удельная активность соответствовала радиационному фону и составляла по накоплению ^{90}Sr и ^{137}Cs $\sim 0,005$ кБк/кг. Значительная часть летучих мышей из обоих местообитаний, расположенных на севере Челябинской области, по содержанию радионуклидов превышала статус радиоактивных отходов. В г. Озерске эта доля превышения по ^{137}Cs составила 38% от общего числа отловленных тушек животных, в лагере отдыха их доля составила 62% по ^{90}Sr и 37% по ^{137}Cs . Трансграничный перенос искусственных радионуклидов рукокрылыми на значительные расстояния и скопление животных в выводковых колониях вдали от источников загрязнения могут представлять угрозу облучения человека.

Ключевые слова: трансграничный перенос, радионуклиды, концентрации, восточный склон Южного Урала, Челябинская область, ПО «Маяк», летучие мыши, г. Озерск, лагерь отдыха

ON THE CROSS-BORDER TRANSFER OF RADIONUCLIDES BY BATS IN THE AREA OF THE LOCATION OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE ENTERPRISE

^{1,2}Smagin A.I., ³Chebotina M.Ya., ³Guseva V.P., ⁴Orlov O.L.

¹Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: smagin54@mail.ru;

²South Ural Institute of Biophysics of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Ozersk;

³Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg;

⁴Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tyumen

The article presents the results of studies of the levels of radioactive contamination of bats (Chiroptera) from two habitats in the area of the location radiologically hazardous enterprise of the Production Association "Mayak" in the north of the Chelyabinsk region. Colonies of bats were located outside the zone of radionuclide geochemical anomaly in territories without elevated levels of radioactive contamination, under the roofs of buildings at the entrance to the park in Ozyorsk town and under the roofs of recreation camp buildings near Kyshtym town. The levels of radioactive contamination of animals from breeding colonies in the north of the Chelyabinsk region in the area of Kyshtym and Ozyorsk varied widely, with average values for the city of Ozyorsk being 31 ± 3 and 11 ± 2 , and for the city of Kyshtym – 341 ± 47 and 28 ± 15 kBq/kg for ^{90}Sr and ^{137}Cs respectively. Animals inhabiting the territory of the Sverdlovsk region served as the control, in which the specific activity corresponded to the radiation background and amounted to ~ 0.005 kBq/kg in terms of accumulation of ^{90}Sr and ^{137}Cs . A significant part of bats from both habitats located in the north of the Chelyabinsk region exceeded the status of radioactive waste in terms of the content of radionuclides. In the city of Ozyorsk, this proportion of ^{137}Cs excess was 38% of the total number of captured animal carcasses; in the rest camp, their share was 62% for ^{90}Sr and 37% for ^{137}Cs . Transborder transport of artificial radionuclides by bats over considerable distances and the accumulation of animals in brood colonies away from sources of pollution can pose a threat to the effects of ionizing radiation on humans.

Keywords: transboundary transport, radionuclides, concentrations, eastern slope of the Southern Urals, Chelyabinsk region, PO "Mayak", bats, Ozersk, recreation camp

В конце 1940-х гг. начало работу предприятие ядерного оборонного комплекса ПО «Маяк» на севере Челябинской области [1]. Заводы размещались на восточном склоне Уральских гор на границе Среднего и Южного Урала.

В 1940-х гг. технологиями производства ядерного оружия владели только США, в СССР и других ведущих странах мира подобные технологии отсутствовали. После бомбардировки в августе 1945 г. городов Хиросимы и Нагасаки перед нашей страной возникла сверхзадача – в кратчайшие сроки создать ядерный щит нашей страны [2, с. 44–53]. Ускоренные темпы строительства, разработка и запуск новых технологий в производство явились причиной ряда радиационных инцидентов в начале – середине 1950-х гг. на новом ядерном комплексе заводов. В результате в зоне воздействия предприятия сформировалась радионуклидная геохимическая аномалия [2, с. 85–86]. Известно, что поступившие в геосферу искусственные радионуклиды, вовлекаясь в геохимические процессы, мигрируют с воздушными и водными потоками на большие расстояния, накапливаются в почве, донных отложениях, а также организмах биоты. Накапливая радиоактивные вещества, животные и птицы могут мигрировать на большие расстояния. В настоящее время известно, что техногенные радионуклиды могут накапливаться в организмах рукокрылых (Chiroptera) [3]. Особенности накопления и переноса радиоактивных веществ летучими мышами до конца не изучены до настоящего времени.

Целью работы является исследование особенностей радионуклидного загрязнения летучих мышей из двух местообитаний на Южном Урале и их роль в миграции радионуклидов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись рукокрылые, накапливающие значительные концентрации техногенных радионуклидов, а предметом – трансграничный перенос радиоактивных веществ за пределы радионуклидной геохимической аномалии в организме животных.

Летучие мыши – животные, способные к длительному полету. У рукокрылых небольшая плодовитость, поэтому многие виды занесены в Красные книги и подлежат охране. На территории Челябинской об-

ласти массовыми видами летучих мышей, которые не занесены в Красную книгу, являются прудовая ночница *Myotis dasycneme* (Boie, 1825), двухцветный кожан *Vespertilio murinus* (L., 1758), северный кожанок *Eptesicus nilssonii* (Key. Et Blas., 1839) [4]. Эти виды авторы использовали для проведения исследований. Отлов животных проводили у строений на входе в городской парк г. Озерска (береговая зона оз. Иртыш (55°46'42"с.ш., 60°42'24"в.д.) и деревянных строений лагеря отдыха в рекреационной зоне на берегу озера в районе г. Кыштыма (55°38'11"с.ш., 60°38'10"в.д.). Контрольной территорией являлся юг Свердловской области – окрестности г. Новоуральска, природного парка «Оленьи ручьи» (56°31'30"с.ш., 60°42'24"в.д.) и Смолинская пещера (56°25'47"с.ш., 61°36'40"в.д.). Поскольку обитающие на контрольной территории прудовая ночница и северный кожанок занесены в Красную книгу Свердловской области, в процессе проведения исследований были использованы животные, погибшие во время зимовки. При плановых учетах рукокрылых, зимующих в пещерах, авторами было собрано семь погибших во время зимовки особей прудовых ночниц в Смолинской пещере и одна погибшая особь северного кожанка на территории природного парка «Оленьи ручьи». В районе г. Новоуральска было отловлено 6 особей двухцветного кожана – вида, не занесенного в Красную книгу.

Для выявления выводковых колоний рукокрылых авторы проводили опросы населения и персонала лагерей и баз отдыха. Осматривали стены зданий для обнаружения помета рукокрылых, использовали ультразвуковые детекторы и дозиметры. Отлов животных проводили ряжевными сетями, развешенными напротив вылета животных из убежищ. Попавших в сеть животных освобождали, определяли вид и усыпляли с помощью эфира.

В г. Озерске на входе в городской парк были обнаружены крупные колонии импактных рукокрылых. В процессе многолетнего мониторинга уровней накопления радионуклидов рукокрылыми в период с 2001 по 2007 г. было отловлено более 40 особей. Для исследования поступления радионуклидов в организм животных было отобрано несколько сотен граммов сухих экскрементов летучих мышей. На территории лагеря отдыха в процессе мониторинговых наблюдений за радиационно-

опасной популяцией рукокрылых в период с 2013 по 2017 г. было отловлено 45 животных. В качестве контрольных использовали животных, отловленных на территории Свердловской области в 2011–2012 гг. [3]. Отловленных рукокрылых усыпляли эфиром, а затем определяли концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.6.1.0094-14 [5]. Определение концентрации ^{90}Sr осуществляли в соответствии с ГОСТ 32163-2013 [6], а ^{137}Cs – ГОСТ 32161-2013 [7]. Помет поштучно измеряли на низкофономом β -радиометре МФ-60.

Статистическую обработку результатов измерений и расчеты коэффициентов вариации проводили, используя стандартные методы [8] и компьютерную программу STATISTICA [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Контрольные территории

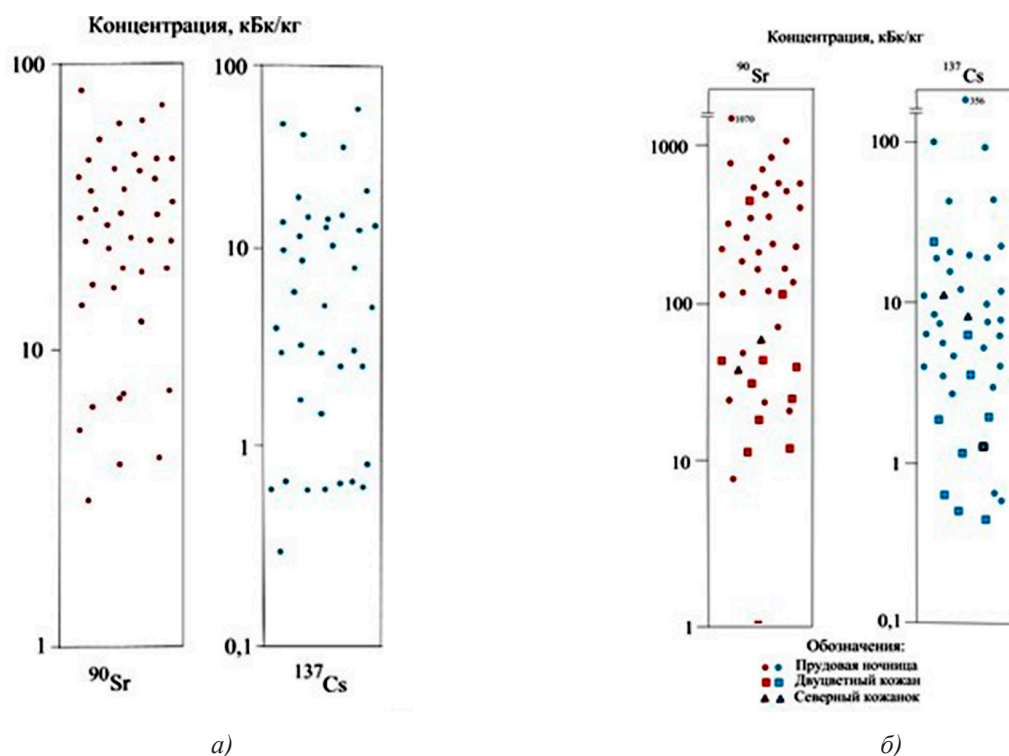
Для анализа на контрольных территориях были отобраны погибшие прудовые ночницы, двухцветные кожаны и северные кожаны. Концентрации радионуклидов в организмах летучих мышах приведены в таблице.

В организмах прудовых ночниц из природного парка «Оленьи ручьи» и Смолинской пещеры концентрация ^{90}Sr была в пределах 0,01–0,19 кБк/кг при среднем значении 0,05 кБк/кг. Близкое значение концентрации ^{90}Sr имели три особи двухцветного кожана из района Новоуральска, а у трех особей концентрация ^{90}Sr была выше на порядок величин (0,3–0,5 кБк/кг). Можно предположить, что некоторые животные из этой колонии в районе г. Новоуральска посещают более загрязненные радиостронцием места, а другие же питаются на территориях с уровнями глобального радиационного фона. Концентрация ^{137}Cs во всех рукокрылых контрольной группы была ниже предела обнаружения (НПО).

Усредненные концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках контрольной группы летучих мышей, кБк/кг [3]

Вид (количество животных, шт.)	^{90}Sr	^{137}Cs
Прудовая ночница (12)	0,05± 0,02	НПО
Двухцветный кожан (6)	0,19± 0,08	НПО
Северный кожанок (1)	0,10*	НПО

Примечание. НПО – ниже предела определения (> 1 Бк/кг). *Одна особь.



Уровни концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках рукокрылых:

а) прудовых ночниц в г. Озерске, б) рукокрылых нескольких видов в лагере отдыха под Кыштымом

Авторами было установлено, что видовой состав выводковых колоний рукокрылых г. Озерска представлен одним видом – прудовая ночница. Ориентировочная численность животных составляет 400–500 особей. В выводковых колониях на территории баз отдыха авторами обнаружено три вида летучих мышей. В период мониторинговых наблюдений авторами было отловлено 32 особи прудовых ночниц, 11 двухцветных кожанов и 2 северных кожанка. На рисунке приведены результаты индивидуальных измерений концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в тушках животных.

Город Озерск

Видно, что в указанный период концентрация ^{90}Sr в организмах животных варьировала в широких пределах – от 3 до 83 кБк/кг при среднем значении 31 ± 3 кБк/кг, а ^{137}Cs – от 0,3 до 63 кБк/кг при среднем значении 11 ± 2 кБк/кг. Примерно 80% животных содержали от 10 до 100 кБк/кг ^{90}Sr и от 1 до 20 кБк/кг ^{137}Cs . Прудовые ночницы из колоний в г. Озерске накапливали ^{90}Sr достоверно больше, чем ^{137}Cs ($p < 0,05$). Часть радионуклидов, поступивших с рационом в организм самок, за время беременности передается через плаценту зародышам. Эмбрионы прудовых ночниц из выводковых колоний г. Озерска содержали от 19,6 до 51 кБк/кг ^{90}Sr и от 20,4 до 60,7 кБк/кг ^{137}Cs .

При поштучном анализе 600 образцов экскрементов прудовых ночниц на β -активность выявлена вариабельность содержания радионуклидов: в 46% суммарная β -активность превышала фоновые значения в 1,5–2 раза, в 30% – от 2 до 10 раз, в 9% – более чем в 10 раз, в том числе в 3% случаев – в 100 и более раз. В образцах помета прудовых ночниц были обнаружены ^{90}Sr , $^{134,137}\text{Cs}$, ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{154}Eu , $^{239,240}\text{Pu}$. Концентрации ^{90}Sr в основной массе проб экскрементов варьировали от 26 до 453 кБк/кг, а ^{137}Cs – от 17 до 73 кБк/кг. Однако некоторые пробы помета содержали на порядки более высокие концентрации радионуклидов, чем указано выше.

Лагерь отдыха под Кыштымом

Как и в г. Озерске, концентрация радионуклидов в организме рукокрылых отличалась значительной вариабельностью, достигающей в ряде случаев нескольких порядков величин. Так, концентрация ^{90}Sr в организмах прудовых ночниц варьировала от 8 до 1112 кБк/кг (среднее значение 341 ± 47 кБк/кг), а ^{137}Cs – от 0,7 до 356 кБк/кг

(среднее значение 28 ± 15 кБк/кг). В тушках двухцветного кожана минимальное содержание ^{90}Sr регистрировалось на уровне 0,2 кБк/кг, а максимальное – 400 при среднем значении 63 ± 40 кБк/кг. Для ^{137}Cs минимальные значения активности радионуклида были на грани предела обнаружения, а максимальные – 22 кБк/кг при среднем значении 4 ± 2 кБк/кг. Две особи северного кожанка содержали соответственно 48 и 36 кБк/кг ^{90}Sr и 11 и 0,8 кБк/кг ^{137}Cs . Как и в г. Озерске, тушки исследованных животных содержали достоверно больше ^{90}Sr , чем ^{137}Cs ($p \leq 0,05$).

Выводковые колонии импактных рукокрылых в г. Озерске и районе г. Кыштыма располагались за пределами радионуклидной геохимической аномалии на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения. В то же время все животные из исследованных колоний имели повышенные уровни накопления техногенных радионуклидов, а значительная часть летучих мышей по концентрациям ^{90}Sr и ^{137}Cs соответствовала статусу радиоактивных отходов. Так, у 38% мышей, отловленных на входе в парк г. Озерска, концентрация ^{137}Cs превышала уровень, регламентированный для радиоактивных отходов – 10 кБк/кг, концентрация ^{90}Sr у всех животных оказалась ниже статуса радиоактивных отходов – 100 кБк/кг в соответствии с Санитарными правилами ОСПОРБ-99/2010. В лагере отдыха под г. Кыштымом количество рукокрылых, в организмах которых концентрация ^{90}Sr соответствовала уровню радиоактивных отходов, составляло 62%, а ^{137}Cs – 37%. Что касается экскрементов, то значительная их часть также по уровню радиоактивного загрязнения относится к радиоактивным отходам. В некоторых деревянных строениях на стыках стен с крышей и чердаках регистрировались повышенные дозы ионизирующего излучения, достигавшие 3,5–8,0 мкЗв/ч, при этом радиационное загрязнение превышало допустимые пределы, регламентируемые нормами радиационной безопасности НРБ-99/10.

Расчеты показали, что концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs у прудовых ночниц (доминирующий вид рукокрылых) из колоний в г. Озерске имеют практически одинаковые коэффициенты вариации (C_v) – 62,6, а у животных из колоний в районе г. Кыштыма значения показателя по ^{90}Sr и ^{137}Cs составляли 87 и 137 соответственно. Различия в значениях C_v связаны с разнообразием факторов, влияющих на процесс накопления радионуклидов.

Не вызывает сомнений, что источником поступления техногенных радионуклидов является зона радионуклидной геохимической аномалии в районе расположения ПО «Маяк». Питание прудовых ночниц происходит в большей части насекомых, цикл развития которых связан с водоемами. В зоне радионуклидной аномалии ПО «Маяк» расположены многочисленные водоемы с различной степенью загрязнения техногенными радионуклидами. В водоемах на периферии Восточно-Уральского радиоактивного следа концентрации техногенных радионуклидов в воде не превышают уровень вмешательства для ^{90}Sr – 5,5, а ^{137}Cs – 11 Бк/л по НРБ-99/10 [10], а в водоемах – хранилищах радиоактивных отходов этот показатель составляет > 1000 Бк/л [11]. Концентрация ^{90}Sr в реках на территории России составляет $\sim 0,006 < \text{Бк/л}$ [12].

На уровне накопления радиоактивных веществ животными влияют: структура рациона питания отдельных особей, избирательность питания по отношению к различным группам насекомых и другие факторы [13]. Когда численность насекомых в районе расположения выводковых колоний снижается, животные летают кормиться на более удаленные территории – в зону геохимической радионуклидной аномалии. Известно, что скорость полета прудовой ночницы составляет 500–600 м/мин. Такая скорость позволяет преодолеть расстояние до водоемов в зоне геохимической радиационной аномалии. Из колонии в г. Озерске животные могут достигнуть района водоема-охладителя ПО «Маяк» за 6–7 мин, а за 10–15 мин – Теченского каскада водоемов хранилища отходов (ТКВ). Из колонии в районе г. Кыштыма время полета в район водоемов ТКВ составляет 15–20 мин.

При дозиметрическом обследовании Аракаевской и Смолинской пещер, расположенных в Свердловской области, где зимуют тысячи зверьков, повышенных уровней радиоактивного загрязнения обнаружено не было. Животные с контрольных территорий имели значительно меньшее содержание ^{90}Sr – на уровне техногенного фона Урала и практически не накапливали ^{137}Cs по сравнению с животными из зоны воздействия ПО «Маяк».

Отсутствие радиоактивных рукокрылых и их помета в местах традиционных зимовок в Челябинской и Свердловской областях позволяет заключить, что зимуют животные в техногенных убежищах на территории промышленной площадки ПО «Маяк. Это

различные подземные коллекторы и долгие убежища с условиями, близкими к условиям пещер.

Ввиду присущей летучим мышам привязанности к местам своего летнего и зимнего обитания («хоминг») после работ по дезактивации чердаков зданий – мест базирования выводковых колоний рукокрылых, радиоактивные животные вновь заселяли выбранные места. Поэтому в местах проведения исследований была разработана и использована практика механического перекрытия всех входных отверстий, через которые животные имели доступ в убежища под крышами зданий. Поскольку в отряд рукокрылых входят многие редкие виды, нуждающиеся в охране, в подобных конфликтных ситуациях между человеком и животными следует разрабатывать специальные меры по переориентированию их в другие места базирования, в том числе создание искусственных убежищ, с помощью которых удастся переселить часть колоний на более удаленные от радиоактивного загрязнения территории.

Исследования накопления радионуклидов летучими мышами в районе аварии на Чернобыльской атомной станции, где загрязнение территории характеризуется высокой мозаичностью и отсутствием избирательного повышенного загрязнения водных экосистем, позволили установить, что рукокрылые, привязанные к водоемам, загрязнены не больше других млекопитающих [14].

Заключение

В зонах размещения крупных ядерных объектов, каким является Производственное объединение «Маяк» в Челябинской области, в результате производственной деятельности и аварийных ситуаций создаются условия для загрязнения радионуклидами окружающей среды, вследствие чего возможно накопление радионуклидов летучими мышами в количествах, достигающих в ряде случаев уровня радиоактивных отходов.

Трансграничный перенос радионуклидов рукокрылыми импактных популяций и обитание радиоактивных животных в выводковых колониях на территориях, не имеющих повышенных уровней радиоактивного загрязнения, может создавать условия дополнительного радиационного облучения населения. Источниками излучения являются сами радиоактивные животные и особенно продукты их жиз-

недеятельности – помёт, скапливающийся в течение десятков лет на чердаках зданий. При проведении контроля радиационной обстановки в районах, имеющих территории с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения, экологическим и санитарно-эпидемиологическим службам необходимо учитывать возможность транспорта искусственных радионуклидов животными на большие расстояния.

Список литературы

1. О предприятии «Маяк». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.po-mayak.ru/about> (дата обращения: 10.05.2023).
2. Смагин А.И. Ядерные взрывы и радиационные аварии: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. 116 с.
3. Смагин А.И., Чеботина М.Я., Орлов О.Л., Гусева В.П., Сидоркина О.М. Накопление радионуклидов рукокрылыми (Chiroptera) на Урале // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 6. С. 639–646.
4. Снитько В.П., Снитько Л.В. Рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) Южного Урала (Челябинская область) // Зоологический журнал. 2017. № 3. С. 320–349.
5. МР 2.6.1.0094-14 Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах: методические рекомендации. М., 2014. 42 с.
6. ГОСТ 32163-2013 Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. М., 2019. 7 с.
7. ГОСТ 32161-2013 Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. М., 2019. 7 с.
8. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
9. STATISTICA 10.0.1011 Eneterpise (x86/x64) [Электронный ресурс]. URL: <https://allsoft.top/statsoft-statistica/?yclid=I13charu10182601617> (дата обращения: 14.06.2023).
10. Смагин А.И. Гигиеническая оценка загрязнения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs воды и рыбы в озерах головной части периферийной зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа // Гигиена и санитария. 2023. № 3. С. 208–213.
11. Отчет по экологической безопасности ФГУП «ПО «Маяк» за 2017 год. Госкорпорация «Росатом», ФГУП «ПО «Маяк». Озерск: РИЦ ВРБ, 2018. 48 с.
12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2018. 376 с.
13. Первушина Е.М., Гизуллина О.Р. Опыт изучения избирательности питания *Vespertilio murinus* (Chiroptera, Vespertilionidae) // Экология. 2020. № 5. С. 397–400.
14. Гащак С.П., Влащенко А.С., Наглов А.В. Результаты изучения фауны и радиоактивного загрязнения рукокрылых Чернобыльской зоны отчуждения в 2007–2009 // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. 2009. Вып. 9. С. 102–124.

