



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 11 2024



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 11 2024



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

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

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

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

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Корректор

Галенкина Е.С.,

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ISSN 1681-7494

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

29.11.2024

Дата выхода номера

28.12.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

14,75

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/11

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

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

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

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

ISSN 1681-7494

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

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

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

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

Periodicity	12 issues per year		
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History		
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47		
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3		
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5		
E-mail	edition@rae.ru	Telephone	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	29.11.2024	Number issue date	28.12.2024
Format	60x90 1/8	Conditionally printed sheets	14,75
Circulation	1000 copies	Order	YCE 2024/11

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1 Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬИ

СРОКИ ПОСЕВА ОЗИМОЙ РЖИ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ
ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Исмагилов Р.Р., Исмагилов К.Р., Мустафин И.Г.8

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ АГРОТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПАШКИ ПОЧВЫ

*Косарев А.В., Старцев А.С., Колганов Д.А., Чумакова С.В.,
Моршнев А.Ю., Шибайкин В.А., Симонова З.А.*14

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ИРКУТСКОЙ
ОБЛАСТИ В СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

Воложжина С.Ж., Гекова А.В., Латышева И.В., Лоценко К.А.22

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ НА ОСНОВЕ
МЕТОДА КРИГИНГА (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Галушин Д.А., Громов С.А.30

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ
ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Дега Н.С., Петров Н.В., Теунаев О.Х.39

ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ЗОНИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ГОРОДА КИНЕЛЬ

Домнина С.В., Подкопаев О.А., Савоскина Е.В.45

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА

*Инюткина Е.С., Зарубин О.А., Ларина А.В.,
Мучкаева Н.С., Козлова Е.А., Лямзина И.С.*51

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ
ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Кузьмин К.А., Иванова С.А., Козикова Ю.С., Кулакова А.С.59

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НА ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ БАКСАН

Кучменова И.И., Атабиева Ф.А.66

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ
И РЕЖИМА РЕСУРСНОГО РЕЗЕРВАТА «ОЧУМА» ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Николаев А.А. 72

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ФИТОБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА

Сушкова Е.Г., Афанасьев Д.Ф., Беспалова Л.А. 78

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В МЕСТАХ ПРОЖИВАНИЯ КОРЕННЫХ МАЛОЧИСЛЕННЫХ
НАРОДОВ СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Федорова А.С., Саввинова А.Н. 85

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ЗОНИРОВАНИЕ ВОД ДОННОЙ
ПОДСИСТЕМЫ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧИТИНСКОЙ
ТЭЦ-1 ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Шойдоков А.Б. 93

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

СТАТЬИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШЕСЫРСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ MICROMINE

Кисляков В.Е., Федотов А.С., Снетков Д.С., Шварцкопф А.В. 100

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ
РЫХЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Федорова Л.Л., Фёдоров М.П., Свинобоев А.С. 106

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

СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
НА ШЕЛЬФАХ МОРЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ ПО ДАННЫМ
СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ИХ
КЛАССИФИКАЦИИ

Оболкин А.П., Оболкин А.А., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. 112

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1 General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

SOWING DATES OF WINTER RYE DUE TO GLOBAL CLIMATE CHANGE <i>Ismagilov R.R., Ismagilov K.R., Mustafin I.G.</i>	8
THE EXPERT SYSTEM FOR EVALUATING THE AGROTECHNICAL EFFICIENCY OF SOIL PLOWING <i>Kosarev A.V., Startsev A.S., Kolganov D.A., Chumakova S.V., Morshnev A.Yu., Shibaykin V.A., Simonova Z.A.</i>	14

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

SPATIO-TEMPORAL AND GEOECOLOGICAL FEATURES OF THE TEMPERATURE REGIME IN IRKUTSK REGION IN THE MODERN CLIMATIC PERIOD <i>Vologzhina S.Zh., Gekova A.V., Latysheva I.V., Loschenko K.A.</i>	22
SPATIAL MODELING AND ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION BASED ON THE KRIGING METHOD (ON THE EXAMPLE OF THE IRKUTSK REGION) <i>Galushin D.A., Gromov S.A.</i>	30
INNOVATIVE APPROACHES TO SOLVING PROBLEMS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING IN THE NORTH CAUCASUS <i>Dega N.S., Petrov N.V., Teunaev O.Kh.</i>	39
ASSESSMENT OF TERRITORIAL-ECOLOGICAL ZONING OF LANDS OF THE CITY OF KINEL <i>Domnina S.V., Podkopaev O.A., Savoskina E.V.</i>	45
APPLICATION OF MULTI-ZONE SPACE IMAGES FOR MONITORING FOREST LANDS <i>Inyutkina E.S., Zarubin O.A., Larina A.V., Muchkaeva N.S., Kozlova E.A., Lyamzina I.S.</i>	51
STRUCTURE AND DYNAMICS OF SOWING AREAS IN THE TAMBOV REGION OVER THE LAST 50 YEARS <i>Kuzmin K.A., Ivanova S.A., Kozikova Ju.S., Kulakova A.S.</i>	59
INFLUENCE OF METEOROLOGICAL INDICATORS ON THE HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL REGIME OF THE BAKSAN RIVER <i>Kuchmenova I.I., Atabieva F.A.</i>	66

ANALYSIS OF THE OF FUNCTIONAL ZONING AND THE REGIME
OF THE OCHUMA RECOURSE RESERVE FOR EFFICIENT
OPERATION AND PROTECTION OF BIOLOGICAL RESOURCES

Nikolaev A.A. 72

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE PHYTOBENTHOS
COMMUNITIES DISTRIBUTION OF THE TAMAN BAY

Sushkova E.G., Afanasyev D.F., Bespalova L.A. 78

MAPPING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE PLACES
OF RESIDENCE OF THE INDIGENOUS PEOPLES
OF THE NORTH OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Fedorova A.S., Savvinova A.N. 85

ASSESSMENT OF THE CONDITION AND ZONING OF THE WATERS
OF THE BOTTOM SUBSYSTEM OF THE CHITA TPP-1 COOLING
RESERVOIR ACCORDING TO THE INDICATORS OF ZOOBENTHOS

Shoydokov A.B. 93

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

ARTICLES

MODELING OF THE BOLSHESYRSKOYE LIGNITE DEPOSIT
IN THE MINING AND GEOLOGICAL INFORMATION
SYSTEM MICROMINE

Kislyakov V.E., Fedotov A.S., Snetkov D.S., Shvartskopf A.V. 100

PHYSICAL MODELING OF GPR MONITORING OF CRYOGENIC
PROCESSES IN A LOOSE ROCK MASSIF

Fedorova L.L., Fedorov M.P., Svinoboev A.S. 106

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

ARTICLE

FEATURES OF THE FORMATION OF ANTICLINAL STRUCTURES
ON THE SHELVES OF THE SEA OF NORTH-EASTERN YAKUTIA
ACCORDING TO SEISMOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS
AND PROPOSALS FOR THEIR CLASSIFICATION

Obolkin A.P., Obolkin A.A., Sleptsova M.I., Sevostyanova R.F. 112

СТАТЬИ

УДК 633.14+631.53.04]:551.583
DOI 10.17513/use.38326

СРОКИ ПОСЕВА ОЗИМОЙ РЖИ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

¹Исмагилов Р.Р., ²Исмагилов К.Р., ¹Мустафин И.Г.