УДК 556.55:502

DOI 10.17513/use.38090

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДОЕМЫ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ): ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Замана Л.В.,
Абрамова В.А., Таскина Л.В., Куклин А.П.

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии»

Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: NatTash2005@yandex.ru

В Восточном Забайкалье за последние несколько десятков лет при разработке месторождений полезных ископаемых сформировалось достаточное количество разнообразных озерных образований. В зависимости от минералого-геохимических особенностей добываемого сырья эти новообразованные системы отличаются широким спектром физико-химических характеристик водной среды. Большинство водоемов находятся под влиянием высоких концентраций растворенных ионов (до 2618 мг/л) и имеют широкий диапазон значений pH (3,14–9,42). В статье охарактеризованы морфометрические параметры водоемов, химический состав вод, видовое разнообразие и структура сообществ фито- и зоопланктона карьерных озер Балейского золоторудного узла (Балейский, Новотроицкий и Тасеевский карьеры), Завитинского литий-бериллиевого и Жипкошинского сурьмяного месторождений. Водоросли и беспозвоночные этих водных систем изучены впервые. Планктон отличался низким видовым разнообразием – 51 таксон водорослей и 42 вида беспозвоночных. По географическому распространению в фито- и зоопланктоне доминируют космополиты, по местообитанию – планктонно-бентосные и планктонные виды водорослей и эврибонтные виды беспозвоночных. Численность и биомасса водорослей варьировали в пределах 4,8–22535,32 тыс. кл./л и 8,57–1565,52 мг/м³ соответственно, беспозвоночных – 13,19–542,63 тыс. экз./м³ и 6,54–1992,60 мг/м³. Доминирующий комплекс сообществ фитопланктона обследованных водоемов носил цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей, зоопланктон слагался преимущественно мелкоразмерными формами – коловратками и младшевозрастными стадиями копепоид.

Ключевые слова: Юго-Восточное Забайкалье, месторождение, техногенные водоемы, химический состав вод, фитопланктон, зоопланктон

MINING WATER BODIES (TRANSBAIKAL REGION): ENVIRONMENTAL FEATURES

Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Zamana L.V.,
Abramova V.A., Taskina L.V., Kuklin A.P.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: NatTash2005@yadex.ru*

In Eastern Transbaikalia over the past few decades, during the development of mineral deposits, a sufficient number of various lake formations have formed. Depending on the mineralogical and geochemical characteristics of the extracted raw materials, these newly formed systems are distinguished by a wide range of physicochemical characteristics of the aquatic environment. Most water bodies are under the influence of high concentrations of dissolved ions (up to 2618 mg/l) and have a wide range of pH values (3,14–9,42). The article describes the morphometric parameters of water bodies, the chemical composition of waters, species diversity and the structure of phyto- and zooplankton communities in quarry lakes of the Baleisky gold ore cluster (Baleysky, Novotroitsky and Taseevsky quarries), Zavitinsky lithium-beryllium and Zhipkoshinsky antimony deposits. The algae and invertebrates of these water systems have been studied for the first time. Plankton was characterized by low species diversity – 51 taxa of algae and 42 species of invertebrates. In terms of geographic distribution, phyto- and zooplankton are dominated by cosmopolitans; in terms of habitat, planktonic-benthic and planktonic species of algae and eurybiont species of invertebrates dominate. The number and biomass of algae varied within 4.8–22535.32 thousand cells/l and 8.57–1565.52 mg/m³ .54–1992.60 mg/m³. The dominant complex of phytoplankton communities in the surveyed water bodies was cyanobacterial-diatom in nature with some participation of green algae; zooplankton was composed mainly of small-sized forms – rotifers and young stages of copepods.

Keywords: South-Eastern Transbaikalia, deposit, technogenic reservoirs, chemical composition of waters, phytoplankton, zooplankton

Забайкальский край – старейший горно-рудный регион России. Активная добыча полезных ископаемых велась в прошлом столетии и на некоторых объектах продолжается до настоящего времени [1, с. 147–225].

Длительная масштабная горнопромышленная деятельность приводит к значительным по площади и характеру преобразова-

ниям природных ландшафтов. Образуются техногенные формы рельефа – рудные карьеры, хвостохранилища, отвалы вскрышных и вмещающих пород, котлованы, выемки рудоносных песков, илоотстойники, дражные отвалы [2]. После открытой разработки рудных месторождений формируются водоемы, которые принято называть

«карьерными озерами», которые в зависимости от особенностей добываемого сырья отличаются широким спектром физико-химических характеристик водной среды [3].

Актуальность оценки состояния и перспектив развития новообразованных водных систем определяется прогрессирующим увеличением добычи полезных ископаемых открытым способом. Обводненные карьеры обладают принципиальным сходством гидрохимических, биопродукционных, седиментационных процессов с естественными лимническими системами, а также характеризуются рядом специфических черт, обусловленных техногенной природой и молодостью котловины [4]. Однако биологическая составляющая аквальных систем такого типа изучена слабо. В ряде работ представлены данные по некоторым группам гидробионтов: бактерии [5, 6], фитопланктон [7–9], зоопланктон [10–12] и пр.

Целью настоящей работы является изучение химического состава техногенных

вод и основных характеристик планктонных сообществ.

Материалы и методы исследования

Основными объектами опробования в августе 2022 г. были карьерные озера Балейского рудного узла (Балейский, Новотроицкий и Тасеевский карьеры) Завитинского и Жипкошинского месторождений (рис. 1).

Балейско-Тасеевское рудное поле включает два золоторудных месторождения – Балейское и Тасеевское. *Балейское месторождение* было введено в эксплуатацию в 1929 г. и обрабатывалось подземным и открытым способами. Открытая разработка прекращена в 1992 г. из-за приближения контура карьера к жилой застройке г. Балей [13]. Балейский карьер имеет размеры около 1 км в длину и глубину более 133 м. Основными источниками водного питания являются подземные и инфильтрационные воды р. Унда. В карьер сбрасываются также городские сточные воды [2].

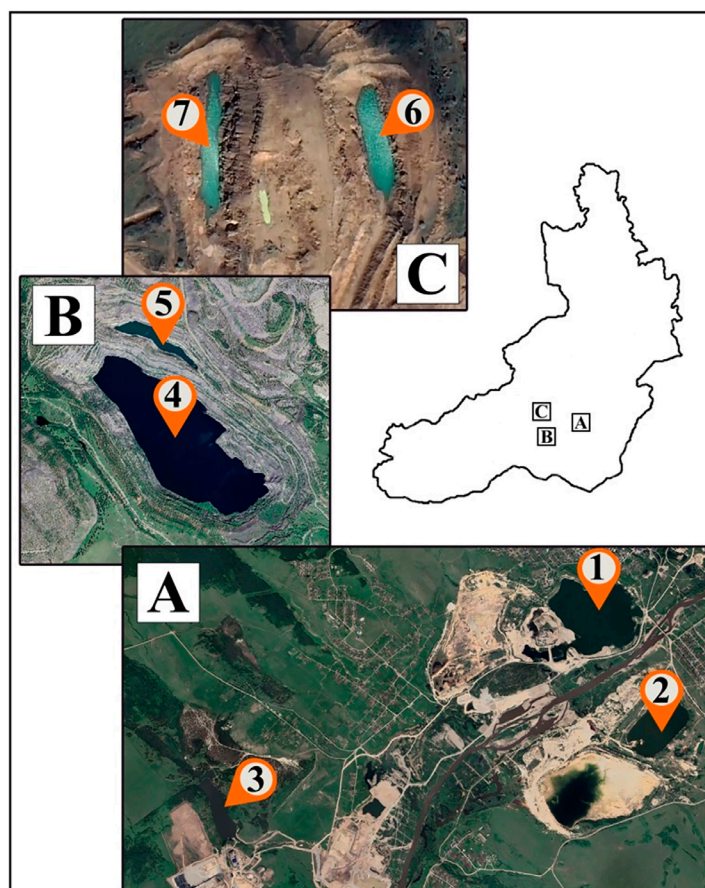


Рис. 1. Карта-схема основных пунктов опробования:
 А – Балейский рудный узел, В – Завитинское месторождение, С – Жипкошинское месторождение;
 Карьеры: 1 – Балейский, 2 – Тасеевский, 3 – Новотроицкий, 4 – Завитинский нижний,
 5 – Завитинский верхний, 6 – Жипкошинский верхний, 7 – Жипкошинский нижний

Тасеевское месторождение разрабатывалось с 1948 по 1994 г. подземным и открытым способами. С 1994 г. Тасеевский карьер и все подземные горные выработки находятся в обводненном состоянии [14]. Новотроицкое месторождение ториеносных монацитсодержащих песков обрабатывалось с 1949 по 1964 г. Новотроицкий карьер в настоящее время затоплен [15].

Добыча руды на Завитинском бериллий-литиевом месторождении велась открытым способом. В 1997 г. рудник был закрыт. В настоящее время в контурах месторождения расположены отвалы вскрышных пород и два карьерных озера, которые используются местным населением п. Первомайский для отдыха и рыбной ловли [16].

Жипкошинское месторождение открыто в 1955 г. Площадь Жипкошинского карьера менее 0,001 км² [9].

Химико-аналитические исследования проб воды на макрокомпоненты и некоторые микроэлементы проведены в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН (г. Чита). Анализы водных проб методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) выполнены в аналитическом центре Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Электропроводность, температура, pH и Eh измерялись на месте опробования.

Сбор и анализ проб фито- и зоопланктона проводились с использованием стандартных методик [17, с. 47–58, 67–71, 18, с. 140–411]. Пробы фитопланктона отбирались из одного-трех горизонтов (приповерхностный, глубина прозрачности, придонный), пробы зоопланктона – тотально (дно – поверхность) средней сетью Джели (размер ячеек сита 0,064 мм) и процеживанием 100 л воды (интегральная проба) через сетку (ячейка 0,073 мм).

Всего было отобрано 30 водных и 38 планктонных проб.

Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010, STATISTICA 10 и Origin 2021. Корреляционная карта (*correlation heat map*) сгенерирована с использованием Origin 2021.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные морфометрические и физико-химические характеристики карьерных озер приведены в табл. 1.

Площадь изученных карьерных озер варьировала в широких пределах. Наимень-

шими являются карьеры Жипкошинского месторождения (0,2–2,64 км²), наибольшими – Балецкий (732257 м²) и Завитинский нижний (434479 м²) карьеры.

Максимальные глубины изменялись от 2 (Жипкошинский карьер (нижний)) до 133 м (Балецкий карьер). Прозрачность воды варьировала от 0,5 до 6,5–7 м. Наибольшие значения отмечены в Балецком и Завитинском (нижнем) карьерах. Поверхностный слой воды в карьерных озерах прогревался до 13,2–21,0 °С. Воды карьерных озер по величине pH варьировали от кислых (3,14–3,27, Тасеевский карьер) до щелочных (9,42, Новотроицкий карьер). Значения Eh находились в интервале от 121 (Завитинский (нижний) и Новотроицкий карьеры) до 600 мВ (Тасеевский карьер). По сумме ионов наиболее минерализованными были воды Тасеевского (2606–2618 мг/л) и Завитинского (1404–1593 мг/л) карьеров, наименее – воды Новотроицкого (75,7 мг/л). По анионному составу воды карьерных озер сульфатные, реже – гидрокарбонатно-сульфатные. В катионном составе преобладали Ca²⁺ и Mg²⁺ в переменных соотношениях.

Фитопланктон карьеров представлен 51 таксоном водорослей рангом ниже рода, из 7 отделов – Cyanobacteria (8), Chrysophyta (2), Bacillariophyta (17), Dinophyta (3), Chlorophyta (13), Charophyta (4) и Euglenophyta (4). Наиболее разнообразными были диатомовые и зеленые водоросли, а также цианобактерии (33,3; 25 и 16,7% соответственно). Максимальное богатство водорослей наблюдалось в Балецком озере (до 30 таксонов); минимальное (0–7) – в Тасеевском. Распределение видовой насыщенности фитопланктона, оцененной значениями удельного видового богатства, показало, что воды обследованных техногенных водоемов мало разнообразны в таксономическом отношении (11±7 таксонов в пробе).

Анализируя соотношение отделов водорослей в обследованных водоемах, можно отметить преобладание отделов Chlorophyta и Bacillariophyta в Завитинском и Новотроицком карьерах. Cyanobacteria, Chlorophyta и Bacillariophyta имели наибольший вес в Балецком карьере, а представители Bacillariophyta преобладали в Жипкошинском и Тасеевском карьерах. Доминирующий комплекс фитопланктона водоемов отличался. Преимущественно он носил цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей.

Таблица 1

Физико-химические параметры (min-max) техногенных вод горнопромышленных объектов рудных месторождений Восточного Забайкалья

Название станции	Балейский золоторудный узел				Жипкошинское сурьмяное месторождение		Завитинское литий-бериллиевое месторождение	
	Новотроицкий моноцитовый карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Жипкошинский карьер верхний	Жипкошинский карьер нижний	Завитинский карьер верхний	Завитинский карьер нижний	
Координаты станции	N 51°32.824" E 116°34.940"	N 51°33.491" E 116°39.126"	N 51°34.204" E 116°38.504"	N 51°36.115" E 115°15.365"	N 51°36.489" E 115°15.227"	N 50°41.127" E 115°36.701"	N 50°40.649" E 115°37.069"	
Alt	636	571,8–575	560–1298	847		665	605	
S	126269	281136	732257	2283	2034	29816	434479	
H	10,1	72	133	6,5	2	11,3	33,0	
TR	0,5	5	6,5	4,5	2	6	7	
T	13,2	18–18,6	17,6–19,6	18,4–19,5	18,1–19,9	18,2–21	21,0	
pH	9,42	3,14–3,27	7,55–8,16	8,4–8,59	8,44–8,46	6,68–7,32	8,24	
Eh	138	539–600	159–196	279–338	261–315	231–281	121	
∑ионов	75,7	2606–2618	771–792	213–217	262–265	1404–1593	1238	
CO ₂	9,58	–	7,95–8,13	3,68–4,16	4,36–4,84	6,39–8,62	3,87	
HCO ₃ ⁻	51,7	–	104–109	78,6–78,8	103–103,2	27,1–28,3	114,5	
SO ₄ ²⁻	5,7	1964–1996	412–430	75,5–77,3	80–95,2	952–1121	740,2	
Cl ⁻	0,8	10,1–10,7	29,4–29,5	0,69	0,3–0,69	14,5–14,6	31,6	
F ⁻	0,29	2,15–2,2	0,4–0,41	0,27–0,28	0,37–0,38	1,25–1,3	0,53	
Ca ²⁺	10,1	225–233	138–145	39,9–42,9	45,5–53,8	293–310,4	244,9	
Mg ²⁺	2,82	217–220	56,4–57,5	6,68–7,06	11,6–13,6	78,8–81	60	
Na ⁺	1,49	101–111	15,8–16,5	6,36–6,38	5,32–6,18	22,9–23,7	32,3	
K ⁺	0,69	5,15–5,16	6,37–6,39	2,17–2,31	3,02–3,49	13–13,3	11,3	
NO ₃ ⁻	0,52	0,47–0,51	2,68–3,31	1,99–2,03	0,64–0,83	0,43–0,68	2,51	
NO ₂ ⁻	0,052	< 0,003	0,044–0,057	0,03–0,08	0,01–0,1	0,03	0,05	
NH ₄ ⁺	1,12	5,92–6,91	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1–0,17	< 0,1	
Si	5,7	10,2–10,3	0,5–0,73	9,79–9,93	8,34–8,56	7,03–7,17	1,16	
P	0,063	0,27	0,025–0,027	0,25	0,28–0,31	0,03–0,05	0,02	

Примечание: Alt – абсолютная высота (в м); S – площадь (по космоснимку, в м²); H – глубина (в м); TR – прозрачность (в м); T – температура (в °C); Eh – окислительно-восстановительный потенциал (мВ); ∑ионов – сумма ионов (в мг/л); CO₂ – концентрация углекислого газа (в мг/л); концентрация (в мг/л) HCO₃⁻ – гидрокарбонат-ионов; SO₄²⁻ – сульфат-ионов; Cl⁻ – хлорид-ионов; F⁻ – фторид-ионов; Ca²⁺ – ионов кальция; Mg²⁺ – ионов магния; Na⁺ – ионов натрия; K⁺ – ионов калия; NO₃⁻ – нитрат-ионов; NO₂⁻ – нитрит-ионов; NH₄⁺ – ионов аммония; Si – кремний; P – фосфор; «-» – данные отсутствуют.

Подавляющее число выявленных видов являются космополитами с широкой экологической валентностью (96%). По биотопической приуроченности преобладают факультативно-планктонные и типично планктонные формы – 82% общего числа видов. Флора планктона карьерных озер представлена в основном пресноводными видами – индифферентами – более 60% – и пресноводно-соленоватоводными видами – галофилами – 33,3%. Анализ распределения водорослей в зависимости от активной реакции показал, что большинство водорослей обследованных водоемов – это алкалофилы (90%).

Количественное развитие водорослей в карьерных озерах варьировало в широком диапазоне (табл. 2).

Численность водорослей изменялась от 4,8 (Жипкошинский верхний) до 22535,52 тыс. кл./л (Новотроицкий), биомасса – от 8,57 (Жипкошинский верхний) до 1565,52 мг/м³ (Завитинский нижний).

Индекс Шеннона изменялся от 0,49 до 3,12 бит, индекс Пилоу – от 0,20 до 0,87, индекс доминирования – от 0,12 до 0,86 (табл. 2). Полученные высокие значения индексов видового разнообразия, полученные для Балейского карьера, указывают на сложность структуры и высокое разнообразие фитопланктонного сообщества, а также подтверждают полидоминантность доминирующего комплекса фитопланктона. Для остальных карьеров характерны монодоминантные сообщества водорослей с низким видовым разнообразием.

Настоящие результаты подтверждают выводы других исследований [6, 9] о том, что видовое богатство водорослей в неагрессивных и нейтрально-слабощелочных водах значительно выше, чем в водоемах с низким значением pH. Уровень развития водорослей также сравнительно выше в водоемах техногенной природы, которые схожи с естественными лимническими системами.

Зоопланктон техногенных водоемов характеризовался невысоким видовым богатством. Всего отмечено 42 таксона рангом ниже рода, из них 18 видов Rotifera, 14 – Cladocera и 10 – Copepoda. Общее количество таксонов изменялось от 5 (Тасеевский карьер) до 17 (Новотроицкий карьер). Виды имели преимущественно широкое распространение (космополиты – 59%, голаркты – 24%, палеаркты – 17%). По приуроченности к местообитанию, в составе зоопланктона преобладали эврибионтные виды (45%). На втором месте – истинно планктонные

виды (19%), на третьем – виды, приуроченные к литоральной зоне (16%). Доля фитофильных и бентических представителей составляла соответственно 13 и 7%.

Интересной находкой является коловратка *Brachionus sericus*, обитающая в массе в Тасеевском карьере. Вид является типичным ацидобионтом, широко распространенным в сильноокислых водоемах Европы, Америки (Deneke, 2000). В кислых водах Шерловогорского карьера виды зоопланктона не встречались [9].

Количественные показатели беспозвоночных были низкими и изменялись от 13,19 тыс. экз./м³ и 6,54 мг/м³ (Новотроицкий карьер) до 542,63 тыс. экз./м³ (Жипкошинский нижний карьер) и 1992,60 мг/м³ (Балейский карьер) (табл. 2).

Показатели индексов разнообразия (H_n , I_d , e) варьировали в широком диапазоне: от 0,07 до 3,13 бит, от 0,18 до 0,98, от 0,03 до 0,98 соответственно. По условному разделению значений индексов водоемы классифицировались от олиго-мезотрофного типа с высоким видовым разнообразием и выравненностью сообщества зоопланктона (водоемы Балейского месторождения) до характеристик, указывающих на экстремальные экологические условия (водоемы Тасеевского и Жипкошинского месторождений).

Корреляционные тепловые карты (рис. 2), построенные для карьерных озер, определили факторы, влияющие на развитие планктонных сообществ.

Для планктона Балейского озера корреляционным анализом выявлена сильная теснота связи (-0,9998–0,9992, $p < 0,05$) обилия всех групп водорослей с глубиной, прозрачностью, температурой, pH, Eh, с содержанием CO_2 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- . Для зоопланктона установлена тесная взаимосвязь содержания ионов Mg^{2+} и Na^+ с численными характеристиками коловраток и содержания ионов NO_3^- , NO_2^- , P с биомассой кладоцер.

В Новотроицком карьере отмечена тесная достоверная отрицательная корреляция pH с численностью коловраток (-0,9506, $p < 0,049$) и достоверная положительная связь с H_n (0,9695, $p < 0,030$). Других достоверных корреляций не отмечено.

В Тасеевском карьере выявлена отрицательная корреляционная зависимость в диапазоне от -0,9950 до -0,9948 ($p < 0,05$) численности диатомовых и эвгленовых водорослей с P, K^+ и NO_3^- . Численность зоопланктона достоверно ($p < 0,05$) отрицательно коррелировала с температурой (-0,9789), NO_3^- (-0,9859) и положительно – с NH_4^{+} (0,9937) и SO_4^{2-} (0,9926).

Таблица 2

Показатели структуры (N – численность, B – биомасса) и разнообразия (H_n – индекс Шеннона, I_d – индекс доминирования, e – индекс Пielou) планктона техногенных водоемов в августе 2022 г.

Название станции	Фитопланктон									Завитинский нижний карьер
	Новотроицкий карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Жипкошинский верхний карьер	Жипкошинский нижний карьер	Завитинский верхний карьер	Завитинский нижний карьер			
N, тыс. кл./л	1277,90–22535,52	0–37,34	643,00–929,88	4,8–36,12	0,62–16,1	52,44–195,92	384,56–589,10			
B, мг/м ³	309,37–1215,27	0–27,68	183,75–674,56	8,57–18,67	0,124–13,78	99,90–127,17	324,82–1565,52			
N	Cyanobacteria	1161,52–22052,16	0	517,20–699,22	0	0	0	0–0,84	0	0
	Chrysoophyta	1,38–18,24	0	0	0	0	0	0	1,84–3,72	0
	Bacillariophyta	112,7–465,12	0–32,63	10,25–63,08	0–1,68	0,62–16,1	20,24–186,00	376,68–573,62	3,72–14,72	3,51–19,44
	Dinophyta	0	0	1,36–4,56	0	0	0	0	2,48–15,64	1,72–6,84
	Chlorophyta	0–0,46	0	110,16–159,22	4,8–34,44	0	0	0	0	0
	Charophyta	0–1,84	0	3,040–4,08	0	0–0,84	0	0	0	0
	Euglenophyta	0	0–4,71	0–0,76	0	0	0	0	0	0–0,87
B	Cyanobacteria	223,14–749,64	0	25,04–48,77	0	0–0,02	0	0	0	0
	Chrysoophyta	0,83–10,94	0	0	0	0	0	0	2,39–3,49	0
	Bacillariophyta	84,24–454,69	0–27,25	78,67–493,11	0–0,34	0,124–13,78	13,2–65,28	214,71–989,00	13,2–65,28	214,71–989,00
	Dinophyta	0	0	43,52–140,22	0	0	29,76–110,40	101,62–563,76	1,18–1,37	0,03–12,76
	Chlorophyta	0–0,5	0	10,3415,16	8,57–18,33	0	0	0	0	0
Доминирующие виды	Charophyta	0–1,11	0	0–2,45	0	0–0,76	0	0	0	0
	Euglenophyta	0	0–0,43	0–0,04	0	0	0	0	0	0
H _n , бит	Asp, Ac		Nsp	Gc, Mp	Aa, Om	Nsp	Fc, Fr, Psp			
	0,49–1,69	2,2	1,98–2,76	0,59	1,92–3,12	0,74–2,67	0,49–1,09			
	0,39–0,86	0,9	0,23–0,32	0,83	0,12–0,28	0,19–0,80	0,44–0,85			
e	0,35–0,53	0,2	0,79–0,87	0,42	0,35–0,38	0,38–0,79	0,35–0,64			

Окончание табл. 2

Название станции	Новотроицкий карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Зоопланктон			Завитинский верхний карьер	Завитинский нижний карьер
				Жипкошинский верхний карьер	Жипкошинский нижний карьер	Завитинский верхний карьер		
N, тыс. экз./м ³	13,19–76,61	26,68–47,39	42,81–74,54	131,10–182,57	146,21–542,63	14,62–21,71	17,53–22,14	
B, мг/м ³	6,54–161,29	15,18–69,32	272,33–1992,60	191,79–1101,25	324,63–880,54	26,05–93,98	54,52–176,96	
N	Rotifera	11,99–72,28	18,33–38,27	128,1–176,66	144,50–539,60	9,74–20,43	3,34–11,93	
	Copepoda	1,16–1,49	0–0,02	17,12–24,70	2,88–4,50	1,24–4,88	1,93–13,99	
	Cladocera	0,04–2,83	0–0,02	7,36–11,57	0,14–1,41	0,85–2,42	3,68–4,81	
B	Rotifera	6,03–20,01	112,67–401,35	132,09–183,58	150,74–625,15	10,16–23,8	2,54–17,02	
	Copepoda	6,54–39,48	0–0,07	139,99–658,0	20,16–27,75	2,16–83,82	6,26–152,50	
	Cladocera	0,26–101,80	0–0,23	19,67–933,25	31,95–897,50	0–0,09	21,91–31,24	
Доминирующие виды	Kl, Sp, Kc	Bu	Fl, Cycl, Ni, Ed	Kq	Kq	Kq, Cycl	Cv, Kq, Ed, Dl	
H _n , бит	2,35–3,13	0,2	2,59–2,85	0,33–0,46	0,07–0,15	0,63–0,92	1,20–2,25	
I _d	0,18–0,38	0,97	0,20–0,25	0,92	0,98	0,55–0,84	0,23–0,45	
e	0,78–0,98	0,13	0,70–0,96	0,17–0,20	0,03–0,10	0,45–0,68	0,62–0,97	

Примечание: Asp – *Anabaena* sp.; Ac – *Aphanothece clathrate* West & G.S. West 1906; Nsp – *Nitzschia* sp.; Gc – *Gloeocapsa crepidinum* (Thuret) Thuret 1876; Mp – *Microcystis pulverea* (H.C. Wood), 1907; Aa – *Ankyra ancora* f. *issaevi* (Kisselev) Fott 1974; Om – *Oocystis marssonii* Lemmermann 1898; Fc – *Fragilaria crotonensis* Kitton 1869; Fr – *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round 1988; Ed – *Euchlamis dilatata* Ehrenberg, 1832; Bu – *Brachionus ureus sericeus* Rousselet, 1907; Kq – *Keratella quadrata* (Müller, 1786); Kc – *K. cochlearis* (Gosse, 1851); Kl – *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879); Sp – *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832; Fl – *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834); Dl – *Daphnia longispina* s.lat. (O.F. Müller, 1785); Ni – *Neurodiaptomus incongruens* (Poppe, 1888); Cv – *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875; Cycl – Cyclopoidea.

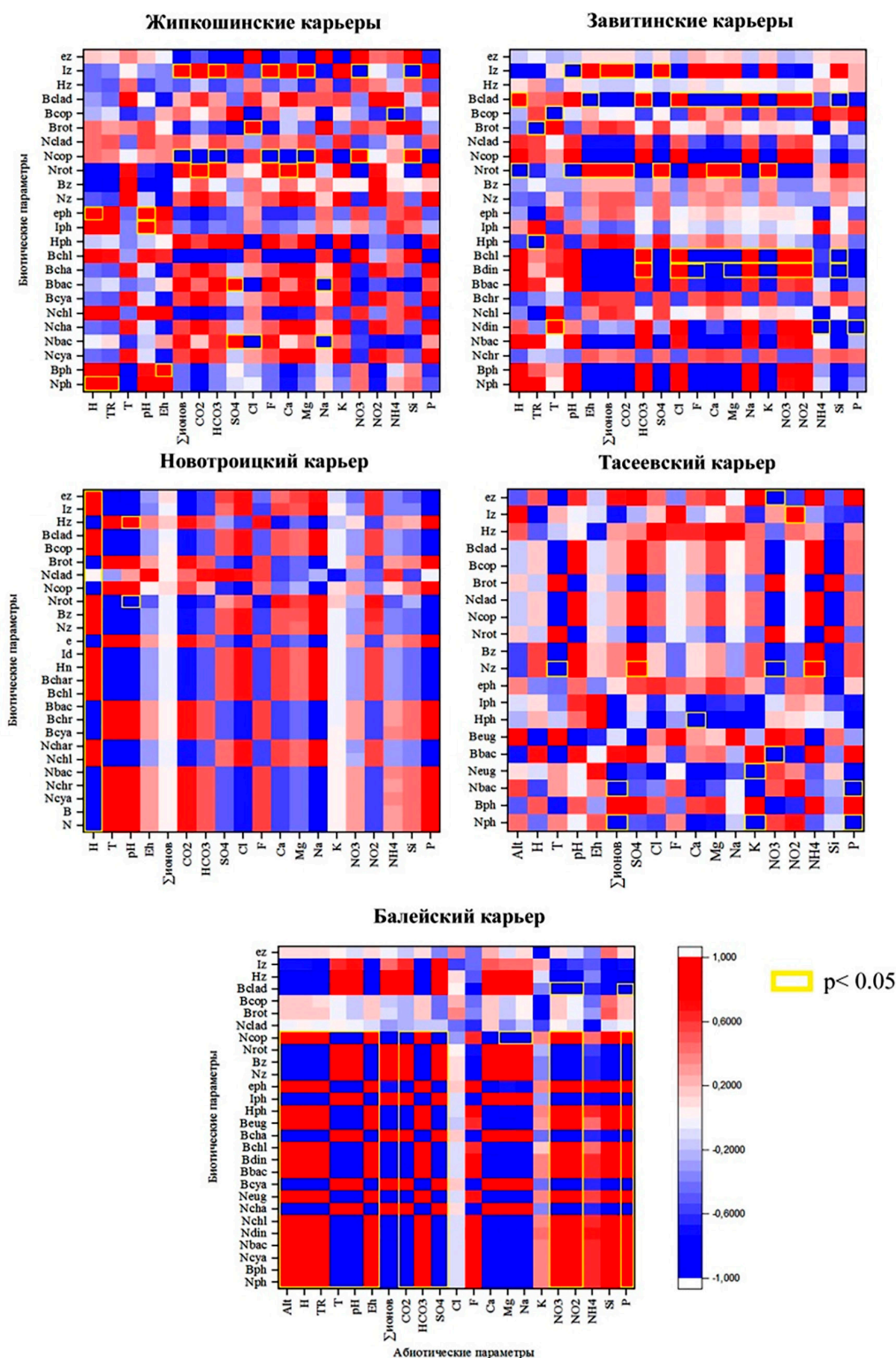


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между показателями планктона и физико-химическими показателями: Alt – абсолютная высота (в м); S – площадь (в км²); H – глубина (в м); TR – прозрачность (в м); T – температура (в °C); pH; Eh – окислительно-восстановительный потенциал (мВ); Σионов – сумма ионов (в мг/л); CO₂ – концентрация углекислого газа (в мг/л); концентрация (в мг/л); HCO₃⁻ – гидрокарбонат-ионов; SO₄²⁻ – сульфат-ионов; Cl⁻ – хлорид-ионов; NO₃⁻ – нитрат-ионов; NO₂⁻ – нитрит-ионов; F⁻ – фторид-ионов; Ca²⁺ – ионов кальция; Mg³⁺ – ионов магния; Na⁺ – ионов натрия; K⁺ – ионов калия; NO₃⁻ – нитрат-ионов; NO₂⁻ – нитрит-ионов; NH₄⁺ – ионов аммония; Si – кремний; P – фосфор

Для Завитинских карьеров корреляционный анализ позволил выявить сильную положительную и отрицательную тесноту связи ($-0,9524 - -0,9994 \dots 0,9597 - 0,9989$, $p < 0,05$) обилия динофитовых и зеленых водорослей, а также коловраток и ветвистых с показателями макрокомпонентного состава.

В Жипкошинских карьерах для планктона отмечены высокие значения значимых корреляций ($p < 0,05$) со многими переменными окружающей среды. Так, численность фитопланктона положительно коррелировала с глубиной и прозрачностью воды, биомасса – с Eh. Численность и биомасса диатомей – отрицательно с содержанием Na^+ , Cl^- и положительно – с SO_4^{2-} . Индексы видового разнообразия – положительно с pH и глубиной. Численность Rotifera положительно коррелировала с содержанием CO_2 , Ca^{2+} , биомасса – отрицательно с SO_4^{2-} . Для численности Copepoda установлена высокая отрицательная связь с суммой ионов Mg^{2+} , HCO_3^- , F^- , и положительная – с NO_3^- и Si.

Таким образом, во всех карьерных озерах, за исключением Новотроицкого, организмы планктона наиболее чувствительны к макрокомпонентному составу вод. Гидрохимический состав оказывает влияние на динофитовые, зеленые и диатомовые водоросли и коловраток. Для Новотроицкого карьера определяющим фактором является щелочность вод.

Наши результаты по влиянию факторов среды на развитие гидробионтов подтверждаются исследованиями других авторов [11], показавшими, что состав и структура планктонных биоценозов в техногенных водоемах определяются совокупностью комплекса абиотических параметров.

В обследованных карьерных водоемах видовое богатство фито- и зоопланктона формировали 48 таксонов водорослей рангом ниже рода и 42 вида беспозвоночных. По таксономическому составу фитопланктон имел цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей. В зоопланктоне качественно богатыми были коловратки и ветвистые ракообразные.

По географическому распространению в фито- и зоопланктоне доминируют космополиты, по местообитанию – планктонно-бентосные и планктонные виды водорослей и эврибионтные виды беспозвоночных, что в целом отражает экологическое состояние водоемов и сложившиеся в них условия.

Диапазон численности фитопланктона изменялся от 37,34 до 22535,52 тыс. кл./л. биомассы – от 27,28 до 1565,52 мг/м³. Общая численность зоопланктона варьировала в пределах 13,19–542,63 тыс. экз./м³. Доминирующий комплекс сообществ зоопланктона слагался преимущественно мелкоразмерными формами (Rotifera и ювенильные Cysteroidea), что и обусловило низкие значения общей биомассы (6,54–1992,60 мг/м³).

Значения индексов видового разнообразия по фитопланктону, полученные для Балейского карьера, указывают на сложность структуры и высокое биоразнообразие сообщества, а также подтверждают полидоминантность доминирующего комплекса фитопланктона. Для остальных карьеров характерны монодоминантные сообщества водорослей с низким видовым разнообразием. По зоопланктону, Балейское, Новотроицкое и Завитинское карьерные озера можно отнести к водоемам мезотрофного типа. Тасеевский карьер отличался экстремальными экологическими условиями, вследствие низких показателей pH.

Список литературы

1. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: история, современное состояние, проблемы, перспективы развития. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. 574 с.
2. Замана Л.В., Вахнина И.Л., Усманов М.Т., Филленко Р.А. Экологическая оценка золотопромышленных ландшафтов Балей (Восточное Забайкалье) // Материалы XIII Научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Соцкова Сибирского отделения Российской академии наук, 2007. С. 46–47.
3. Замана Л.В., Чечель Л.П. Эколого-геохимическая оценка водоемов рудных карьеров Восточного Забайкалья // Эволюция биосферы и техногенез: материалы всероссийской конференции с международным участием. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2016. С. 121–124.
4. Хомич С.А. Подходы к оценке состояния и перспектив развития объектов водохозяйственной рекультивации // Литосфера. 1996. № 6. С. 80–92.
5. She Z., Pan X., Wang J., Shao R., Wang G., Wang S., Yue Z. Vertical environmental gradient drives prokaryotic microbial community assembly and species coexistence in a stratified acid mine drainage lake // Water Research. 2021. Vol. 206. P. 117739. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117739.
6. Seckbach J., Chapman D.J., Garbary D.J., Oren A., Reisser W. Algae and cyanobacteria under environmental extremes: final comments. Algae and Cyanobacteria in extreme environments // Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology. 2007. Vol. 11. Dordrecht: Springer. P. 783–786. DOI: 10.1007/978-1-4020-6112-7_42.
7. Wołowski K., Uzarowicz Ł., Łukaszek M., Pawlik-Skowrońska B. Diversity of algal communities in acid mine drainages of different physico-chemical properties // Nova Hedwigia, 2013. Vol. 97 (1–2). P. 117. DOI: 10.1127/0029-5035/2013.
8. Paulsson O., Widerlund A. Algal nutrient limitation and metal uptake experiment in the Åkerberg pit lake, northern Sweden // Applied Geochemistry. 2021. Vol. 125. 104829. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104829.

9. Афонина Е.Ю., Ташлыкова Н.А., Замана Л.В., Ку-
 клин А.П., Абрамова В.А., Чечель Л.П. Гидрохимия и ги-
 драбиология техногенных водоемов горнопромышленных
 территорий Юго-Восточного Забайкалья // *Аридные экоси-
 стемы*. 2022. Т. 28, № 4 (93). С. 189–200.
10. Pocięcha A., Bielańska-Grajner I., Szarek-Gwiazda
 E.E., Wilk-Woźniak E., Kuciel H., Walusiak E. Rotifer diversity
 in the acidic pyrite mine pit lakes in the Sudety Mountains (Po-
 land) // *Mine Water Environment*. 2018. Vol. 37. P. 518. DOI:
 10.1007/s10230-017-0492-y.
11. Mondal S., Palit D., Hazra N. Study on composition and
 spatiotemporal variation of zooplankton community in coal mine
 generated pit lakes, West Bengal, India // *Tropical Ecol.* 2022.
 Vol. 64 (9). DOI: 10.1007/s42965-022-00274-6.
12. Goździejewska A.M., Koszałka J., Tandyrak R., Gro-
 chowska J., Parszuto K. Functional responses of zooplankton
 communities to depth, trophic status, and ion content in mine
 pit lakes // *Hydrobiologia*. 2021. Vol. 848. P. 2699–2719. DOI:
 10.1007/s10750-021-04590-1.
13. Верхотуров А.Г., Карпов В.В. Проблемы устойчи-
 вости бортов затопленного карьера в г. Балее // *Кулагинские*
чтения: техника и технологии производственных процессов.
 2021. С. 129–134.
14. Худорба О.А., Гребнев Е.А. Оценка современного
 состояния инженерно-геологических условий Тасеевского
 золоторудного месторождения // *Науки о Земле и недро-
 пользование*. 2007. Т. 31, № 5. С. 116–119.
15. Корольков А.Т. Монацитовая проблема города Ба-
 лее // *Известия Сибирского отделения. Секции наук о Земле*
РАЕН. 2016. № 1 (54). С. 96–103.
16. Абрамова В.А. Рудные элементы в карьерных во-
 дах Завитинского редкометалльного месторождения (Вос-
 точное Забайкалье) // *Геологическая эволюция взаимо-
 действия воды с горными породами: материалы третьей*
Всероссийской научной конференции с международным
участием (Чита, 20–25 августа 2018 г.). Улан-Удэ: Бурят-
 ский научный центр Сибирского отделения РАН, 2018.
 С. 328–331.
17. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного
 фитопланктона. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.
18. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных
 водоемов. Т. 1. Л.: Наука, 1969. 658 с.

УДК 504.75:004.9:911.372
DOI 10.17513/use.38091

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАГЕОСИСТЕМ ГОРОДА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ЭКОЛОГИИ

Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Шабайкина В.А.,
Зарубин О.А., Кирюшин А.В.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

На основе анализа научных работ, посвященных основным направлениям применения геоинформационных технологий для выявления закономерностей изменения территориальной организации, выделены основные подходы к проектированию баз электронных карт для геоэкологического анализа метагеосистем. Описанные в статье результаты направлены на развитие методов геоинформационного моделирования метагеосистем города для принятия управленческих решений в сфере экологии. Выполнена апробация технологии проектирования баз электронных карт в целях анализа территориальной структуры городского округа Саранска, выявлены основные тенденции изменения градостроительных структур на отдельных участках. Доказано, что базы электронных карт, создаваемые для целей геоэкологического анализа территориальной структуры, призваны сформировать единый информационный массив, в котором различные типы данных объединены в систему и позволяют комплексно подойти к процедуре оценки существующей градостроительной структуры и разработке мероприятий по ее усовершенствованию. Полученная в результате картографическая система играет роль основы для дальнейшего комплексного анализа территории, а также разработки проектных решений по ее развитию на отдельных участках. Распространение тематических электронных карт возможно посредством внедрения и использования геопортальных систем, предоставляющих доступ к интерактивной работе с различными тематическими геоэкологическими слоями.

Ключевые слова: территориальная структура, базы электронных карт, территориальное развитие, природный каркас, геоэкологическая ситуация, геоportалы, метагеосистемы

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00651 (<https://rscf.ru/project/22-27-00651/>).

GEOINFORMATION MODELING OF CITY METAGEOSYSTEMS FOR MANAGEMENT DECISIONS IN THE FIELD OF ECOLOGY

Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Shabaykina V.A.,
Zarubin O.A., Kiryushin A.V.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: yamashkinsa@mail.ru

Based on the analysis of scientific papers devoted to the main areas of application of geoinformation technologies to identify patterns of change in territorial organization, the main approaches to designing electronic map databases for the geoecological analysis of metageosystems are identified. The results described in the article are aimed at developing methods for geoinformation modeling of city metageosystems for making managerial decisions in the field of ecology. The technology for designing bases of electronic maps was tested in order to analyze the territorial structure of the urban district of Saransk, and the main trends in changes in urban structures in individual areas were identified. It has been proved that the databases of electronic maps created for the purpose of geoecological analyzing the territorial structure are designed to form a single information array in which various types of data are combined into a system and allow a comprehensive approach to the procedure for assessing the existing urban structure and developing measures to improve it. The resulting cartographic system serves as a basis for further comprehensive analysis of the territory, as well as the development of design solutions for its development in individual areas. Distribution of thematic electronic maps is possible through the introduction and use of geoportal systems that provide access to interactive work with various thematic geoecological layers.

Keywords: territorial structure, databases of electronic maps, territorial development, geoecological situation, natural framework, geoportals, metageosystems

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-27-00651 (<https://rscf.ru/project/22-27-00651/>).

В соответствии с основными положениями, сформулированными в Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., террито-

риальное развитие должно осуществляться в первую очередь за счет совершенствования территориальной организации объектов экономики и системы расселения

с учетом принципов комплексного подхода и рационального природопользования [1]. В условиях обострения геоэкологических проблем рациональная организация территориальной структуры является одним из основных факторов, лежащих в основе эффективного управления пространственным развитием объектов любого иерархического уровня.

На современном этапе нормативно-правовые аспекты анализа территориальных структур основаны на процедуре территориального планирования. Являясь одной из составных частей градостроительной деятельности, территориальное планирование, в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации, ставит своей основной целью создание эффективной системы размещения объектов различных отраслей экономики, управления селитебными территориями, инженерно-транспортной инфраструктурой и охрану окружающей среды. Геоэкологический анализ метагеосистем городов для целей принятия управленческих решений, оптимизации процедур территориального планирования является одним из наиболее сложных в силу необходимости учета и моделирования широкого спектра природных, социальных и экономических процессов, локализованных на весьма ограниченной территории с высокой концентрацией населения, производств, объектов инфраструктуры, сложной системой функционального и градостроительного зонирования и др. В связи с этим решение ключевых прикладных задач геоэкологической оптимизации и территориального планирования метагеосистем на региональном и муниципальном уровнях в настоящее время в значительной степени основано на совершенствовании технологии применения геоинформационных и геопортальных систем, обеспечивающих создание электронных карт путем интерпретации массивов пространственно-временных данных о природных, социальных, экономических и экологических процессах и условиях местности [2], применения автоматизированных методик обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли [3].

Цель исследования – развитие методов геоэкологического обоснования территориального планирования на основе геоинформационного моделирования метагеосистем города для принятия управленческих решений.

Материалы и методы исследования

Понятие «территориальная структура» было сформулировано и получило развитие в многочисленных работах ученых второй половины XX в. в условиях усиления масштабов воздействия человека на природу и активного развития процесса урбанизации. По А.П. Горкину, Е.Е. Демидовой, Л.А. Кадилевой, территориальная структура является признаком любой пространственной системы и представляет собой взаиморасположение, взаимосвязи и взаимодействия пространственно выраженных элементов сложного географического объекта, рассматриваемого как система [4]. Концепция территориальной структуры включает в себя последовательный анализ и оценку ключевых взаимосвязанных измеримых параметров интегрального пространственного исследования – концентрации, дифференциации, связности, композиции [5, 6].