¹Опытная станция «Уфимская» Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, e-mail: ismagilovr_bsau@mail.ru;
²Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, e-mail: ismagilovk@mail.ru

Цель исследования состояла в корректировке сроков посева озимой ржи на территории Республики Башкортостан в связи с глобальными изменениями климата. Проведены сбор гидротермических показателей многолетних наблюдений на государственных метеостанциях, полевые опыты и полевые наблюдения в разных хозяйствах республики в 2019–2023 гг. Оценка тесноты и характер связи между экспериментальными данными проведена корреляционно-регрессионным анализом с использованием компьютерной программы Excel. Установлено, что на территории Республики Башкортостан произошло повышение среднесуточной температуры воздуха в расчете на 100 лет за сентябрь и октябрь на 2,81 °С, суммы эффективных температур – на 154 °С, увеличение продолжительности осеннего вегетационного периода – на 9 дней. Информативным критерием оптимальности срока посева озимой ржи является кустистость растений в конце осенней вегетации, равной 3,5–4,5. Для формирования у растений озимой ржи 3,5–4,5 побегов необходимо 200–240 °С эффективных температур за период от посева до конца осенней вегетации. В настоящее время в условиях потепления климата наиболее целесообразным является посев озимой ржи на территории Республики Башкортостан с 27 августа по 7 сентября, что позже ранее принятых сроков посева на 7–12 дней.

Ключевые слова: озимая рожь, изменение климата, сроки сева, урожайность, Башкортостан

SOWING DATES OF WINTER RYE DUE TO GLOBAL CLIMATE CHANGE

¹Ismagilov R.R., ²Ismagilov K.R., ¹Mustafin I.G.

¹Ufimskaya Experimental Station, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: ismagilovr_bsau@mail.ru;
²Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: ismagilovk@mail.ru

The purpose of the study was to adjust the timing of winter rye sowing in the Republic of Bashkortostan due to global climate change. Hydrothermal indicators of long-term observations at state weather stations, field experiments and field observations in different farms of the republic in 2019-2023 were collected. It was established that on the territory of the Republic of Bashkortostan there was an increase in the average daily air temperature per 100 years for September and October by 2.81 °C, the sum of effective temperatures – by 154 °C, an increase in the duration of the autumn vegetation period – by 9 days. An informative criterion for the optimal sowing date of winter rye is the bushiness of plants at the end of the autumn growing season, equal to 3.5-4.5. For the formation of 3.5-4.5 shoots in winter rye plants, 200-240 °C of effective temperatures are required for the period from sowing to the end of the autumn growing season. At present, in the context of climate warming, the most expedient is to sow winter rye on the territory of the Republic of Bashkortostan from August 27 to September 7, which is later than the previously accepted sowing dates by 7-12 days.

Keywords: winter rye, climate change, sowing dates, yield, Bashkortostan

Введение

Исключительно важное, зачастую решающее значение в создании высокопродуктивного агрофитоценоза озимых зерновых культур имеет правильный выбор срока сева. Это обусловлено тем, что время посева определяет в значительной мере степень роста и развития в осенний период, зимостойкость и повреждаемость растений вредителями [1–3]. Урожайность посева озимых зерновых культур, в частности озимой ржи, тем больше, чем меньше отклонение времени сева от оптимального [4, 5]. Уста-

новлено, что при посеве озимых зерновых после оптимальных сроков урожайность снижается на 0,9–1,0% за сутки из-за плохого осеннего кушения, гибели растений во время перезимовки, выпревания и других неблагоприятных факторов [4, 6]. Оптимальная дата посева озимой ржи, как и других озимых зерновых культур, определяется в основном климатическими условиями, особенно в осенний период [7, 8, 3].

В последние годы происходит глобальное изменение климата. За 140 лет на планете температура повысилась на 1 °С [9].

В различных частях земного шара температура меняется по-разному. Так, на территории Республики Башкортостан с 1936 по 2023 г. температура повысилась на 2,80 °С [10]. Температурный режим в осенний период вегетации также существенно меняется. По данным В.И. Мельник, сумма активных температур за период с 25 августа до перехода среднесуточной температуры через 5 °С в Республике Беларусь увеличилась на 40–45 градусов, продолжительность осенней вегетации продлилась не менее чем на одну декаду [6].