Анализ территориальной структуры выполняется с целью разработки и реализации проектных решений по геоэкологической оптимизации процессов хозяйственного освоения и включает в себя оценку перечня факторов, под воздействием которых произошло ее формирование: природных, исторических, социально-демографических – а также особенностей застройки, размещения основных объектов производства, системы озеленения. В последние годы данному направлению прикладных геоэкологических исследований посвящены работы И.К. Лурье, Е.А. Балдиной, А.И. Прасоловой и др. [7], Б.И. Кочурова, А.Ю. Карандеева [8], О.А. Климановой, Е.Ю. Колбовского, О.А. Илларионовой [9], В.А. Низовцева, Б.И. Кочурова, Н.М. Эрман с соавт. [10] и др., систематизирующие опыт геоэкологического обоснования разработки планировочных решений на основе геоинформационных технологий в отношении различных городов Российской Федерации.

При исследовании взаимодействия природы, населения и техногенных систем города в качестве основных объектов рассматриваются метагеосистемы – закономерно организованные природные, социальные и техногенные подсистемы с пространственно распределенными структурными элементами и компонентами, генетически, структурно, функционально связанными между собой. Общая структура метагеосистем города приведена в таблице.

Общая структура метагеосистем

Подсистемы	Структура и основные слои электронных карт метагеосистем	Научно-прикладные карты	
		Экологические процессы и проблемы	Оптимизация территориальной структуры землепользования
Природные	Геолого-тектоническое строение, морфо-структурные и морфоскульптурные формы рельефа, климат и приземные слои атмосферы, гидрологический режим поверхностных вод, гидрогеодинамика и гидрогеохимия подземных вод, структура почвенного покрова, растительность и животный мир, геосистемы (ландшафты)	Геоэкологическая диагностика состояния метагеосистем: геоэкологический потенциал, устойчивость геосистем, техногенное изменение и прогнозирование аномальных экологических явлений	Ландшафтно-экологическое зонирование
Социальные	Динамика и плотность населения, медико-демографическая ситуация: рождаемость, смертность, возрастная и половая структуры, национальный состав Объекты образования, культуры, торговли, предприятий питания, спорта, средств размещения и др.		
Техногенные	Промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспортная инфраструктура		



Рис. 1. Алгоритм проектирования электронных карт для анализа территориальной структуры

Основополагающими принципами исследования метагеосистем являются: 1) системность – исследование изучаемого объекта как пространственно-временного образования, функционирование которого обеспечивается потоками вещества, энергии и информации между отдельными элементами, подсистемами и внешней средой; 2) комплексность – сопряженный анализ всех аспектов функционирования с учетом взаимосвязи факторов, определяющих особенности деятельности социума и его взаимодействия с окружающей средой; 3) территориальность – изучение простран-

ственных группировок свойств элементов; 4) региональная целостность – учет показателей интегрированности, самостоятельности и автономности; 5) экологичность – регламентация исследований взаимодействия социума с окружающей природной и техногенной средой как единой целостной системой; 6) управляемость – ориентация на сознательную оптимизацию пространственной организации.

Системы электронных карт, используемые для анализа, оценки и мониторинга экологического состояния метагеосистем, значительно различаются по своей струк-

туре, функциональным возможностям, применяемому алгоритму сбора и обработки информации, что зависит от природных, исторических и социально-экономических особенностей территории. В общем виде алгоритм проектирования баз электронных карт для анализа территориальной структуры можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

Общий алгоритм исследования метагеосистем для выработки концепции геоэкологического обоснования территориального планирования включает следующие этапы: 1) сбор и систематизация информации: разработка базовой картографической основы ГИС; 2) дешифрирование многозональных космических снимков с составлением синтетической карты геосистем; 3) оценка значимости техногенных воздействий и прогнозирование экологических последствий; 4) ландшафтно-экологическое зонирование метагеосистем. Такой комплексный подход призван создать целостное представление о пространственно-временной организации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, выделить закономерности происхождения, развития, динамики геосистем и их изменения в процессе хозяйственного освоения для принятия управленческих решений по оптимизации функционирования метагеосистем города.

Результаты исследования и их обсуждение

Формирование структуры и баз данных региональной географической информационной системы (ГИС) «Мордовия» для экологического обоснования градостроительной документации г. Саранска и мониторинга состояния метагеосистем началось в конце XX в. [11]. Современная архитектура инфраструктура пространственных данных ГИС представлена на рис. 2.

Основные блоки ГИС: 1) подсистема сбора, обработки, анализа и управления пространственными данными; 2) распределенное облачное хранилище; 3) геопортальная система. Процессы систематизации пространственных данных основаны на знаниях о геосистемах как иерархически упорядоченных совокупностях различных составляющих географической оболочки, которые связаны между собой потоками веществ и энергии.

Формирование территориальной структуры г. Саранска происходит под влиянием широкого спектра факторов, наибольшее

значение среди которых имеют позиционные, природные и исторические. Для решения поставленных задач была создана система карт, отражающая особенности динамики и развития процессов экологического взаимодействия региональных и локальных природных, социальных и техногенных систем, ориентированная на геоэкологическую диагностику состояния метагеосистем: анализ структуры геосистем, развития планировочной системы города, геоэкологического потенциала, устойчивости и техногенного изменения геосистем, ландшафтно-экологическое зонирование.

Карты природного потенциала. В качестве центрального звена комплекса карт природы (таблица) выступает синтетическая карта геосистем, Характерными чертами вмещающего природного ландшафта являются выраженная инсоляционная асимметрия склонов, доминирование выпукловогнутых склонов, определяющих смену лесных типов геосистем приводораздельных пространств лугово-степными на нижних участках склонов.

Анализ карт развития планировочной системы города Саранска позволил выделить 7 этапов смен состояний метагеосистем: 1) крепостной город (от основания в 1641 г. до разрушения крепости в середине XVIII в.); 2) слободской город (период до проектирования Генерального плана межевания конца 1785 г.); 3) реконструкция города (этап от старта воплощения плана реконструкции до 1820-х гг.); 4) упорядочение квартальной планировки города (до революции 1917 г.); 5) придание городу «советского» облика (завершая периодом, включающим годы восстановления страны после Великой Отечественной войны); 6) индустриальная реконструкция; 7) комплексная реконструкция (в 1990-е гг. и до настоящего времени) [11]. Структура природного и культурного наследия в метагеосистемах региона отражена на геопортале «Природное и культурное наследие Мордовии. Путешествуем с Русским географическим обществом» (рис. 3).

Анализ и оценка смен состояний метагеосистем позволили провести типологию территории города по особенностям градостроительного освоения и сформулировать возможные ограничения их развития.

Карты геоэкологического потенциала отражают способность природной системы удовлетворять потребности населения в качественной среде, устойчивость геосистем к техногенным нагрузкам.

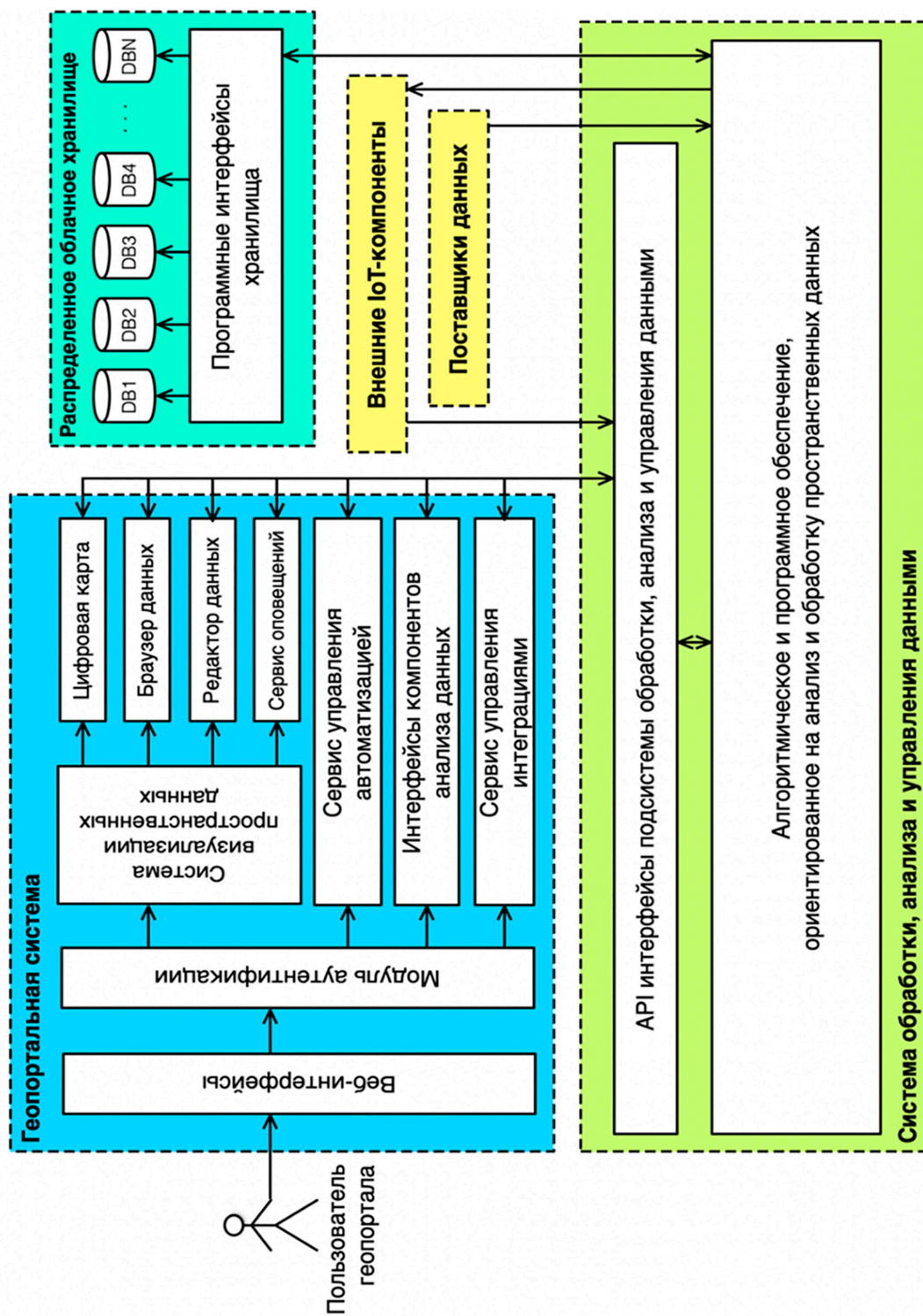


Рис. 2. Схема цифровой инфраструктуры пространственной информации



Рис. 3. Страница геопортала «Природное и культурное наследие Мордовии. Путешествуем с Русским географическим обществом»

Геоэкологический анализ развития метагеосистем г.о. Саранск с использованием геоинформационного моделирования показал, что в качестве важнейшего лимитирующего фактора развития выступают водные ресурсы водоносного карбонатно-пермского карбонатного горизонта. В результате активного водохозяйственного освоения Саранского месторождения образовалась депрессионная воронка, которая охватила значительную часть центральной Мордовии. Абсолютная отметка уровня в 2010 г. по центру депрессии составила 55 м. Последующее сокращение водозабора определило подъем уровня вод до 0,45 м в год. Современная площадь депрессионной воронки по пьезоизогипсе 75 м на 2021 г. составляет 222,55 км². Изменение гидрогеодинамических процессов определило ухудшение качества питьевых вод за счет притока минерализованных вод из нижележащих водоносных горизонтов и восточной Мордовии.

Дальнейшее освоение эксплуатационных ресурсов Саранского месторождения предполагает разработку и реализацию программы стратегического развития водного хозяйства Республики Мордовия – снижение общей антропогенной нагрузки экономики на окружающую среду, повышение эффективности потребления водных ресурсов, улучшение правового регулирования природопользования.

Карты устойчивости геосистем. Как показывает практика, наибольшую значимость для градостроительного освоения имеет информация о структуре геологической среды, развитии экзогеодинамических процессов (затопление, подтопление, оползнеобразование, заболачивание и т.п.) и геохимическая устойчивость ландшафтов к накоплению продуктов техногенеза, что важно учитывать не только для обеспечения безопасности населения, моделирования геоэкологических рисков в условиях природного режима функционирования геосистем, но и в условиях техногенеза.

Для целей геоэкологического обоснования территориального планирования города природные и природно-техногенные процессы должны описываться по одинаковой схеме: вид явления, место, вероятное время проявления, интенсивность, возможные последствия и экономический ущерб, мероприятия по предотвращению или смягчению геофизических, геохимических и других воздействий на метагеосистемы.

Карты техногенного изменения метагеосистем. Для целей экологического обо-

снования территориального планирования урбанизированных территорий проведение ландшафтно-геохимического анализа позволяет выявить закономерности распределения загрязняющих веществ в отдельных компонентах и подсистемах городской среды. Данный подход предусматривает оценку степени геохимической трансформации метагеосистем на отдельных исторических этапах развития территории с последующей подготовкой картографических материалов и выделением участков с различной динамикой загрязнения.

Оценка и прогноз техногенного воздействия на геосистемы реализуется через расчет показателей концентрации химического элемента в пыли, накопленной снегом, суммарный показатель загрязнения снежного покрова. Для количественной оценки степени загрязнения почвенного покрова рассчитывались коэффициенты концентрации химических элементов и суммарный показатель загрязнения почв. Обобщенная ассоциация химических элементов, накапливающихся ($K_c > 1,5$) в почвах городских ландшафтов, имеет вид $Pb_{5,7} - Sn_{3,3} - Cu_{3,2} - Zn_{2,4} - Mo_{1,6}$. На отдельных участках в них аккумулируются хром, стронций, галлий, никель, ниобий, барий, ванадий и серебро. Сопряженный анализ загрязнения почв и снежного покрова комплексом химических элементов позволил выделить участки реликтового, устойчивого, прогрессирующего загрязнения [12, 13].

Анализ геохимических данных для целей геоэкологической оптимизации градостроительной структуры определяется двумя основными векторами. С одной стороны, результаты геохимических исследований могут свидетельствовать об основных тенденциях развития геоэкологической ситуации на урбанизированной территории в связи с изменением объемов и масштабов промышленного производства, конфигурации транспортных путей и инженерных коммуникаций. Результаты геоинформационного моделирования распределения загрязняющих веществ используются для прогнозирования развития геоэкологических ситуаций. С другой стороны, данные материалы сами могут выступать в качестве исходных данных для внесения изменений в документы территориального планирования, являясь одним из инструментов выделения ключевых направлений дальнейшего развития территориальной структуры, гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем.

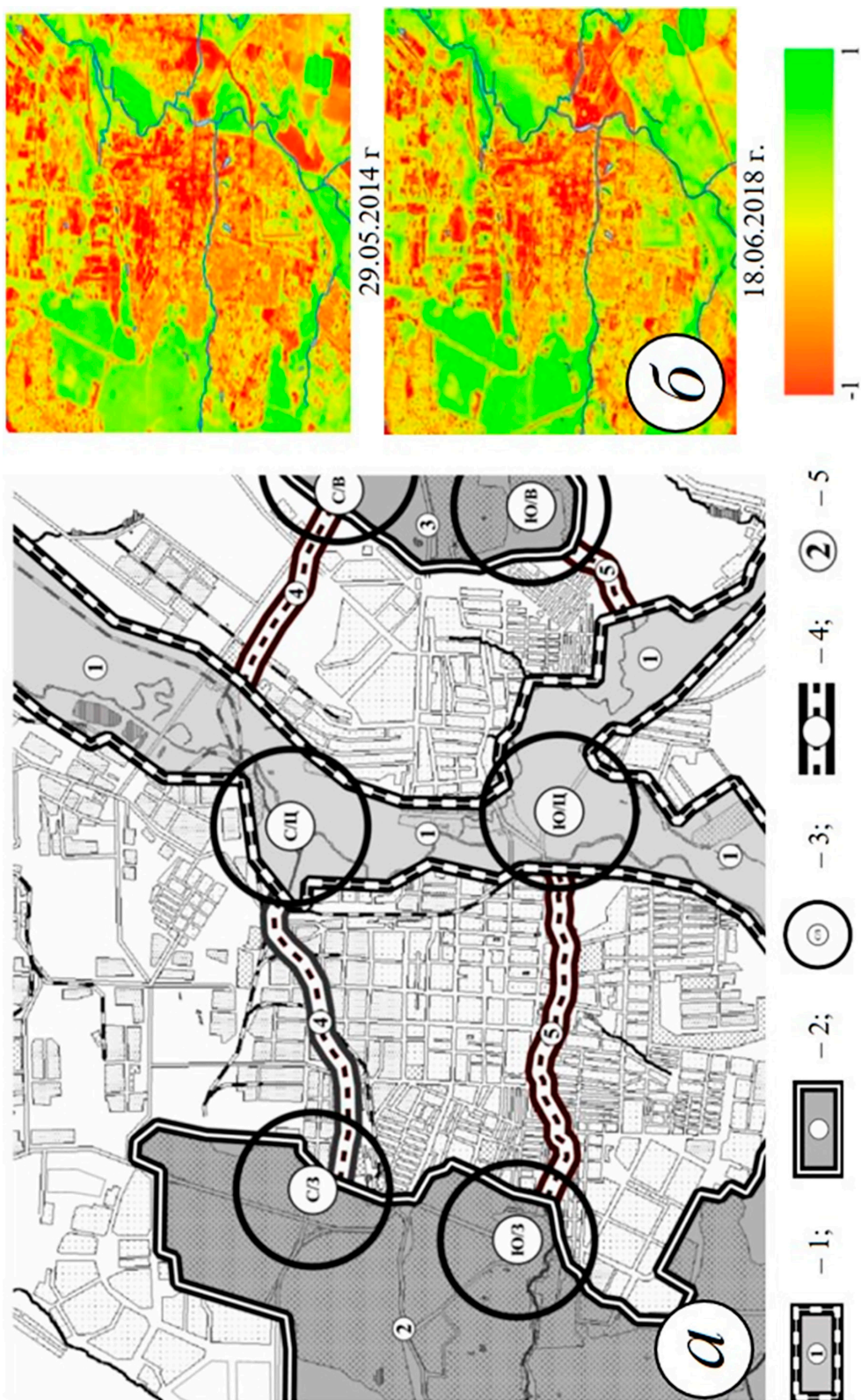


Рис. 4. Моделирование ландшафтно-экологического каркаса:
 а) зоны ландшафтно-экологического равновесия г. Саранска: 1) субмеридиональная водно-зеленая зона экологического равновесия («Ц»); 2) основные зеленые массивы в пригороде; 3) узлы экологического равновесия;
 4) основные субширотные водно-зеленые системы; б) расчет NDVI для оценки продуктивности биомассы растительности

Анализ уровней техногенного загрязнения метагеосистем г.о. Саранск показал, что наибольшие концентрации тяжелых металлов наблюдались в районах размещения основных транспортных артерий и примыкающих к ним участкам жилой застройки. Внесенные изменения в Генеральный план городского округа, в частности организация транспортных развязок и объездных дорог, позволили снизить техногенные нагрузки на окружающую среду, как непосредственно в местах строительства новых путепроводов, так и на прилегающих территориях, в местах скопления автотранспорта на подъездах к основным магистралям, что подтверждено результатами последующих геохимических исследований.

Ландшафтно-экологические карты оптимизации функционирования метагеосистем. Для целей геоэкологического обоснования территориального планирования метагеосистем города разработан комплекс электронных карт, содержащих сведения о структуре природных и антропогенных комплексов и ландшафтов, исторических этапах пространственного развития и современной территориальной структуре городской среды, а также об основных тенденциях развития деструктивных экологических ситуаций.

В соответствии с результатами экологического картографирования в структуре метагеосистем г. Саранска были выделены основные элементы ландшафтно-экологического каркаса – леса пригородной зоны и садово-парковые комплексы, размещенные в пределах пойменных комплексов р. Инсар и его основных притоков, и соединенные между собой элементами зеленых и водно-зеленых коридоров (рис. 4).

Система ландшафтно-экологических зон (составных частей метагеосистемы города) призвана минимизировать геоэкологические риски, связанные с развитием геоэкологическими процессами, обеспечить очистку нижних слоев тропосферы, регулирование поверхностного и подземного стока, сохранение растительности и среды обитания в целом. Расчет вегетационных индексов показал, что основные элементы ландшафтно-экологического каркаса соответствуют нормативным показателям и являются достаточными для выполнения природоохранных функций.

Заключение

Важнейшими объектами современных экологических исследований выступают

метагеосистемы – географические объекты, формирующиеся в результате взаимодействия физико-географических, историко-культурных, социально-экономических, политико-административных, технологических и иных факторов. Ключевыми аспектами исследования метагеосистем являются формулировка целей и ориентиров устойчивого развития территории и формирование систем обеспечения управления. Основопологающими принципами исследования являются: 1) системность; 2) комплексность; 3) территориальность; 4) региональная целостность; 5) экологичность; 6) управляемость.

Гибкими и универсальными средствами для исследования сложной иерархической системы метагеосистем города являются ГИС-технологии, обеспечивающие сбор, обработку, хранение и визуализацию пространственной информации о состоянии природных, социальных и производственных систем, их взаимодействии. Их практическая востребованность заключается, прежде всего, в оперативности представления информации и в точной пространственной привязке данных. Базы электронных экологических карт, создаваемые для целей территориального управления, призваны сформировать единый информационный массив, в котором различные типы данных объединены в систему и позволяют комплексно подойти в процедуре оценки существующей градостроительной структуры и разработке мероприятий по оптимизации ее функционирования.

Ключевую роль в системе управления должны играть геопорталы, обеспечивающие доступ к информационным ресурсам о природно-социально-экономических объектах регионов (стран). Открытая система электронных карт оптимизирует мониторинг динамики и эволюции территориальной структуры, изменения геоэкологического потенциала, техногенной трансформации природной среды, оценку устойчивости геосистем и прогнозирование деструктивных процессов, а следовательно, оптимизирует процесс гармонизации развития метагеосистем населенного пункта.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 года № 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» (с изменениями на 30 сентября 2022 года). [Электронный ресурс]. URL: <https://rulaws.ru/government/Rasporiyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-13.02.2019-N-207-r/> (дата обращения: 04.08.2023).

2. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А., Федосин С.А. Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий // Радиопромышленность. 2019. № 3. С. 79–90.
3. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V., Varmin A.N., Radovanovic M.M. Improving the efficiency of deep learning methods in remote sensing data analysis: Geosystem approach // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 179516–179529.
4. Горкин А.П., Демидова Е.Е., Кадилова Л.А. Территориально неограниченные ресурсы стран мира // География мирового развития: Сборник научных трудов. М.: ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2016. С. 148–155.
5. Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения. М.: Новый хронограф, 2014. 394 с.
6. Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.
7. Лурье И.К., Балдина Е.А., Прасолова А.И., Прохорова Е.А., Семин В.Н., Чистов С.В. Серия карт эколого-географической оценки земельных ресурсов территории Новой Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 4. С. 49–58.
8. Кочуров Б.И., Карандеев А.Ю. Геоэкологическое картографирование и оценка городского пространства с применением сеточного векторного ГИС-анализа // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24, № 1. С. 310–320.
9. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63, № 2. С. 127–146.
10. Низовцев В.А., Кочуров Б.И., Эрман Н.М., Мироненко И.В., Логунова Ю.В., Костовска С.К., Ивашкина И.В., Алексеева В.О. Ландшафтно-экологические исследования Москвы для обоснования территориального планирования города. М.: Прометей, 2020. 342 с.
11. Культурный ландшафт города Саранска (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование) / Науч. ред. и сост. А.А. Ямашкин. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2002. 205 с.
12. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Приволжского федерального округа за 2018 год. Вып. 18: в 2 кн. Кн. 1. Подземные воды / Приволж. РЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология». Н. Новгород, 2019. 292 с.
13. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Приволжского федерального округа за 2021 год. Вып. 21: в 2 кн. Кн. 1. Подземные воды / Приволж. РЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология». Н. Новгород, 2022. 318 с.

СТАТЬЯ

УДК 550.812.14:551.26

DOI 10.17513/use.38092

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА В МАССИВЕ МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

¹Петрова Е.А., ²Соколов К.О., ²Прудецкий Н.Д.

¹ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: ea.petrova@s-vfu.ru;

²ФГБУН Институт горного дела Севера имени Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: k.sokolov@ro.ru

Один из способов получения информации о криогенном состоянии горных пород методом георадиолокации основан на анализе осей синфазности сигналов, отраженных от локальных объектов. На изображениях георадиолокационных радарограмм подобные оси синфазности представлены гиперболическими кривыми. На основе их локализации и уточнения формы определяется скорость прохождения электромагнитной волны в среде. Для уточнения формы гиперболической кривой в разработанном алгоритме были использованы методы на основе преобразования Хафа. Для оптимизации производительности алгоритма введены ограничения размерностей исходного и аккумуляторного пространств. Границы исходного пространства были определены на основе проведенных ранее исследований по обнаружению гиперболических осей синфазности сигналов. Размерность пространства Хафа была уменьшена на основе априорных знаний о возможной допустимой скорости прохождения электромагнитных волн в среде. В результате работы созданного программного обеспечения вычисляются скорость распространения электромагнитной волны в пространстве выше локального объекта и вещественная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, что дает возможность определить электрофизические свойства среды. Тестирование разработанного алгоритма было проведено на результатах полевых георадиолокационных измерений и синтетических данных. Точность результатов работы алгоритма составила 98,6%, что указывает на адекватность его применимости для исследований льда в слоях многолетнемерзлых горных пород.

Ключевые слова: георадиолокация, преобразование Хафа, оси синфазности, аккумуляторное пространство, уравнение годографа

DETERMINATION OF UNDERGROUND ICE POSITION IN FROZEN ROCK MASSIF FROM GEORADIOLOCATION DATA BASED ON THE HOUGH TRANSFORMATION

¹Petrova E.A., ²Sokolov K.O., ²Prudetskiy N.D.

¹North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,
e-mail: ea.petrova@s-vfu.ru;

²Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: k.sokolov@ro.ru

One of the ways to obtain information about the cryogenic state of rocks by GPR is based on the analysis of the in-phase axes of signals reflected from local objects. On the images of GPR radargrams, similar in-phase axes are represented by hyperbolic curves. On the basis of their localization and refinement of the form, the speed of passage of an electromagnetic wave in the medium is determined. To refine the shape of the hyperbolic curve in the developed algorithm, methods based on the Hough transform were used. To optimize the performance of the algorithm, restrictions on the dimensions of the original and accumulator spaces are introduced. The boundaries of the original space were determined on the basis of previous studies on the detection of hyperbolic axes of common-mode signals. The dimension of the Hough space was reduced on the basis of a priori knowledge of the possible allowable speed of electromagnetic waves in the medium. As a result of the work of the created software, the speed of propagation of an electromagnetic wave in space above the local object and the real part of the complex relative permittivity are calculated, which makes it possible to determine the electrophysical properties of the medium. Testing of the developed algorithm was carried out on the results of field georadar measurements and synthetic data. The accuracy of the results of the algorithm was 98.6%, which indicates the adequacy of its applicability for studying ice in permafrost layers.

Keywords: GPR, Hough transform, in-phase axes, accumulator space, hodograph equation

При разработке месторождений криолитозоны необходима информация о криогенном состоянии горных пород. Подобную информацию возможно получить по данным бурения скважин и проходки шурфов, но наиболее информативными методами

являются геофизические. Из них при изучении строения массива горных пород россыпных месторождений криолитозоны успешно применяется метод георадиолокации [1]. Информацию о криогенном состоянии горных пород методом георадиолокации [2; 3]

получают с помощью использования специализированных методик: 1) разнос антенн; 2) анализ гиперболических осей синфазности георадиолокационных сигналов.

Первый способ заключается в последовательном увеличении расстояния между передающей и приемной антеннами (от десятков сантиметров для высокочастотных георадаров до нескольких метров для низкочастотных) по поверхности Земли. Цель таких наблюдений состоит в получении графика зависимости времени прихода отраженных волн от расстояния и определения, с помощью последующей обработки, сведений о скоростях распространения электромагнитных волн в среде. Однако из-за огромных затрат времени на производство работ данная методика применяется весьма редко [4, с. 43].

Второй способ основан на явлении дифракции электромагнитных волн (ЭМВ). На радарограмме электромагнитные волны, отраженные от локального объекта, образуют гиперболические оси синфазности георадиолокационных сигналов. Анализ формы такой гиперболы позволяет определить глубину залегания локального объекта и скорость распространения электромагнитных волн в среде выше него. Далее, основываясь на отношении зависимости скорости и относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) среды, можно сделать вывод о криогенном состоянии и строении подповерхностных слоев [5, с. 12].

Одной из проблем при изучении криогенного строения массива горных пород является определение местоположений подповерхностных подземных льдов, что важно при проведении буровзрывных работ на месторождениях криолитозоны. Для решения данной проблемы была поставлена следующая цель: разработать алгоритм обработки данных георадиолокации, позволяющий выявлять подповерхностные подземные льды в массиве мерзлых горных пород.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ криогенного строения массива горных пород россыпных месторождений криолитозоны;
- 2) определить условия, при которых данные об электрофизических свойствах горных пород, полученные на основе анализа гиперболических осей синфазности георадиолокационных сигналов, будут наиболее информативны;
- 3) разработать алгоритм и реализующее его программное обеспечение, позволяю-

щие выявлять подповерхностные подземные льды в массиве горных пород криолитозоны.

Материалы и методы исследования

Большинство россыпных месторождений криолитозоны относятся к аллювиальному типу. Развита повсеместно четвертичные образования, представленные широким набором генетических типов отложений: аллювиальными, озерно-аллювиальными, озерно-болотными, полигенными и т.д. Рыхлые отложения в большинстве представлены льдистыми алевролитами, суглинками, илами, илистыми песками, глинами, реже супесями, песками и торфом с линзами и жилами льда [6, с. 71]. Например, на россыпном месторождении алмазов льдистость массива горных пород составляет до 60%. Мощность ледяных жил, как правило, контролируется мощностью рыхлых отложений и не превышает 2–4 м, возрастая в пределах аллювиальных террас, полигональных и плоскобугристых торфяников до 5–7 м [7, с. 246]. Таким образом, в типичном геокриологическом разрезе массива горных пород присутствуют приповерхностные льды, ниже которых расположены нарушенные коренные породы, формирующие гиперболические оси синфазности георадиолокационных сигналов.

Для обработки и интерпретации данных георадиолокационных измерений, как правило, используются программные комплексы, идущие в комплекте с георадарами, например GeoScan32 (НПЦ GEOTEX). В данном программном комплексе выделение дифрагированных осей синфазности сигналов осуществляется оператором-геофизиком вручную путем подбора годографа подходящей формы. Для автоматизации процесса уточнения формы гиперболического годографа необходимо создать соответствующий алгоритм. В настоящее время в данной области имеются разработки, представленные исследованиями российских и зарубежных авторов. Среди них есть много работ, связанных с созданием алгоритмов на основе преобразования Хафа, как, например, в работах [8; 9].

Преобразование Хафа (Hough Transform) – это пространственный фильтр обнаружения графического примитива на изображениях с использованием процедуры «голосования». В данном исследовании для автоматизации изучения гиперболической формы осей синфазности сигналов был создан алгоритм, использующий методы на основе преобразования Хафа.

Описание работы алгоритма

Графическое изображение радарограммы обрабатывается ранее созданной программой для детектирования гиперболических образов [10]. Ограничение каждого региона представлено двумя координатами: первая локализует правый верхний угол, вторая – левый нижний. Локализация таких регионов проводится с использованием методов машинного обучения. Программа, созданная в рамках данного исследования, принимает на вход указанные выше регионы – прямоугольные области изображения радарограммы R , содержащие изображения гиперболических осей синфазности сигналов.

В данной работе описан алгоритм реализации следующего логического этапа – уточнение формы гиперболических кривых, образованных осями синфазности и локализация пространственно-временного расположения их вершин.

Начальная матрица $R_{\{i, j\}}$ пиксельного пространства была приведена в соответствие пространству $R\{x, t\}$, где x – протяженность профиля исследований, t – время распространения сигнала в среде.

Фазовое пространство Хафа – Hough Space (HS) представляет собой двумерную плоскость, образованную координатными осями Oh и Ob . По оси Ob отмечаются скорости прохождения ЭМВ в среде, а по оси Oh – координаты вершины гиперболической кривой по оси времени, пересчитанные в глубинные значения с помощью уравнения

$$h = (t \times v) / 2, \quad (1)$$

где t – двойное время пробега электромагнитной волны. Таким образом, каждому из k возможных положений вершины $O_k(x, t)$ исходного пространства R соответствует прямая в HS с угловым коэффициентом $t/2$.

Каждая точка (v_p, h_k) прямой аккумулирует значения амплитуд:

$$accum_p = \sum_{m=1}^n A_m, \quad (2)$$

где A_m – амплитуды сигналов, хранящиеся в точках (x_m, t_m) , проходящих вдоль гиперболического годографа пространства R (3).

$$t_m = \frac{2\sqrt{(x_m - x_k)^2 + h_k^2}}{v_p}. \quad (3)$$

В аккумуляторе HS для каждой из k вершин сохраняется максимальное нако-

пленное значение: $accum_k = \text{Max}(accum_p)$. Затем из массива вершин O_k выбирается та, которой соответствует максимальный накопитель.

Таким образом, процедура «голосования» проходит дважды: итогом первого является определение значения скорости v для каждой из возможных k вершин, по итогу второго голосования выбирается вершина оси синфазности.

Каждое вычисляемое значение t уравнения годографа (3) для фиксируемых v и x отображается на исходное пространство с приблизительной точностью, поэтому значение амплитуды в этой точке определяется по двум соседним точкам, проходящим по годографу дифракции (рис. 1).

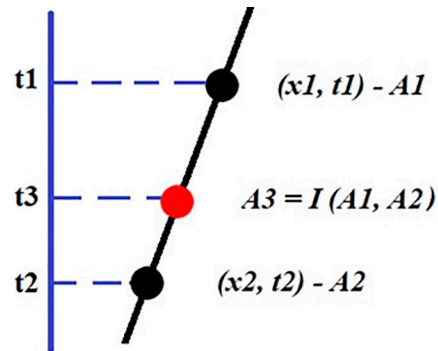


Рис. 1. Значение амплитуды по ближайшим точкам

Если t_3 – вычисленная вторая координата точки исходного пространства для заданной x_3 , а (x_1, t_1, A_1) и (x_2, t_2, A_2) – ближайшие соседние координаты точки, пробегающие по годографу дифракции и хранящие амплитуды сигналов, то амплитуда для точки (x_3, t_3) будет вычисляться по формуле

$$A_3 = I(A_1, A_2) = A_1 + \frac{(A_2 - A_1) \times (t_3 - t_1)}{(t_2 - t_1)}. \quad (4)$$

Итогом работы алгоритма является определение местоположения вершины оси синфазности в пространстве $\{x, t\}$, и скорость (v) распространения ЭМВ в среде выше локального объекта. Полученное значение скорости используется для определения относительной диэлектрической проницаемости среды:

$$\varepsilon = c^2 / v^2. \quad (5)$$

Оптимизация алгоритма

Использование алгоритма Хафа на практике имеет один существенный недостаток: высокая асимптотическая сложность $O(n^k)$,

где n – размер исследуемой области, k – размерность фазового пространства. Для снижения сложности алгоритма, как правило, ищут способы уменьшения числа итераций при вычислении аккумуляторов. Например, в своем исследовании китайские авторы Цзянь Ван и Йи Су уменьшили количество исходных параметров фазового пространства с трех- до одномерного [8]. В результате работы с помощью созданного алгоритма им удалось снизить вычислительную нагрузку до $O(M \times N)$, но, как отмечают сами авторы, в практических приложениях способность к обнаружению осей синфазности сигналов была невысокой.

Некоторые исследователи, как, например, в работе по обнаружению осей синфазности георадиолокационных сигналов без априорных знаний о среде [9], предлагают методы анализа дифрагированных осей синфазности с помощью свертки образа на изображении радарограммы, с гиперболой, заданной уравнением годографа. Предложенная этими авторами методика похожа на представленную в данной работе, но далее они пытаются сопоставить уравнение годографа с каноническим уравнением гиперболы. Особенность указанного алгоритма состоит в том, что метод учитывает деформацию картины волнового образа осей синфазности. В результате, алгоритм успешно справляется с локализацией гиперболических образов, представленных осями синфазности, но авторы работы указывают на довольно высокую ошибку при оценке относительной диэлектрической проницаемости среды.

Для уменьшения программной сложности в данном исследовании также были предприняты следующие шаги:

Шаг 1. Заполнение аккумулятора в HS является основной частью созданного алгоритма, производительность которого зависит, во-первых, от размерности задания пространства, во-вторых, от количества параметров перебираемых значений и, в-третьих, от величины шага перебираемых значений последовательности исходного и накопительного пространств.

В реализованном подходе точность определения местоположения координат вершины оси синфазности (ВОС) пространства R зависит от учета всех точек, проходящих вдоль ее годографа. Поэтому увеличение шага дискретизации в исходном пространстве было бы некорректным.

Шаг 2. Была ограничена область локализации ВОС. В созданном алгоритме была уменьшена область определения ко-

ординат вершин: по оси Ot наполовину и по Ox – втрое:

$$x_{min} = x_1 + \frac{x_2 - x_1}{3}, x_{max} = x_2 - \frac{x_2 - x_1}{3},$$

$$t_{max} = t_1 + \frac{t_2 - t_1}{2}, \quad (6)$$

где (x, t) – координаты ВОС. Сокращение количества вершин-кандидатов в исследуемом регионе пространства R привело к уменьшению числа итераций циклов и в конечном итоге повысило производительность алгоритма. Следует подчеркнуть, что данное ограничение не является обязательным, поскольку поиск вершины уже проводится в пределах пространства R .

Шаг 3. Важное ограничение было введено в фазовом пространстве: перебор значений скорости проводится в пределах области допустимых значений:

$$v_{min} = 0.1 \text{ м/нс}, v_{max} = 0.167 \text{ м/нс}, \quad (7)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Апробация алгоритма проведена на данных компьютерного моделирования пространства ЭМВ (синтетической радарограмме), полученной в системе `grgMax` на основе схемы, представленной на рис. 2, а. Значениям ϵ на радарограмме соответствовали: мерзлые горные породы ($\epsilon_1 = 4$), лед ($\epsilon_1 = 3,2$), воздух ($\epsilon_1 = 1$). Третий вариант расположения локального объекта под слоем воздуха предназначен для определения на радарограмме возможных помех от деревьев, строений, техники и пр. Соответственно, область допустимых значений скорости ЭМВ была изменена: максимальная скорость была увеличена до 0,33 м/нс. Результат работы алгоритма отображен на рис. 2, в.

В результате апробации алгоритма на синтетических данных для каждой из модельных сред были получены следующие значения (соответственно):

$$v_1 = 0,146 \text{ м/нс}, t_1 = 15,18, \epsilon_1 = 3,95,$$

$$v_2 = 0,162 \text{ м/нс}, t_2 = 15,24, \epsilon_2 = 3,204,$$

$$v_3 = 0,277 \text{ м/нс}, t_3 = 15,18, \epsilon_3 = 1,095.$$

Разница в значении ϵ составила 0,055; 0,004 и -0,095 соответственно. Таким образом, отклонение от модельных данных составило около 1,4%, что с учетом погрешностей измерений на синтетической радарограмме показывает удовлетворительный результат.

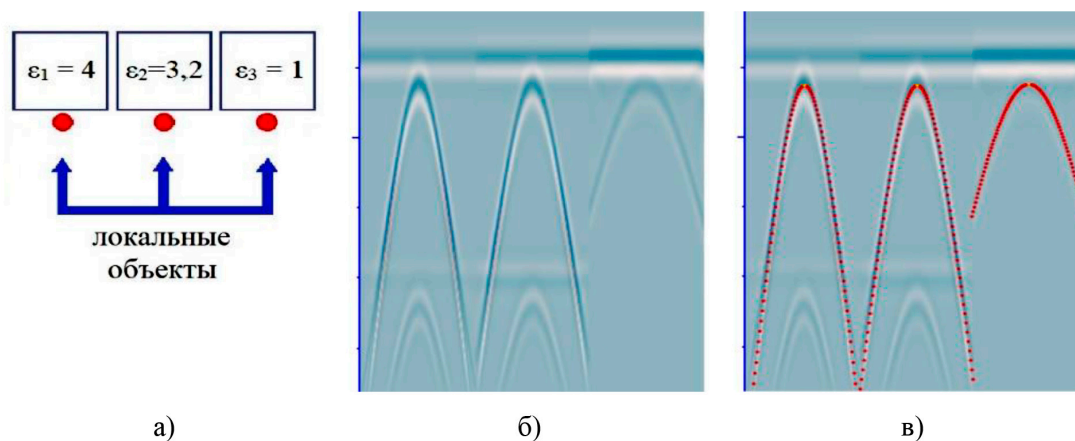


Рис. 2. Апробация программного алгоритма:
 а) описание заданных электрофизических свойств среды;
 б) синтетическая георадиолокационная радарограмма; в) выделенные оси синфазности

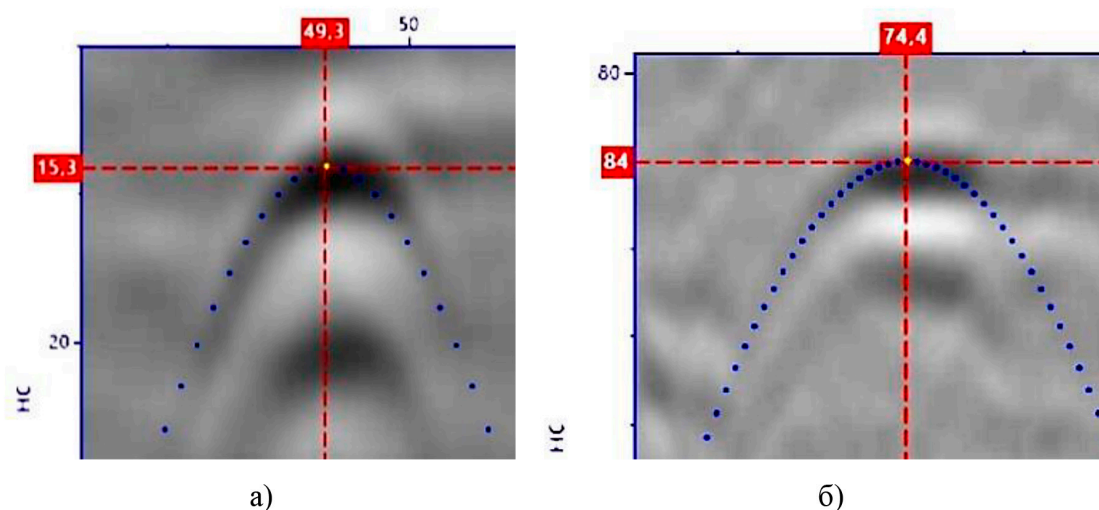


Рис. 3. Результаты тестирования на полевых данных:
 а) $v = 0,16$ м/нс, $t = 15,23$ нс, $\epsilon = 3,13$; б) $v = 0,15$ м/нс, $t = 84,38$ нс, $\epsilon = 3,5$

Проверка работы алгоритма была также проведена на полевых данных (рис. 3) георадиолокационных исследований массива мерзлых горных пород. В результате была определена пространственно-временная локализация объектов и значение относительной диэлектрической проницаемости среды. Полученные значения соответствовали ожидаемым.

Заключение

В результате проведенных исследований создан алгоритм на основе преобразования Хафа для определения электрофизических свойств подповерхностной среды по локализованным осям синфазности сигналов георадиолокации. Тестирование, проведенное на синтетической радарограмме,

показало точность определения алгоритмом значений относительной диэлектрической проницаемости 98,6%. Разработанный алгоритм позволит увеличить скорость обработки и интерпретации георадиолокационных исследований и может быть использован для картирования подповерхностных подземных льдов в массиве горных пород криолитозоны.

Основная работа по оптимизации производительности алгоритма в данное время проводится в фазовом пространстве. Было замечено, что локальные максимумы накопителей каждой прямой, соответствующей вершине гиперболического годографа в исходном пространстве, аппроксимируют в фазовом пространстве некоторую кривую. Таким образом, в первом голосовании до-

статочно определить начальный и конечный максимумы в накопительном пространстве, затем, построив график искомой функции, сразу перейти ко второму голосованию – поиску максимума аккумулятора в точках на этом графике. В следующей работе будет проведено исследование данной кривой.