В условиях глобального потепления одним из стратегических направлений является адаптация агропромышленного производства и особенно растениеводства к изменению климата [11, 12]. Важным моментом адаптации растениеводства выступает уточнение оптимальных сроков посева озимых зерновых культур [13, 8].

Цель исследования – уточнение срока посева озимой ржи на территории Республики Башкортостан в связи с глобальным изменением климата.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили путем сбора и анализа гидротермических показателей

многолетних наблюдений на государственных метеостанциях на территории Республики Башкортостан [14], постановки полевых опытов и полевых наблюдений в разных хозяйствах республики в 2019–2023 гг. Полевые опыты проводили по общепринятой методике в агрономических исследованиях [15]. Кустистость растений определяли путем подсчета побегов у 30 растений, взятых рандомизированно с каждой делянки опыта. Тесноту и характер связи между полученными экспериментальными данными оценивали корреляционно-регрессионным и существенность разницы урожайности между вариантами полевого опыта – дисперсионным анализом с использованием компьютерной программы Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали существенное повышение температуры воздуха на территории Республики Башкортостан в осенний период года (рис. 1). По результатам регрессионного анализа в сентябре среднесуточная температура воздуха в расчете на 100 лет повысилась на 1,97 °С, в октябре – на 3,65 °С и в среднем за два месяца – на 2,81 °С.

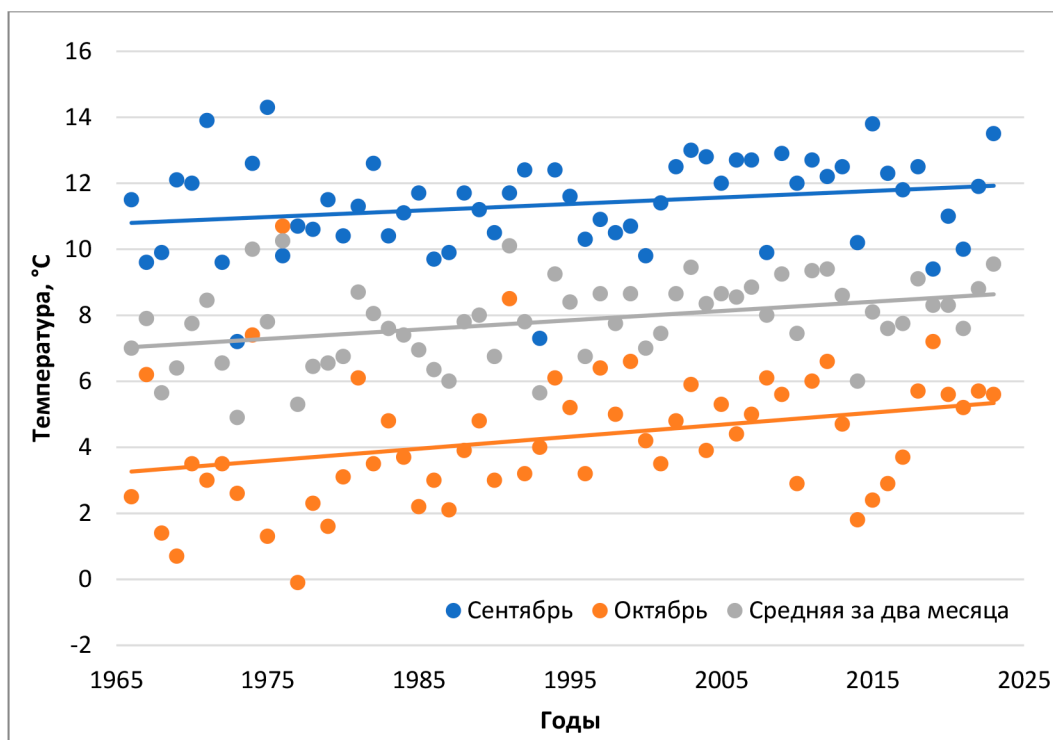


Рис. 1. Изменение температуры воздуха в осенние месяцы (сентябрь, октябрь) в 1966–2023 гг. на территории Республики Башкортостан (ГМС Уфа)