Список литературы

1. Прудецкий Н.Д., Соколов К.О., Попков П.А. Методика георадиолокационного картирования не затронутых термокарстом повторно-жильных льдов // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 186–192.
2. Schennen S., Tronicke J., Wetterich S., Allroggen N., Schwamborn G., Schirmermeister L. 3D ground-penetrating radar imaging of ice complex deposits in northern East Siberia // Geophysics. 2016. Vol. 81, Is. 1. P. 185–192.
3. Schennen S., Tronicke J. The potential of common-offset GPR surveying in complex permafrost environments: An example from Northern Siberia // 2015 8th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR) (Florence, Italy, 7–10 July 2015). IEEE, 2015. P. 357–361.
4. Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений: учебное пособие. М.: ГЕОС, 2017. 240 с.
5. Дьяков А.Ю., Калашник А.И. Методические основы георадарных исследований горнотехнических объектов. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2021. 110 с.
6. Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А., Кычкин В.Р., Сулейманов А.М. Россыпи алмазов России. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. 457 с.
7. Фотиев С.М., Кондратьева К.А., Хруцкий С.Ф. Геокриология СССР: Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. 414 с.
8. Wang J., Su Y. Fast detection of GPR objects with cross correlation and hough transform // Progress In Electromagnetics Research. 2013. Vol. 38. P. 229–239.
9. Mertens L., Persico R., Matera L., Lambot S. Automated detection of reflection hyperbolas in complex GPR images with no a priori knowledge on the medium // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2015. Vol. 54. P. 580–596. DOI: 10.1109/TGRS.2015.2462727.
10. Петрова Е.А., Соколов К.О., Прудецкий Н.Д., Ведехин К.Э. Использование сверточных нейронных сетей для поиска гиперболических осей синфазности георадиолокационных сигналов // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 1. С. 32–36.

СТАТЬИ

УДК 528.481:528.141
DOI 10.17513/use.38093

О ПОСТАНОВКЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНОГО ВЫСОКОТОЧНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Волков Н.В., Волков В.И., Шендрик Ю.В.

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: volkov.nikita@yahoo.com*

В статье рассмотрен альтернативный к существующим подход к постановке и математической обработке результатов повторного высокоточного нивелирования на перспективных площадках строительства, стадии геодезических изысканий в специальных сетях с целью исследования устойчивости оснований проектируемых сложных систем прецизионных сооружений. Традиционная технология повторного нивелирования предусматривает обустройство в границах перспективных площадок сложных по конструкции и в эксплуатации, дорогостоящих и, как показывает геодезическая практика, уязвимых к механическим и физическим воздействиям техногенных и природных экзогенных факторов глубинных нивелирных пунктов, используемых в качестве исходной основы. Такому громоздкому и не всегда и везде эффективному подходу к постановке повторного нивелирования предлагается в качестве альтернативы метод постановки и обработки результатов повторного нивелирования, исключающий использование исходной высотной основы и, соответственно, оборудования на перспективных площадках глубинных нивелирных пунктов. Предложена методика обработки результатов повторного нивелирования дополнительно к определению изменений превышений между нивелирными пунктами, установленными на проектную глубину залегания оснований прецизионных сооружений, предусматривающая анализ статистических погрешностей нивелирования, измеренных в циклах нивелирования, что позволяет дать объективную оценку качества результатов определяемых вертикальных смещений нивелирных пунктов и значимости этих результатов. При этом в статье рассмотрены вопросы строгого уравнивания рядов нивелирных квадратов, включающие решение системы нормальных уравнений коррелят с пятидиагональной матрицей коэффициентов и контроль выполненных преобразований свободных членов. Приведены положительные результаты применения метода при обработке результатов наблюдений за эндогенными и экзогенными геомеханическими процессами, полученные на основе повторного нивелирования нивелирной сети без глубинных нивелирных пунктов, в виде 12 двоянных квадратов.

Ключевые слова: повторное нивелирование, обработка нивелирования, уравнивание нивелирования, геодезические измерения

THE FORMULATION AND MATHEMATICAL PROCESSING OF THE RESULTS OF REPEATED HIGH-PRECISION LEVELING IN THE STUDY OF THE STABILITY OF THE FOUNDATIONS OF PRECISION STRUCTURES

Volkov N.V., Volkov V.I., Shendrik Yu.V.

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg,
e-mail: volkov.nikita@yahoo.com*

The article considers an alternative approach to the existing ones to the formulation and mathematical processing of the results of repeated high-precision leveling at promising construction sites, the stage of geodetic surveys in special networks in order to study the stability of the foundations of the projected complex systems of precision structures. The traditional technology of re-leveling provides for the arrangement of deep leveling points within the boundaries of promising sites that are complex in design and operation, expensive and, as geodetic practice shows, vulnerable to mechanical and physical impacts of man-made and natural exogenous factors, used as a starting point. Such a cumbersome and not always and everywhere effective approach to the staging of re-leveling is proposed as an alternative to the method of staging and processing the results of re-leveling, which excludes the use of the initial high-altitude base and, accordingly, equipment at promising sites of deep leveling points. A method of processing the results of repeated leveling is proposed in addition to determining the changes in the exceedances between leveling points installed at the design depth of the foundations of precision structures, which provides for the analysis of statistical leveling errors measured in leveling cycles, which allows an objective assessment of the quality of the results of the determined vertical displacements of leveling points and the significance of these results. At the same time, the article considers the issues of strict equalization of rows of leveling squares, including the solution of a system of normal correlate equations with a five-diagonal matrix of coefficients and control of the transformations of free terms performed. The positive results of using the method in processing the results of observations of endogenous and exogenous geomехanical processes, obtained on the basis of repeated leveling of the leveling network without deep leveling points, in the form of 12 double squares, are presented.

Keywords: re-leveling, leveling processing, leveling equalization, geodetic measurements of grain

На перспективных площадках строительства прецизионных сооружений, примерами которых являются объекты атомной энергетики, инженерно-строительные комплексы линейных ускорителей заряженных частиц, промышленные конвейеры тонких технологий и других объектов, надежность сооружений в процессе эксплуатации обеспечивается прежде всего допустимыми деформациями оснований их фундаментов, определяемыми большей частью десятыми долями миллиметров (0,1–0,5 мм) [1, с. 381; 2; 3].

Опыт эксплуатации прецизионных сооружений показывает [2–4] на наличие нарушений устойчивости прецизионных сооружений, обусловленных воздействиями природных и техногенных геомеханических процессов на основания их фундаментов. При этом неоднородные инженерно-геологические условия застраиваемой пром площадки порождают сложнодифференцированные деформации оснований сооружений экзогенного происхождения, которые со временем не прекращаются и могут являться причиной нарушения устойчивости прецизионных сооружений [2].

В этой связи на стадии выбора площадки под строительство прецизионных сооружений в составе инженерных изысканий производится изучение микросмещений приповерхностных слоев земной коры на глубине закладки фундаментов,

вызванных как короткопериодическими, так и длительными воздействиями экзогенных геомеханических процессов [4]. В силу инженерно-геологической неоднородности приповерхностных слоев земной коры по глубине и простиранию, экзогенные геомеханические процессы оказывают различные возмущающие воздействия на различные породы четвертичных отложений, порождая при этом неоднородное напряженно-деформированное состояние приповерхностных слоев земной коры. Это обстоятельство, одновременно с процессами современной геодинамики, неизбежно приводит к дифференцированным вертикальным смещениям приповерхностных слоев земной коры и нивелирных пунктов [2; 5–7], закладываемых на специальных геодезических площадках (рисунок), предназначенных для изучения этих вертикальных смещений.

Материалы и методы исследования

Традиционно [1, с.160; 3] смещения нивелирных пунктов определяют по результатам повторного нивелирования нивелирных пунктиков на основе изменения превышений между исходным и контрольными пунктами. При этом в качестве начала координат (высот) применяются дорогостоящие, сложные по конструкции глубинные нивелирные пункты (реперы) [3; 4], не обладающие абсолютной устойчивостью [2].

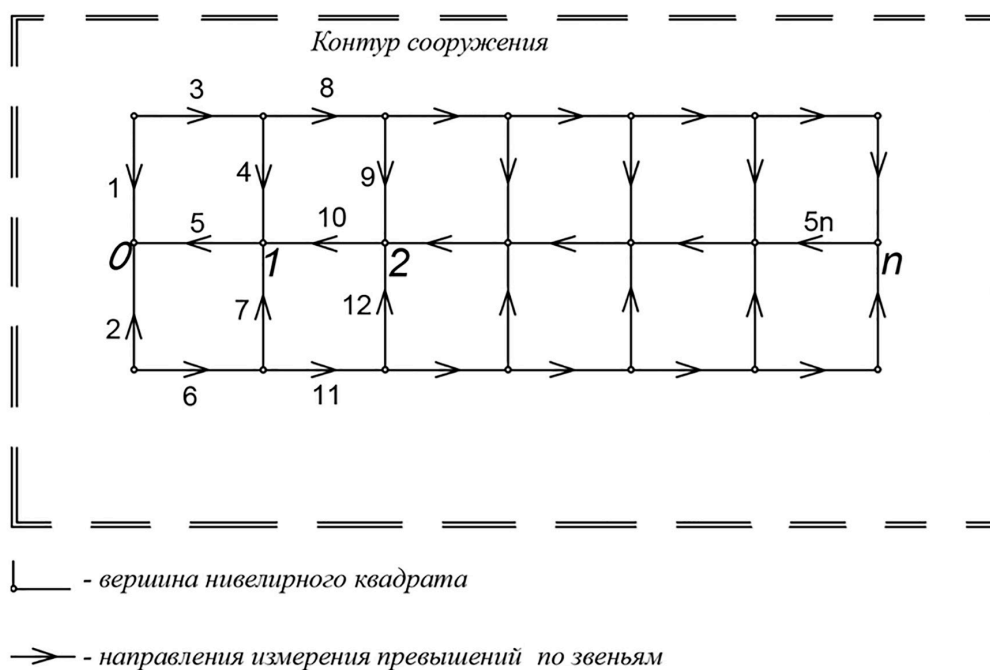


Схема специальной наблюдательной геодезической сети из сдвоенных нивелирных квадратов

В отсутствие на Земле абсолютно неподвижных точек, авторами статьи разработан альтернативный метод математической обработки результатов повторного нивелирования без выбора исходного (опорного) нивелирного пункта.

Предлагаемый метод предусматривает проверку равноточности результатов наблюдений или их распределения и интервальную оценку разностей превышений Δh_i , полученных в i -х циклах наблюдений и установления значимости изменения превышений [3]:

$$\Delta h_{i+1} > \sqrt{32L(\eta_i^2 + \eta_{i+1}^2)}$$

$$\text{или } v_{\text{зн}} > \frac{\sqrt{32L(\eta_i^2 + \eta_{i+1}^2)}}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\eta_i = \frac{1}{4n} \left[\frac{d^2}{r} \right]$ – случайная среднеквадратическая ошибка измерения превышений в i -м цикле повторного нивелирования [8, с. 5], $d = h_{\text{cp}} - h_{\text{обп}}$ – разность превышений, полученных в N секциях прямых и обратных ходов, длина которых L км; $v_{\text{зн}}$ – значимая величина скорости изменения превышений Δh_{i+1} .

Поочередно принимая за исходный все нивелирные пункты по уравненным превышениям, вычисляются высоты остальных j -х. Основываясь на сопоставлении отметок всех нивелирных пунктов из двух циклов повторных наблюдений, получаем n рядов расхождений высот Δ_{ij} (i, j от 1 до n). Полученные расхождения сводятся в квадратичскую симметричную матрицу:

$$B_n = \begin{pmatrix} 0 & \Delta_{12} & \Delta_{13} & \dots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & 0 & \Delta_{23} & \dots & \Delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{n1} & \Delta_{n2} & \Delta_{n3} & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Разделив суммы столбцов S_i матрицы B_n на n (количество пунктов), получаем средние смещения j -х пунктов $\Delta_{\text{cp}}(j)$ относительно всех остальных нивелирных пунктов. По значениям средних смещений $\Delta_{\text{cp}}(j)$ и промежутку времени Δt между повторными нивелированиями на участке L между нивелирными пунктами j и $j+1$ получим средние скорости v_{cp} вертикальных движений и их градиенты, а именно:

$$v_{\text{cp}} = \frac{S_{j+1} - S_j}{\Delta t}$$

$$\text{и } \text{grad } v_{\text{cp}} = \frac{S_{j+1} - S_j}{\Delta t \cdot L} \rho'', \quad (3)$$

где $\rho'' = 206265''$.

Полученные значения скоростей вертикальных смещений нивелирных пунктов v при выполнении условия (1) невозможно объяснить систематическими ошибками нивелирования так как их влияние на точность измерения превышений в ходах нивелирования длиной менее 20 км, что характерно для специальных геодезических сетей, пренебрежимо малое и составляет сотые доли миллиметров [1; 8, с. 5]. Значение среднеквадратических ошибок, установленных средних смещений S_j нивелирных пунктов характеризуется $M_{\text{cp}} = \frac{\sum M_j}{n}$.

Погрешность определения средней скорости смещения оснований прецизионных сооружений на участке между i -м и j -м нивелирными пунктами определяется формулой

$$m_v(\text{cp})_{i,j} = \frac{\sqrt{m_i^2 + m_j^2}}{\Delta t}, \quad (4)$$

где Δt – промежуток времени между сопоставляемыми повторными нивелированиями нивелирных пунктов, заложенных на глубину оснований прецизионных сооружений.

Для вычисления среднеквадратических погрешностей $m_v(\text{cp})_{i,j}$ составляется матрица A_n среднеквадратических погрешностей повторного нивелирования соответственно матрице B_n :

$$A_n = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & 0 & m_{23} & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Разработанный метод одновременно с вычислением вертикальных смещений, скоростей современных движений приповерхностных слоев земной коры и их градиентов позволяет оценить устойчивость нивелирных пунктов, заложенных на глубину оснований прецизионных сооружений, а также выбрать исходный пункт (начало высот) для определения крена приповерхностного слоя земной коры, составляющего основание сооружения. Градиент скорости, свободный от накопления значительной части ошибок повторного нивелирования [2], характеризует развивающийся крен припо-

верхностного слоя земной коры, который является предметом исследования на перспективных площадках строительства прецизионных сооружений.

Для уравнивания измеренных превышений в часто встречающейся в практике нивелирной сети [1; 2], состоящей из сдвоенных нивелирных рядов из одинаковых квадратов (рисунок), разработан строгий способ уравнивания, который по сравнению с известными в геодезической практике способами более компактный, упрощающий уравнивательные вычисления и оценку точности.

Разработанный строгий способ уравнивания предусматривает решение системы нормальных уравнений коррелят с пятидиагональной матрицей коэффициентов. Для

сдвоенных нивелирных рядов из одинаковых квадратов (рисунок) коэффициенты нормальных уравнений коррелят представляют пятидиагональную матрицу и определяются равенством

$$\begin{aligned} [a_i a_i] &= 4 \text{ при } i \text{ от } 1 \text{ до } 2n \\ [a_i a_{i+1}] &= e_i \text{ при } i \text{ от } 1 \text{ до } 2n-1. \\ e_{\text{четн}} &= e_{2n} = 0; \\ e_{\text{нечетн}} &= 1; \\ [a_i a_{i+1}] &= -1 \text{ (при } i = 1, 2n - 2). \end{aligned} \tag{5}$$

Обозначив коэффициенты условных уравнений буквами a_1, a_2, a_3 и т.д., представим преобразованную (по Гауссу) систему нормальных уравнений коррелят в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} [a_1 a_1]K_1 + [a_1 a_2]K_2 + [a_1 a_3]K_3 + \dots + w_1 &= 0 \\ [a_2 a_2 \cdot 1]K_2 + [a_2 a_3 \cdot 1]K_3 + [a_2 a_4 \cdot 1]K_4 + w_2 &= 0 \\ [a_3 a_3 \cdot 2]K_3 + [a_3 a_4 \cdot 2]K_4 + w_3 \cdot 2 &= 0 \end{aligned} \right\}. \tag{6}$$

Рассмотрим систему (6) в виде одного общего равенства:

$$[a_i a_i \cdot (i-1)]K_i + [a_i a_{i+1} \cdot (i-1)]K_{i+1} + [a_i a_{i+2} \cdot (i-1)]K_{i+2} + w_i(i-1) = 0. \tag{7}$$

Преобразованные квадратические коэффициенты можно представить в виде простых дробей [2], а именно:

$$[a_i a_i (i-1)] = \frac{M_{i+1}}{M_i}. \tag{8}$$

Очевидно, что квадратические коэффициенты, полученные от сочетания несмежных квадратов с разностью индексов $n > 2$, равны нулю:

$$[a_i a_{i+h} (i-1)] = 0, \text{ при } n \geq 3, \tag{9}$$

а неквадратические коэффициенты от сочетания смежных квадратов равны

$$[a_{i-1} a_{i+1} (i-2)] = [a_{i-1} a_{i+1}] = -1; \tag{10}$$

$$[a_{i-1} a_{i+1} (i-1)] = \frac{E_i}{M_i}. \tag{11}$$

Алгоритм Гаусса преобразования свободного члена в раскрытом виде состоит из трех членов:

$$w_{i+1} \cdot i = w_{i+1} - \frac{[a_{i-1} \cdot a_{i+1} (i-2)]}{[a_{i-1} \cdot a_{i-1} (i-2)]} w_{i-1} (i-2) - \frac{[a_i \cdot a_{i+1} (i-1)]}{[a_i \cdot a_i (i-1)]} w_i (i-1). \tag{12}$$

Для получения формулы преобразованного свободного члена, преобразуем алгоритмы Гаусса через целые числа M и E :

$$w_{i+1} \cdot i = w_{i+1} + \frac{M_{i-1}}{M_i} N_{i-1} (i-2) - \frac{E_i}{M_{i+1}} w_i (i-1). \tag{13}$$

Назначим обозначения:

$$S_i = \frac{E_i}{M_{i+1}}, \quad t_i = \frac{M_i}{M_{i+1}}, \quad d_i = t_i - S_i. \tag{14}$$

С учетом принятых обозначений (14) представим рабочую формулу для вычисления последовательных значений преобразованных свободных членов нормальных уравнений коррелят, а именно:

$$w_{i+1} \cdot i = w_{i+1} - S_i w_i (i-1) + t_{i-1} w_{i-1} (i-2). \quad (15)$$

Результаты исследования и их обсуждение

С практической целью целесообразно упростить обозначения алгоритма Гаусса для преобразования члена, не теряя при этом никакой информации, содержащейся в этом алгоритме, представим преобразованный свободный член как $w_{i+1} \cdot i = w_{(i+1)}$.

Тогда формула (15) для вычисления преобразованного свободного члена будет представляться в следующем виде:

$$w_{(i+1)} = w_{i+1} - S_i w_{(i)} + t_{i-1} w_{(i-1)}. \quad (16)$$

Контрольные вычисления преобразованных свободных членов можно производить по формуле контрольной суммы, имеющей следующий вид:

$$[w_i] = [w_{(i)}] + [S_i w_{(i)}] - [(t_i - S_i) w_{(i)}].$$

При вычислении величины t_i и S_i используются числа M и E , которые вычисляются по рекуррентным формулам, представленным, как и алгоритм вычислений, в опубликованной ранее работе [2], а именно:

$$M_{i+3} = 4(M_{i+2} - M_i) + M_{i-1} - e_{i+1}(E_{i+1} + E_i)$$

$$\text{и } E_i = M_i [a_i a_{i+1} (g-1)]. \quad (17)$$

Равенство (17) с учетом условий (5) и значений $E = \sum e_n M_n$ (при $n = 1, \dots, i$) является возвратным уравнением для чисел M , позволяющих получить квадратичные члены по формуле (8).

Формулы для вычисления коррелят получаем подстановкой в уравнение (7) значения коэффициентов при коррелятах, полученных согласно (8)–(11), что позволяет с учетом (13) и (14) получить выражения текущей корреляты через предыдущие и преобразованные свободные члены:

$$K_i = t_i K_{i+2} - S_i K_{i+1} - t_i w_i.$$

Контроль вычисления коррелят производится по общеизвестной формуле суммы всех нормальных уравнений

$$[KS_i^0] = -[w],$$

где S_i^0 – сумма коэффициентов i -го нормального уравнения коррелят.

Заключение

Решение системы нормальных уравнений коррелят с пятидиагональной матрицей коэффициентов при математической обработке результатов наблюдений за экзогенными и эндогенными геомеханическими процессами, полученных на основе повторного высокоточного нивелирования сети, представленной 12 сдвоенными квадратами, показало хорошие результаты. Так, контроль выполненных преобразований свободных членов показал, что вычисления выполнены с точностью 0,01 мм, а суммы произведений коэффициентов на соответствующие корреляты без свободного члена близки к нулю (-0,03; -0,05 мм), то есть контроль выполняется.

Применение разработанного метода постановки и методики обработки результатов повторных геодезических наблюдений позволяет повысить репрезентативность результатов экспериментальных исследований современных геодинамических исследований [9] с использованием данных деформационного мониторинга природных и техногенных систем.

Список литературы

1. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Новак В.Е. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. М.: Недра, 1980. 780 с.
2. Волков Н.В., Волкова Т.Н., Волков В.И. Оценка точности уравненных элементов нивелирного ряда из сдвоенных квадратов // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 58–62.
3. Volkov V.I., Volkov N.V. Use of the program and goal-oriented approach to observe the vertical displacements of the earth's surface in Russia // E3S Web of Conferences. TRACEE-2019. 2019. № 91 (07023). 7 p.
4. Панжин А.А., Панжина Н.А. Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 6. С. 31–40. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-31-40.
5. Simonyan V.V., Labuznov A.V. Evaluation criteria of landslide stability // MATEC Web Conferences. XXVII R-S-P Seminar 2018, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP). 2018. Vol. 196. P. 03003.
6. Сашурин А.Д., Балек А.Е., Панжин А.А., Усанов С.В. Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасности объектов недропользования // Горный журнал. 2017. № 12. С. 16–20. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.03.
7. Simonyan V.V., Shendypina S.V. Calculating the accuracy of strain observations of high-rise buildings and structures using electronic total stations // E3S Web of Conferences 164, 02022 (2020), TRACEE 2019. 9 p.
8. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России: [ГКИНП (ГНТА)-03-010-02: введ. 1.02.2004]. М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2004. 244 с.
9. Панжин А.А. Экспериментальные исследования и визуализация современных геодинамических движений // Проблемы недропользования. 2020. № 3 (26). С. 32–39.

УДК 528:627.8:004.94
DOI 10.17513/use.38094

СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЛОТИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BIM (ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ)

Наануа Юсеф, Васютинская С.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва,
e-mail: eng.yousefnaanouh@gmail.com, st.vass@yandex.ru

Данная статья представляет собой всестороннее и информативное исследование использования наземного лазерного сканирования для обследования большой плотины, расположенной на озере Караун в Ливане. Она подробно описывает каждый этап процесса сбора данных, применяемых для плотины. Трехмерная модель была создана с особой тщательностью, а ее точность была подтверждена с помощью контрольных точек, расположенных на каждом блоке плотины. Эти точки точно измерены с использованием тотальной станции. Особое внимание уделяется значимости создания точной трехмерной модели с применением технологии моделирования зданий – Building Information Model (BIM), что вносит значительный вклад в будущее управление и мониторинг плотины. С использованием технологии BIM плотина может эффективно контролироваться на протяжении длительного времени, при этом будет обеспечена ее структурная целостность и надежность. Полученные результаты исследования предоставляют ценную практическую информацию для проектирования и эксплуатации плотин, способствуя развитию техник обследования для крупномасштабных инфраструктурных проектов, сохранению целостности конструкций, жизни населения, фауны и природной среды. Общий вывод состоит в том, что использование наземного лазерного сканирования и технологии BIM является эффективным подходом к обследованию и мониторингу крупных плотин, что способствует их надежности и безопасности в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: крупная плотина, деформация, мониторинг, 3D-модель, лазерное сканирование, тахеометр, BIM, облака точек

CREATING AN ACCURATE 3D MODEL FOR MONITORING DAM USING BIM TECHNOLOGY (BUILDING INFORMATION MODEL)

Naanouh Yousef, Vasyutinskaya S.I.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow,
e-mail: eng.yousefnaanouh@gmail.com, st.vass@yandex.ru

This article is a comprehensive and informative study of the use of ground-based laser scanning to survey a large dam located on Lake Qaraoun in Lebanon. It describes in detail each stage of the data collection process used for the dam. The three-dimensional model was created with great care, and its accuracy was confirmed with the help of control points located on each block of the dam. These points are accurately measured using a total station. Particular attention is paid to the importance of creating an accurate three-dimensional model using building modeling technology (BIM), which makes a significant contribution to the future management and monitoring of the dam. With the use of BIM technology, the dam can be effectively monitored for a long time, while ensuring its structural integrity and reliability. The obtained research results provide valuable practical information for the design and operation of dams, contributing to the development of survey techniques for large-scale infrastructure projects, preservation of the integrity of structures, the life of the population, fauna and the natural environment. The general conclusion is that the use of ground-based laser scanning and BIM technology is an effective approach to the inspection and monitoring of large dams, which contributes to their reliability and safety in the long term.

Keywords: large dam, deformation, monitoring, 3D model, laser scanning, total station, BIM, point clouds

Плотина озера Караун (рис. 1) является одной из старейших и крупнейших плотин Ливана. Мониторинг плотины озера Караун очень важен, поскольку ее повреждение может привести к учащению опасных и аварийных ситуаций. Повреждения на плотине озера Караун несут угрозу в результате возникновения волны прорыва, приводящей к серьезным разрушениям инфраструктуры, природной среды, к человеческим жертвам. Урон от аварий может быть значительным, сравнимым с последствиями природных катаклизмов.

Крайне важно осуществлять мониторинг крупных плотин, поскольку эти гидротехнические сооружения оказывают большое влияние на территорию, на которой они построены. К счастью, в последние десятилетия передовые вычислительные технологии позволяют создавать точную математическую модель статических и динамических проблем, связанных с плотинами. Фотографические методы, как показывает практика, не всегда дают точные результаты, что может привести к возникновению значительных ошибок. Лазерное сканиро-

вание является достаточно эффективным методом обследования, в то же время позволяющим значительно снизить финансовые затраты. Съемка плотины осуществляется с помощью лазерного сканера, который позволяет быстро производить съемку (сканирование) плотины и строительных конструкций. Данные, полученные по результатам произведенного лазерного сканирования, очень полезны для современного мониторинга плотин.

Озеро Караун – это искусственное озеро, или водохранилище, расположенное в южной части долины Бекаа в Ливане, было создано в 1959 г. Озеро располагается недалеко от деревни Камерун. Оно было создано путем строительства плотины длиной 1 км из каменной насыпи высотой 61 м с бетонным покрытием. Плотина озера Караун расположена в среднем течении реки Литани, которая является самой длинной рекой в Ливане. Водоохранилище, полученное при строительстве плотины на озере Караун, используется для выработки гидроэнергии (190 МВт или 250 000 л.с.), бытового водоснабжения и для орошения 27 500 га (68 000 акров).

Годовой сток поверхностных вод в реке Литани, поступающих в озеро Караун, составляет $420 \times 106 \text{ м}^3$ ($15 \times 109 \text{ фут}^3$). Этот поток используется для выработки гидроэлектроэнергии на трех гидроэлектростанциях в Маркабе, Авали и Джу-не общей установленной мощностью 190 МВт (250 000 л.с.). В сухой сезон $30 \times 106 \text{ м}^3$ ($1,1 \times 109 \text{ фут}^3$) воды отводятся с электростанции Маркаба для удовлетворения потребностей орошения в Кассмие. Озеро Караун также является местом оби-

тания примерно 20 000 перелетных птиц, которые посещают его ежегодно [1].

Создание геодезической сети имеет решающее значение для мониторинга стабильности и исправности плотины Караун. Мониторинг предоставляет точную и достоверную информацию о местоположении плотины, измеряет изменения высоты и смещения и позволяет разработать систему раннего предупреждения. Полученные данные также позволяют выявить участки, требующие технического обслуживания или ремонта, что в конечном итоге продлит срок службы плотины [2]. Кроме того, геодезическая сеть имеет решающее значение для настройки лазерного сканирующего прибора при мониторинге плотины, поскольку она обеспечивает стабильную систему отсчета для точных и надежных измерений [3].

Материалы и методы исследования

Плотина Караун расположена в регионе сложного взаимодействия тектонических плит вдоль системы разломов Мертвого моря, образуя северо-западную часть границы между Африканской плитой на западе и Аравийской плитой на востоке (рис. 2). Эти разломы образовали хребты, на которых расположены горы Ливана – Хермон и Антиливанские холмы. В связи с тем, что плотина находится в сейсмоопасном районе, исследования деформаций или перемещений на плотине очень востребованы [4].

Лазерное сканирование является достаточно эффективным методом обследования. Съемки осуществляются с помощью лазерного сканера, который позволяет быстро производить сканирование ландшафтов и сооружений [5].



Рис. 1. Плотина Караун

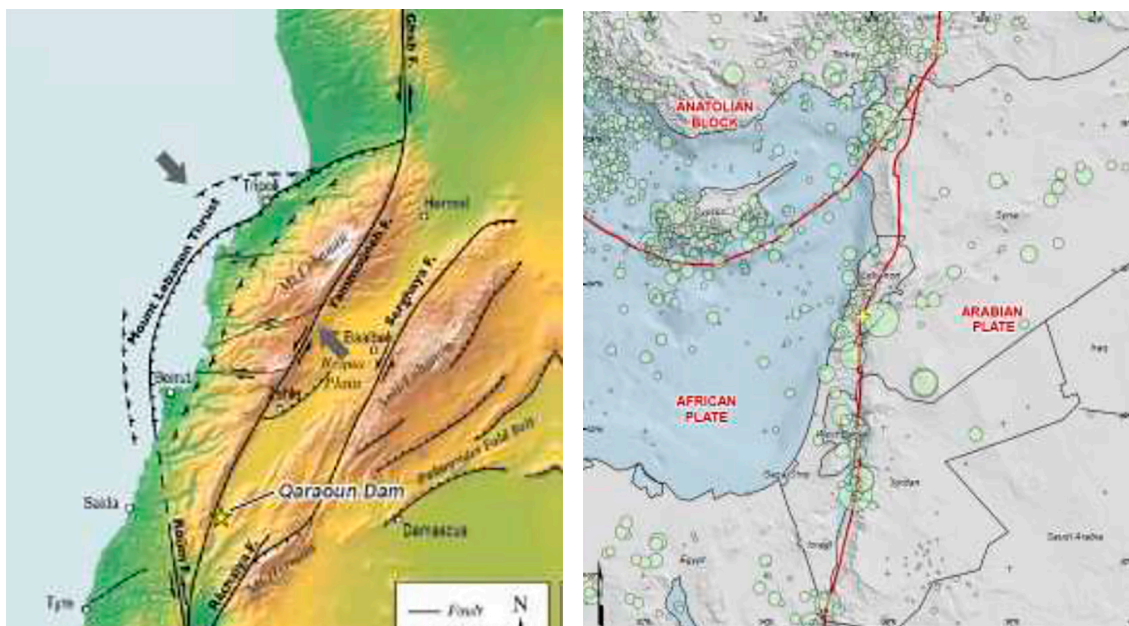


Рис. 2. Карты региона, окружающего плотину Караун

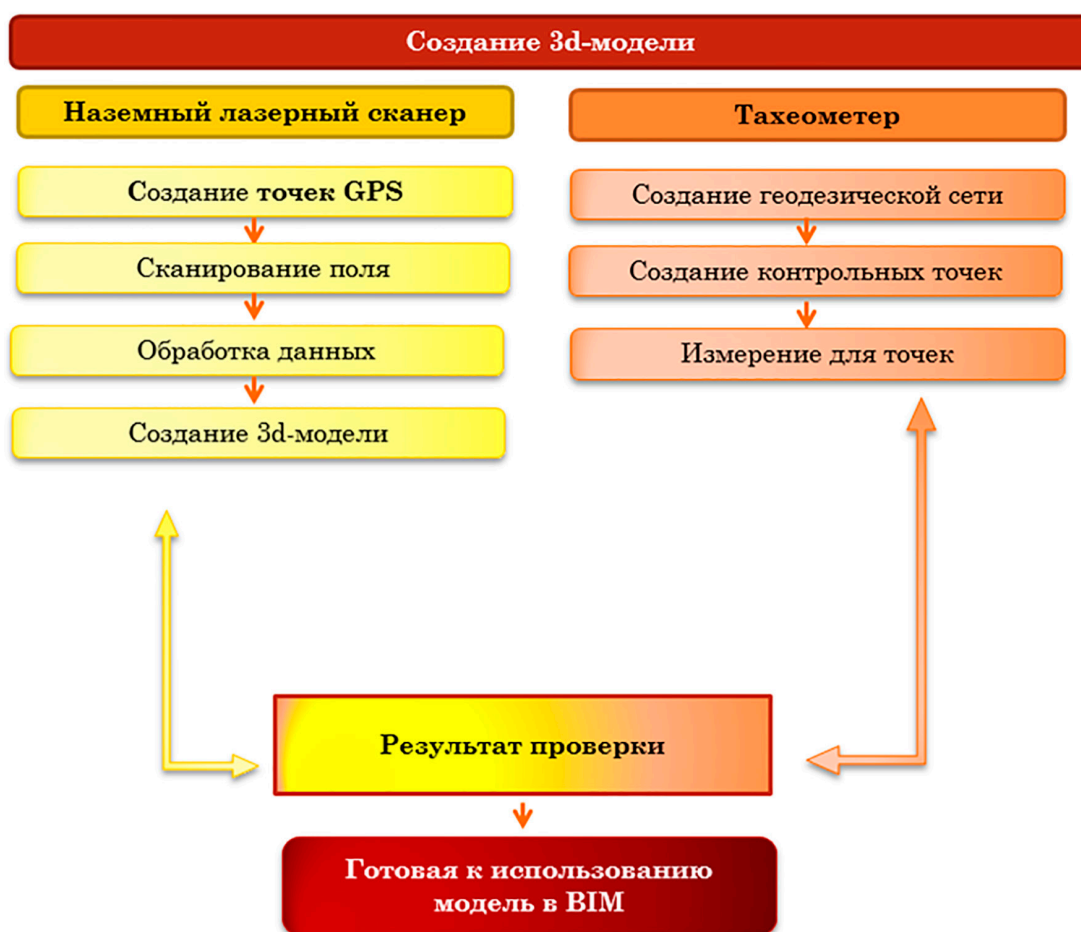


Рис. 3. Рабочий процесс мониторинга плотины Караун

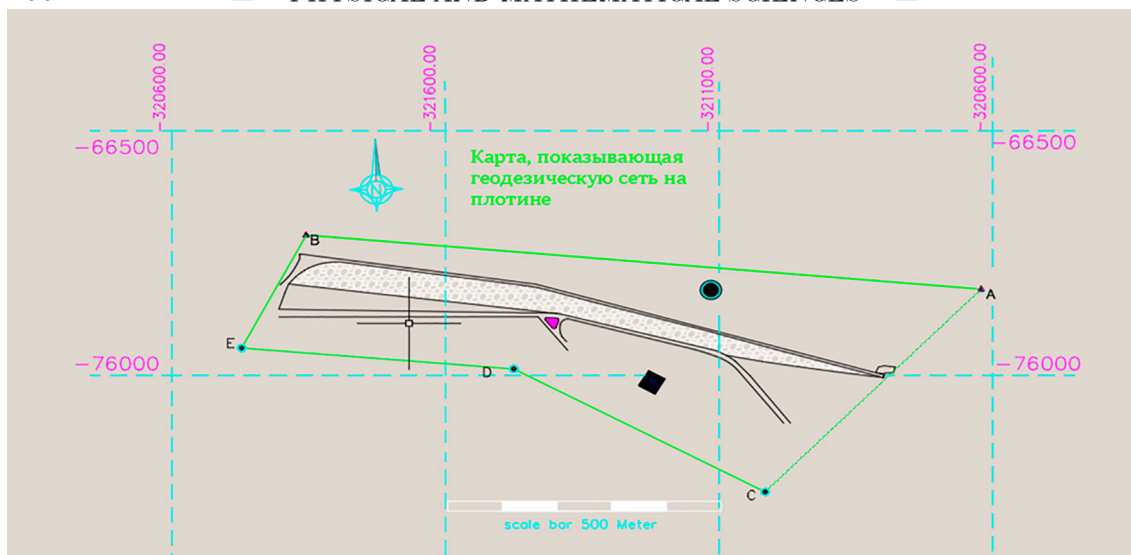


Рис. 4. Геодезическая сеть вокруг плотины Караун

Методология исследования для создания точной 3D-модели плотины с использованием лазерного сканирования и технологии BIM включает в себя сбор подробных данных облака точек плотины с помощью лазерного сканирования. Собранные данные обрабатываются для создания унифицированной модели облака точек, которая затем импортируется в программное обеспечение BIM для построения комплексной 3D-модели. Для точного представления используются географические привязки и системы координат, а строгие процедуры проверки обеспечивают точность модели.

Метод лазерного сканирования основан на измерении времени прихода лазерного луча, посылаемого 3D-сканером в сторону объекта (в данном случае плотины), отраженного от его поверхности и улавливаемого фотоприемником. К тому же 3D-сканеры относительно легкие и компактные, что важно при мониторинге состояния больших объектов.

Современный мониторинг плотины Караун начался в два этапа. На первом этапе создавалась геодезическая сеть с использованием тахеометра. На втором этапе создавались точки сканирования для лазерного сканера с использованием GPS и запускался процесс сканирования. Данные, полученные в результате лазерного сканирования, представляются в виде облака точек, которое может быть использовано в информационной модели после проверки результата с учетом целевых измерений тахеометра. Положения контрольных точек на корпусе плотины измеряют с помощью лазерного

сканера и тахеометра в два этапа. Общий рабочий процесс полевой и камеральной работы показан на рис. 3.

На рис. 4 показана геодезическая сеть, построенная вокруг плотины. Измерение положения точек сети, окружающих плотину, включая A, B, C, D, E и F, выполняется с помощью тахеометра SokkiaFx-101.

Дополнительно использован тип наземных контрольных точек. Все эти контрольные точки состоят из мишеней, окрашенных в черно-белый цвет с желтой точкой в центре и прямоугольников размером 17x17, закрепленных на бетонной поверхности плотины (рис. 5).



Рис. 5. Наземная контрольная точка, нарисованная на поверхности плотины

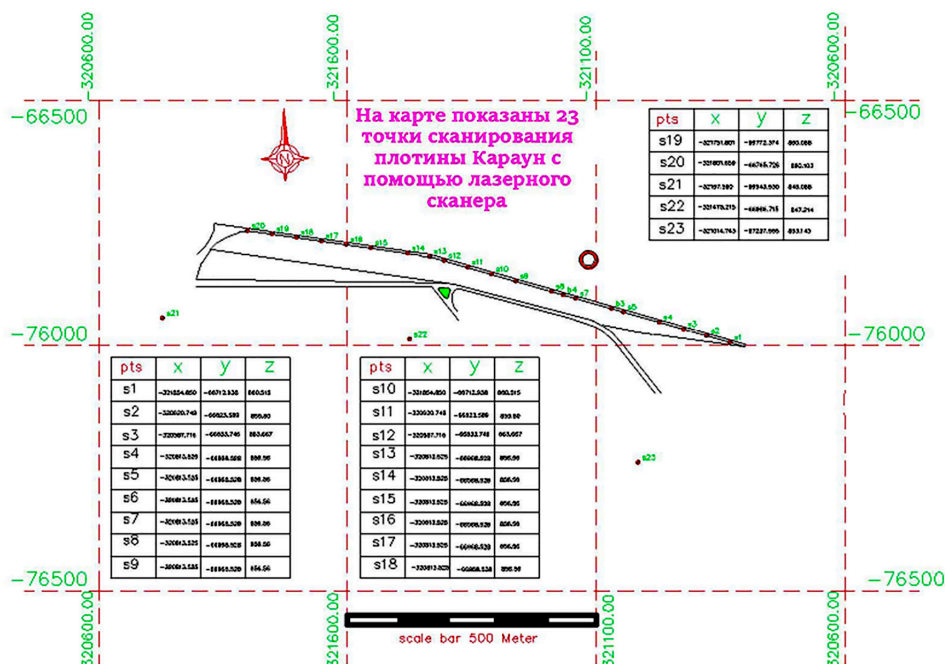


Рис. 6. Станции сканирования плотин с географической координатой

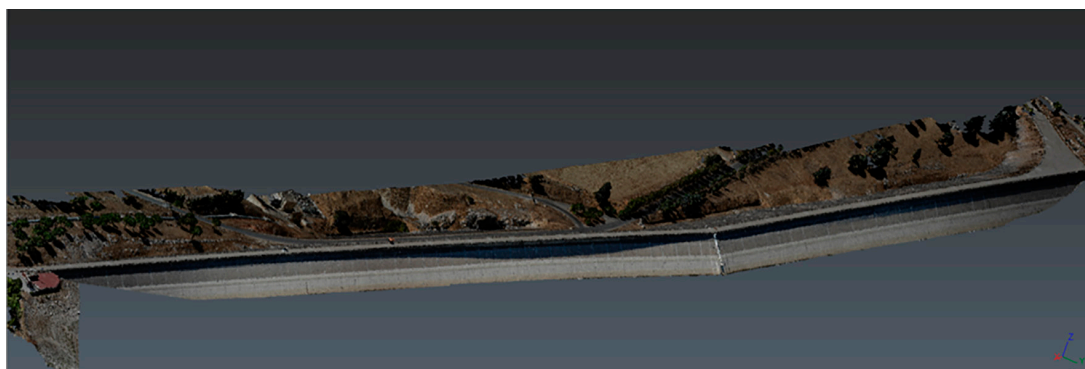


Рис. 7. Создание точной 3D-модели из облака точек (контрольных), полученного с помощью лазерного сканера

При мониторинге положения контрольных точек лазерная сканирующая съемка осуществляется на внешней поверхности плотины озера Караун, за исключением тех контрольных точек, которые покрыты водой. Для получения данных было установлено 20 основных контрольных точек сканирования, как показано на рис. 6.

Лазерное сканирование проводится с помощью лазерного сканера, оснащенного станцией сканирования P30 Leica. Горизонтальный обзор этого сканера является панорамным (360°), вертикальный обзор ограничен 290°. Точность одного измерения дальности 1,2 мм + составляет

10 ppm по всему диапазону, угловая точность 8" по горизонтали; точность вертикального 3D-положения наземных контрольных точек составляет 3 мм на 50 м; 6 мм на 100 м.

Кроме того, лазерный сканер имеет разрешение внутренней камеры 4 МП на каждое цветное изображение 17×17 и 700 МП для панорамного изображения [6].

После завершения всех операций сканирования отсканированные данные собраны воедино. После того как облако точек было очищено и сегментировано, следующим шагом стало создание точной 3D-модели из облака точек, что указано на рис. 7.

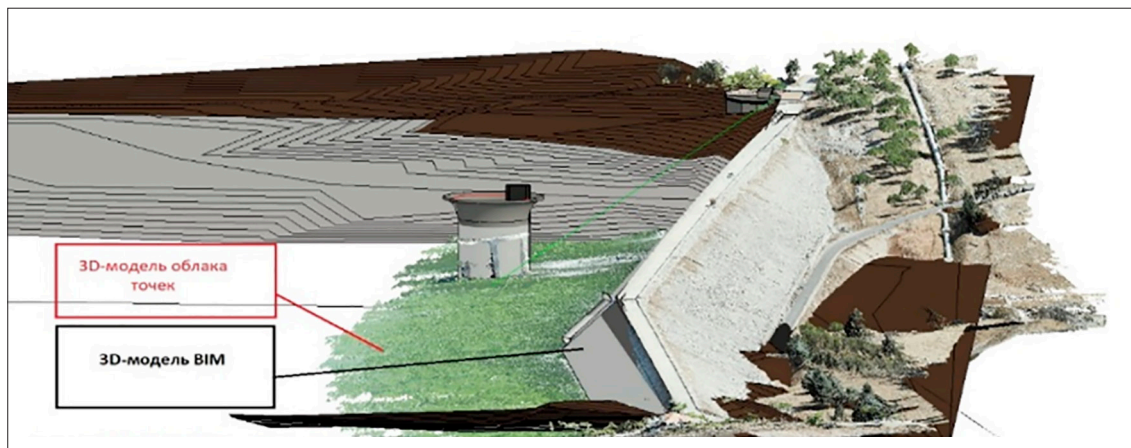


Рис. 8. Преобразование модели лазерного сканера в BIM-модель (Building Information Model, или Информационная модель здания)

BIM-модель плотины Караун была создана на основе облака точек, полученного с помощью лазерного сканера и нарисованного в Revit Autodesk. Облака точек имеют решающее значение для создания точных BIM-моделей, поскольку они предоставляют высокодетализированные и точные данные о состоянии плотин (рис. 8). Использование облаков точек для создания BIM-модели для плотины Караун может повысить эффективность, точность, визуализацию и работу на протяжении всего процесса проектирования и строительства. Точная информация, предоставляемая облаками точек, необходима для мониторинга деформации в каждом блоке плотины. Кроме того, облака точек могут создавать реалистичные 3D-визуализации, позволяя заинтересованным сторонам лучше понять процесс проектирования и строительства.