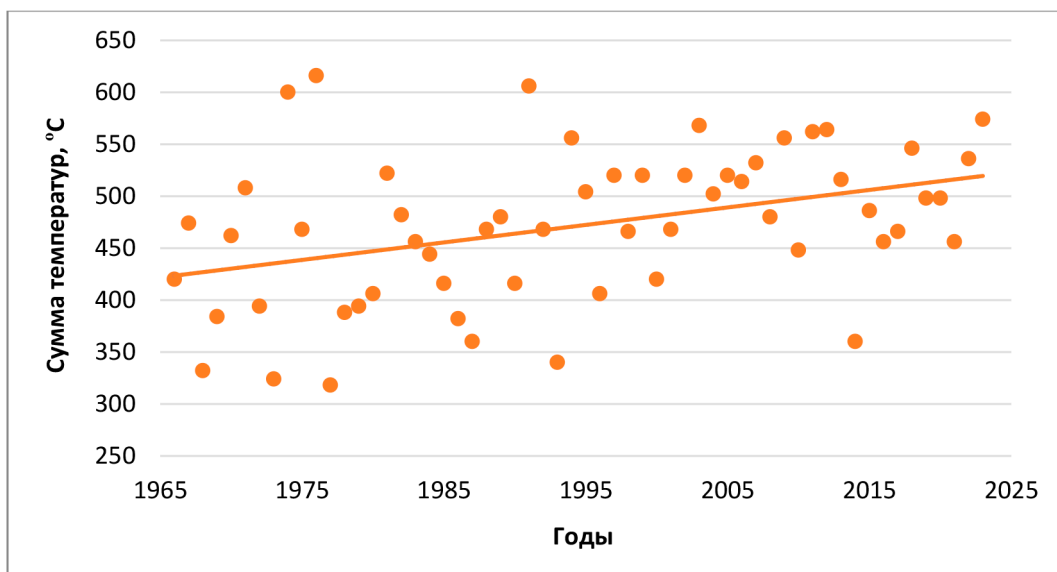


Рис. 2. Изменение суммы температур в осенний период (сентябрь, октябрь) в 1966–2023 гг. на территории Республики Башкортостан

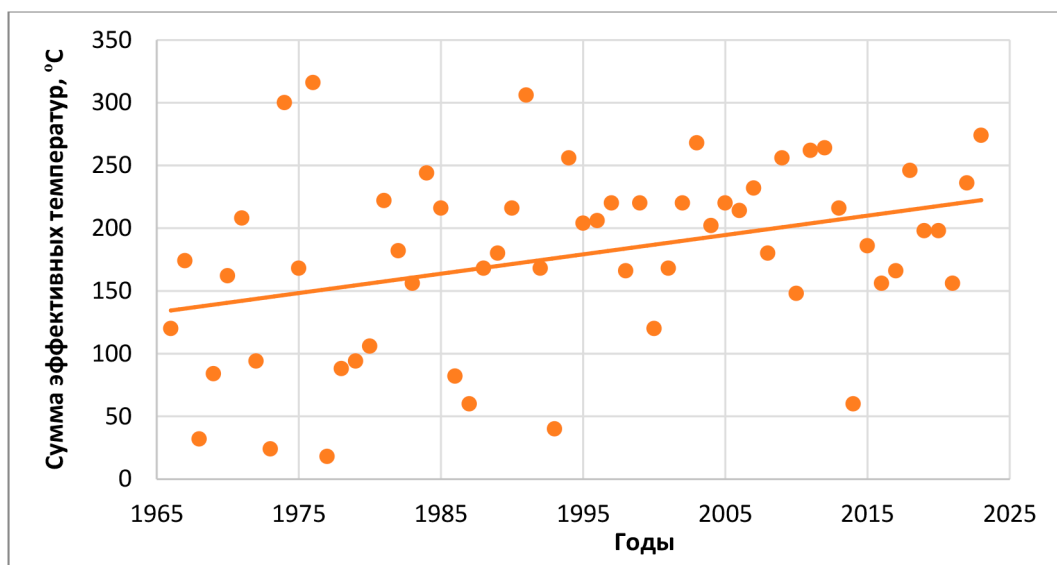


Рис. 3. Изменение суммы эффективных температур в осенний период (сентябрь, октябрь) в 1966–2023 гг. на территории Республики Башкортостан