Заключение

Данное исследование подчеркивает важность создания точной 3D-модели плотины Караун в Ливане с использованием лазерного сканирования и проверки точности с помощью тотальной станции. Эта модель играет ключевую роль в будущих приложениях информационного моделирования зданий, позволяя анализировать сценарии, связанные с землетрясениями или повышенным давлением воды, и принимать обоснованные

решения по снижению рисков и готовности к чрезвычайным ситуациям. Кроме того, построенная модель обеспечивает постоянный мониторинг и обнаружение деформаций конструкции. Как уже было сказано, это позволяет своевременно реагировать и принимать необходимые меры для обеспечения безопасности и стабильности плотины. Сочетание лазерного сканирования и технологии BIM предоставляет мощные инструменты для эффективного управления и мониторинга плотины, повышая безопасность, надежность и устойчивость инфраструктуры.

Список литературы

1. USAID. Litani river basin management support program. [Электронный ресурс]. URL: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JSS8.pdf (дата обращения: 29.07.2023).
2. Scaioni M., Marsella M., Crosetto M., Tornatore V., Wang J. Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring // Journal Sensors. 2018. Vol. 18 (11). DOI: 10.3390/s18113682.
3. Tang H., Chen R., Liu Y., Chen Y., Monitoring of a concrete dam based on laser scanning and geodetic network // Journal of Earth Science. 2020. № 9. P. 480–491. DOI: 10.3390/su15032649.
4. Phalen J.D., Makdisi F.I., Hu J., Viala E., Amacha N. Risk of seismic deformation of a 1960's Rockfill dam in Lebanon // Researchgate.net. 2014. № 8. DOI: 10.4231/D3KS6J51Z.
5. Кайратов Д.А., Нурпеисова М.Б. Опыт использования лазерного сканирования в строительстве // Молодой ученый. 2023. № 1.1 (448.1). С. 45–49.
6. Leica ScanStation P40/P30 – High-Definition 3D Laser Scanning Solution. [Электронный ресурс]. URL: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30> (дата обращения: 31.07.2023).

УДК 632.3
DOI 10.17513/use.38095

ЭНДОНУКЛЕАЗЫ БАКТЕРИЙ РОДА *XANTHOMONAS* И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Трофимов В.А., Данилова М.П.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: geneticlab@yandex.ru

Бактерии рода *Xanthomonas* являются важным модельным объектом для генетических исследований, поскольку их относительно просто культивировать, имеется расшифрованный геном, кроме того, они имеют важнейшее народнохозяйственное значение как продуценты ксантана. С практической точки зрения интерес представляют гены эндонуклеаз и кодируемые ими белки, участвующие в репарации поврежденных ДНК и клеточном иммунитете. Также особое внимание привлекают TAL-белки (Transcription Activator-Like Effectors), которые, будучи частью системы геномного редактирования TALEN, обеспечивают нацеливание каталитического домена с эндонуклеазной активностью на целевую последовательность нуклеотидов. В данной статье будут обозначены некоторые эндонуклеазы, закодированные в геноме бактерий рода *Xanthomonas* штамма MAFF106181, а также раскрыты их роль и перспективы практического использования в геномной инженерии. Кроме того, рассматривается возможность модификации системы геномного редактирования TALEN в области каталитического домена, обеспечивающего необходимый разрыв в цепи ДНК. В классическом варианте расщепляющий домен системы TALEN представлен эндонуклеазой рестрикции FokI. Авторы обозначили возможность его замены рестриктазой XcmI. Отметим, что приведенные данные базируются на основе анализа сведений о количественном нуклеотидном и аминокислотном составе нескольких эндонуклеаз, полученных при анализе генетических последовательностей из базы данных GenBank в программной среде UGENE.

Ключевые слова: бактерии, *Xanthomonas campestris*, эндонуклеазы, рестриктазы, бактериальный иммунитет

ENDONUCLEASES OF BACTERIA OF THE GENUS *XANTHOMONAS* AND THEIR BIOLOGICAL ROLE

Trofimov V.A., Danilova M.P.

Ogarev National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: geneticlab@yandex.ru

Bacteria of the genus *Xanthomonas* are an important model object for genetic research, since they are relatively easy to cultivate, there is a decoded genome and they have the most important national economic importance as producers of xanthan. From a practical point of view, endonuclease genes and their encoded proteins involved in DNA damage repair and cellular immunity are of interest. Also, special attention is drawn to TAL proteins (Transcription Activator-Like Effects), which, being part of the TALEN genomic editing system, provide targeting of the catalytic domain with endonuclease activity to the target sequence of nucleotides. This article will identify some endonucleases encoded in the genome of bacteria of the genus *Xanthomonas* strain MAFF106181, as well as reveal their role and prospects for practical use in genetic engineering. In addition, the possibility of modifying the TALEN genomic editing system in the area of the catalytic domain that provides the necessary break in the DNA chain is being considered. In the classical version, the splitting domain of the TALEN system is represented by the restriction endonuclease FokI. The authors indicated the possibility of its replacement by XcmI restrictase. Note that these data are based on the analysis of information on the quantitative nucleotide and amino acid composition of several endonucleases obtained by analyzing genetic sequences from the GenBank database in the UGENE program.

Keywords: Bacteria, the *Xanthomonas campestris*, endonucleases, restrictases, bacterial immunity

Бактерии рода *Xanthomonas* паразитируют на растениях и нередко являются возбудителями черной гнили. Представители данного рода бактерий были дифференцированы на две основные группы: вызывающие реакцию сверхчувствительности в области инокуляции (или системную) и не инициирующие появление защитной реакции после внедрения. Для бактерий рода *Xanthomonas* характерны богатый видовой состав и обилие различных штаммов с особенностями, затрагивающими параметры устойчивости к чужеродным агентам, продукции полисахарида и т.п.

В свою очередь, *Xanthomonas campestris*, являясь отличным модельным объектом, характеризуется многообразием групп штаммов, которые различаются не только по генетическим признакам, но и по серологическим, а также патогенетическим. Ряд штаммов рассматриваемого микроорганизма может инициировать заболевание только у определенных растений, что указывает на несовместимые взаимодействия между штаммами и их растениями-мишенями. Теория «ген за геном» Флора предполагает, что такое несовместимое взаимодействие между микробными патогенами и растени-

ями определяет специфичность патогенов-хозяев и регулируется геном авирулентности (*avr*) патогена и геном родственной устойчивости (*R*) патогена. *Xanthomonas campestris* генетически разделен на более чем 140 патовариантов (*pv.*).

Так, у ряда штаммов микроорганизма *Xanthomonas campestris* наблюдалась устойчивость к некоторым антибиотикам. Штаммы Xc1, Xc2, B570, B610 обладали устойчивостью к канамицину и стрептомицину. Штамм B611 показал частичную невосприимчивость к левомицетину [1].

Патоген способен длительное время сохраняться в семенах растений, а также находиться в растительных остатках до двух лет с возможностью инфицирования здоровых растений [2].

Также отмечалось, что бактерии рода *Bacillus* оказывали ингибирующее воздействие на бактерии рода *Xanthomonas*.

Рассматривая аспект устойчивости бактерий к чужеродным агентам, необходимо акцентировать внимание на бактериальном иммунитете, который может осуществляться посредством системы рестрикции-модификации, изменения бактериальных клеточных рецепторов, системы CRISPR/Cas. Так, система CRISPR/Cas основывается на «запоминании» внедренного извне агента. Помимо таргетного участка, она содержит в себе расщепляющий домен, представляющий из себя белок с нуклеазной активностью [3].

Здесь же отметим важную роль эндонуклеаз в генной инженерии, которая, несомненно, велика. Ферменты с эндонуклеотической активностью имеют различные свойства и параметры. К примеру, эндонуклеазы рестрикции используются в системах геномного редактирования и позволяют решить ряд актуальных проблем, включая противостояние различным патологиям и разработку лекарственных препаратов, биотоплива, подхода к генной терапии.

Так, традиционно выделяют три группы эндонуклеаз рестрикции. Однако ряд источников классифицирует их еще на две дополнительные группы: рестриктазы 4-го и 5-го типа. Предоставим обзорную информацию для ознакомления.

Рестриктазы четвертого типа разрезают ДНК метилирующими метками, а их сайт узнавания содержит в себе нуклеотидные цепи с остатками метилированного или гидроксиметилированного цитозина. Они также состоят из субъединиц и требуют наличия ГТФ и магния в роли кофактора.

Пятый тип включает рестриктазы, ассоциированные с системой CRISPR/Cas. В этом случае полипептид включает в себя подструктурные элементы: эндонуклеазы рестрикции первых трех типов. Именно это обуславливает простоту, гибкость и эффективность функционирования данной системы и ее внедрение в генную инженерию.

Исходя из изложенного выше, можно подытожить, что эндонуклеазы по большому счету являются ключевым моментом в реализации защитной функции бактерий.

Интересно, что бактерии рода *Xanthomonas* при поражении растительных объектов вводят в их клетки эффекторные (регуляторные) TAL-белки, которые проникают в генетический аппарат – ядро клетки-мишени, впоследствии они регулируют активность генов путем активации транскрипции в цитоплазме клеток пораженного растительного объекта.

Эти белки распознают целевые участки с регуляторным профилем (промоторные области) необходимых генов и прочно связываются с ними, повышая при этом восприимчивость растения к патогену и тогда же влияя на экспрессию. TAL-белки синтезируются системой секреции III типа, которая кодируется кластером генов *hrp*. Отмечается, что множество генов с эффекторной активностью рассредоточено по всему геному.

Важно уточнить, что системы секреции III типа являются одним из нескольких типов бактериальных систем секреции, она встречается у ряда грамотрицательных бактерий и представляет собой комплекс функционально связанных белковых структур.

Данная система служит для обнаружения присутствия клеток эукариотических организмов и их поражения посредством выделения TAL-белков в мишень.

TAL-белки имеют относительно простую, линейную систему кодирования, которая тогда же допускает неоднозначность: некоторые пары аминокислот кодируют несколько нуклеотидов. Аминокислотная последовательность ДНК-узнающего фрагмента TAL-белков включает 34 аминокислотных остатков, которые стабильно повторяются. В них содержатся и переменные участки – аминокислоты в позициях 12 и 13. Именно они специфично кодируют нуклеотидную последовательность в связующем звене (сайте связывания).

Основной целью исследования является изучение генетических особенностей бактерий *Xanthomonas campestris*, анализ струк-

турно-функциональных особенностей эндонуклеаз, синтезируемых данным микроорганизмом, а также изучение возможности внедрения альтернативного расщепляющего домена в систему геномного редактирования TALEN.

Материалы и методы исследования

Методы анализа выбраны стандартные. Сюда входят сравнительный, биоинформатический анализ с использованием базы данных NCBI и программы UGENE, анализ и синтез научной литературы. Объект исследования – микроорганизм *Xanthomonas campestris*.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве эталонного объекта был выбран конкретный вид, полученный из изолята редиса, – *Xanthomonas campestris pv. raphani*, штамм MAFF 106181. Штамм MAFF 106181 состоит из единственной кольцевой хромосомы длиной 4 942 039 п.н. с содержанием ГЦ равным 65,29 %. PGAP идентифицировал 4269 (по данным от 2022 г. – 4279) генов, включая 6 генов рРНК и 53 гена тРНК (по данным исследования Т. Фудзикавы и Иноуэ, 2020). Количество синтезируемых белков соответствует 4041 (по данным исследования от 2022 г. – 4065). Их функции и классификация многообразны [4].

Далее проведены отбор белков с эндонуклеазной активностью и их биоинформатический анализ для дальнейшего потенциального использования в геномной инженерии, следуя при этом практическим целям.

Прежде обозначим, что эндонуклеазы со специфическим сайтом узнавания являются одним из главных инструментов в области молекулярной биологии и разделов генетики. В настоящее время продолжается поиск новых эффективных эндонуклеаз и их модификации, дабы расширить возможности применения в геномной инженерии. Традиционно после выделения из микроорганизма фермент очищается в несколько этапов, включая стадии гель-фильтрации и хроматографии (обычно на фосфоцеллюлозе).

Некоторые представители эндонуклеаз, которые имеют единый сайт узнавания, различаются по способности гидролизировать ДНК в зависимости от положения метилированного нуклеотида в самом сайте узнавания.

К примеру, в геноме *Xanthomonas campestris pv. raphani* (штамм MAFF 106181)

синтезируются 22 белка, связанных с эндонуклеазной активностью, которая может являться единственным ферментным профилем либо же входить в состав мультикомплексного плана.

В геноме обнаружены гены, кодирующие HNH-эндонуклеазы; классические эндонуклеазы, участвующие в процессах репарации; белки, содержащие домен эндонуклеазы; неспецифические ДНК/РНК – эндонуклеазы; эндонуклеазы репарации несоответствия ДНК семейства MutL; эндонуклеазы, ассоциированные с системой CRISPR; субъединицы эндонуклеаз рестрикции и сами рестрикционные эндонуклеазы.

Наименьшую длину в аспекте аминокислотных остатков составляет одна из HNH-эндонуклеаз (кодируется 71 аминокислота), а максимум в рассматриваемом пласте характерен для субъединицы R эндонуклеазы рестрикции первого типа, необходимой как для эндонуклеазной, так и для АТФ-азной активности. Тут количество аминокислотных остатков достигает 1004.

В свою очередь, эндонуклеазы репарации несоответствия ДНК из семейства MutL ориентированы на репарацию ошибочно спаренных нуклеотидов, делецию неправильно интегрированных оснований. Для того чтобы начать устранение ошибок, механизм репарации несоответствия отличает вновь синтезированную цепь от эталонной (родительской).

Относительно ДНК/РНК неспецифических эндонуклеаз обозначено несколько основополагающих аспектов: данный вид ферментов обладает способностью расщеплять одноцепочечные и двухцепочечные нуклеиновые кислоты, одним из необходимых условий для их активности является присутствие в среде двухвалентного металла (магния).

Xanthomonas campestris синтезирует несколько эндонуклеаз рестрикции – гидролаз, способных катализировать расщепление фосфодиэфирных связей чужеродной ДНК. Данные ферменты характерны в большей мере для прокариотических организмов. Они подразумевают защитную функцию, отличая собственный генетический материал от внедренного извне и имея специфический сайт «узнавания», который в конечном итоге служит ориентиром для совершения разреза.

При использовании биоинформатической программы UGENE и базы данных PubMed (NCBI) был проведен ознакоми-

тельный анализ генов, кодирующих белковые элементы, которые как-либо связаны с эндонуклеазным профилем.

Также рассмотрено два генетических участка, кодирующих родственные эндонуклеазы рестрикции. Они присутствуют и в микроорганизме *E. coli*, формируя Mgt-систему рестрикции.

Ниже дана общая характеристика для упомянутой системы со ссылками на гены и белковые продукты, которые были обнаружены в *Xanthomonas campestris*, однако подробно исследованы в *E. coli*. В *Xanthomonas campestris* это гены с ID (база NCBI) 58015512 (WP_076057030.1) и 58013825 (WP_076055657.1). Они кодируют соответственно 277 и 333 аминокислотных остатков. Нуклеотидная последовательность характеризуется длиной в 1302 п.н. и в 1084 п.н. во втором случае.

Данные белки – ферменты IV типа, которые узнают модифицированную, как правило – метилированную ДНК и представляют собой, как упоминалось ранее, Mgt систему *E. coli*.

Отдельного внимания заслуживает эндонуклеаза Cas1f (длина нуклеотидной последовательности – 1286 п.н., количество кодируемых аминокислотных остатков – 329), ассоциированная с CRISPR типа I-F с ID 58011564 (WP_014509413.1), основное значение которой заключается в осуществлении бактериального «иммунитета». Очевидны перспективы модификации cas-домена в рамках системы CRISPR/cas для решения ряда практических задач.

Обнаружение TAL(TALE)-белков у микроорганизмов рода *Xanthomonas* стало отправной точкой для создания новой системы геномного редактирования – системы TALEN. TAL-белки расшифровываются как Transcription Activator-Like Effectors. Связываясь с ДНК и тогда же активируя экспрессию целевых генов, они имитируют факторы транскрипции у эукариот. Данные белки имеют сложную структуру, в которую входит несколько основных элементов: ДНК-связывающий домен, сигнал ядерной локализации и домен, инициирующий транскрипцию гена-мишени.

ДНК-связывающий участок состоит из мономеров, образующих тандемные повторы из 34 аминокислотных остатков, где определяющими являются переменные участки (Repeat Variable Di-residue, RVD) в позициях 12 и 13, именно они обеспечивают узнавание нужного нуклеотида. RVD-участки при этом могут связываться с раз-

ными нуклеотидами, эффективность связывания тогда же будет различаться. На этот фактор влияет и наличие тимидина перед 5'-концом нуклеотидной последовательности. Именно с этого начинается связывание с мономерами. Завершающий тандемный повтор на деле состоит из 20 аминокислотных остатков [5, 6].

В настоящее время широко применяется рестриктаза XcmI, выделенная непосредственно из *Xanthomonas campestris*. Указанный выше фермент катализирует расщепление фосфодиэфирных связей в самом специфическом сайте узнавания. Фермент был получен в результате модификации *E. coli* (в нее был внедрен необходимый ген из *Xanthomonas campestris*), что может быть вызвано пониженной экспрессией данного гена в нативных условиях непосредственно у *Xanthomonas campestris*, либо же простотой и предсказуемостью работы с *E. coli*.

XcmI активна при температуре в 37 °С, а инактивация происходит в условиях 65 °С и выше, к метилированию данная рестриктаза не чувствительна. Ферментативную активность можно регулировать посредством буфера и достигнуть в конечном итоге ста процентов. Сайт рестрикции состоит из 15 нуклеотидов, он симметричен, а срединная часть (позиции от 4-й до 12-й включительно) может содержать любое азотистое основание. Данная эндонуклеаза рестрикции относится ко второму типу.

Заключение

Эндонуклеазы рестрикции являются важным и незаменимым инструментом генной инженерии, обеспечивающим целевые разрезы и последующее вырезание интересных генетических фрагментов.

После проведения анализа было выявлено, что исследуемый объект *Xanthomonas campestris* синтезирует множество белков, которые тем или иным образом связаны с эндонуклеазной активностью. Были разобраны их функции и попытка интеграции в систему геномного редактирования (в частности, TALEN).

В рассматриваемом микроорганизме обнаружено 22 белка, которые прямо или косвенно связаны с эндонуклеазной активностью (включая субъединицы рестриктаз и эндонуклеазы с мультикомплексным действием). Это эндонуклеазы, ассоциированные с системой CRISPR/Cas, осуществляющие функцию бактериального «иммунитета» и представляющие большой интерес для генной инженерии, это эндонуклеазы

семейства EхеM/NucH, которые отвечают за множество функций: естественную трансформацию, образование биопленок и т.д., это и рестриктазы, входящие в состав системы рестрикции-модификации, осуществляющей защиту клетки от чужеродного генетического материала.

Расщепляющий домен в системе TALEN в общих случаях представлен рестриктазой FokI. Основополагающим аспектом для применения FokI в системе TALEN является то, что расщепление ДНК опосредуется через неспецифический домен расщепления.

Итак, FokI катализирует гидролиз двухцепочечной ДНК рядом со специфическим сайтом узнавания, что в совокупности с невысокой ценой (до 3 тыс. руб. по данным сайта SibEnzyme на момент написания работы) и эффективном комбинировании с TAL-белками делает ее применение довольно привлекательным, поскольку в рамках системы TALEN распознавание ДНК определяется доменом TAL-белков.

Гипотетически любая другая рестриктаза, которая обладает аналогичными (или даже более подходящими относительно поставленной задачи) свойствами, может быть использована для данной системы геномного редактирования. Этот тезис частично определяет цель и актуальность данной работы.

Но стоит учесть и то, что ни одна эндонуклеаза рестрикции не может быть оптимальной для всех целей, так как свойства отдельно взятой рестриктазы влияют на потенциал нацеливания, спектр нецелевых разрезов, простоту и экономический аспект использования.

Ряд альтернативных эндонуклеаз рестрикции в рамках интегрирования в систему TALEN может включать, к примеру, мономерные, димерные нуклеазы, нуклеазный домен системы CRISPR/Cas и т.п.

Рассматривая рестриктазу XcmI как потенциальную альтернативу FokI, можно выделить несколько особенностей: фермент XcmI катализирует расщепление ДНК внутри специфического сайта узнавания, она также подходит для расщепления двухцепочечной молекулы ДНК. То, что разрез делается внутри сайта узнавания, сужает круг решаемых задач и характеризуется излишней спецификой для синтетических систем геномного редактирования.

Список литературы

1. Майоров П.С. Чувствительность бактерий *Xanthomonas campestris* к некоторым антибиотикам // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы XI Международной научно-практической конференции (Ульяновск, 23–24 июня 2021 г.). Ульяновск: УлГАУ, 2021. С. 82–86.
2. Габор Б., Као Дж., Краузе Д. Руководство по болезням крестоцветных. Semen, 2013. 52 с.
3. Nemudryi A.A., Valetdinova K.R., Medvedev S.P., Zakian S.M. TALEN and CRISPR / Cas Genome Editing Systems: Tools of Discovery // Acta Naturae. 2014. Vol. 6, Is. 3. P. 19–40.
4. Fujikawa T., Inoue Y. Genome Sequences of Two Pathogens of Cruciferous Crops, *Xanthomonas campestris* pv. raphani MAFF 106181 and *X. campestris* pv. *campestris* MAFF 301176 // Microbiol Resour Announc. 2020. Vol. 9, Is. 42. P. 20. DOI: 10.1128/MRA.00887-20.
5. Kay S., Hahn S., Marois E., Hause G., Bonas U. A bacterial effector acts as a plant transcription factor and induces a cell size regulator // Science. 2007. Vol. 318, Is. 5850. P. 648–651. DOI: 10.1126/science.1144956.
6. Lamb B.M., Mercer A.C., Barbas C.F. Directed evolution of the TALE N-terminal domain for recognition of all 5' bases // Nucleic Acids Res. 2013. Vol. 41, Is. 21. P. 9779–9785. DOI: 10.1093/nar/gkt754.