Соответственно повысилась теплообеспеченность осенней вегетации озимых культур (рис. 2). Сумма температур за два месяца (сентябрь, октябрь) в среднем ежегодно увеличилась на $1,68^{\circ}\text{C}$ или в расчете на 100 лет – на 168°C .

Для озимых зерновых культур пороговой величиной температуры роста и развития, то есть эффективной температурой, является 5°C . Поэтому для оценки теплообеспеченности вегетации озимой ржи более

информативным показателем является сумма эффективных температур, чем средняя температура и сумма температур. Согласно результатам регрессионного анализа сумма эффективных температур повысилась в среднем в год на $1,54^{\circ}\text{C}$ и за последние 100 лет – на 154°C (рис. 3).

Для определения оптимального срока сева важно выявить параметры растений, которых они должны достичь к концу осенней вегетации. Исследования показывают,

что достаточно информативным и практически используемым критерием оптимальности времени сева озимой ржи может быть количество побегов в среднем на одно растение (кустистость) в конце осенней вегетации. Надежность данного критерия обосновывается тем, что кустистость является показателем, отражающим морфологическое и физиологическое состояние растений. Величина данного фитометрического признака тесно взаимосвязана с количеством листьев (коэффициент корреляции $r = 0,891$) и узловых корней ($r = 0,850$), сухой надземной массой ($r = 0,842$), а также длиной конуса нарастания материнского побега ($r = 0,810$). Корреляционно-регрессионный анализ экспериментальных данных показал, что хорошая перезимовка и формирование максимальной урожайности посева озимой ржи наиболее вероятно при кустистости растений в конце осенней вегетации, равной 3,5–4,5. Слаборазвитые посевы в момент прекращения осенней вегетации формировали сравнительно невысокую урожайность даже при хорошей перезимовке, так как именно побеги осеннего кушения являлись потенциальными высокопродуктивными стеблями. Растения переросшие, имеющие высокую кустистость, сильнее подвергались отрицательным факторам зимних условий и, соответственно, посевы из таких растений обычно имели небольшую продуктивность.

Статистическим анализом экспериментальных данных за 14 лет выявлено, что

для образования 3,5–4,5 побегов растениям озимой ржи необходимы сумма эффективных температур от посева до прекращения осенней вегетации 200–240 °С и в среднем 43 дня. Для определения средней даты прекращения осенней вегетации озимой ржи был проведен регрессионный анализ изменения среднесуточной температуры воздуха в осенний период (сентябрь и октябрь) в 1966–2023 гг. и составлен график (рис. 4).

Далее рассчитано уравнение регрессии среднесуточной температуры в осенней период в эти годы.

$$Y=0,1547x+6,2287,$$

где Y – дата перехода среднесуточной температуры воздуха осенью через 5 °С;

x – номер года (1 – 1966 г.).

Используя данное уравнение, рассчитали дату перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С в 2023 г. ($x = 58$). Расчетная дата прекращения осенней вегетации в 2023 году составила 15,2 октября, что почти на 9 дней позже, чем в 1966 г. (6,4 октября). Путем обратного отчета от даты окончания осенней вегетации растений озимой ржи установлено, что средняя оптимальная дата посева озимой ржи в настоящее время приходится на 2 сентября. С учетом разнообразия природных, агротехнических и организационных условий хозяйства оптимальным сроком сева посева озимой ржи в республике можно принять от 27 августа до 7 сентября.

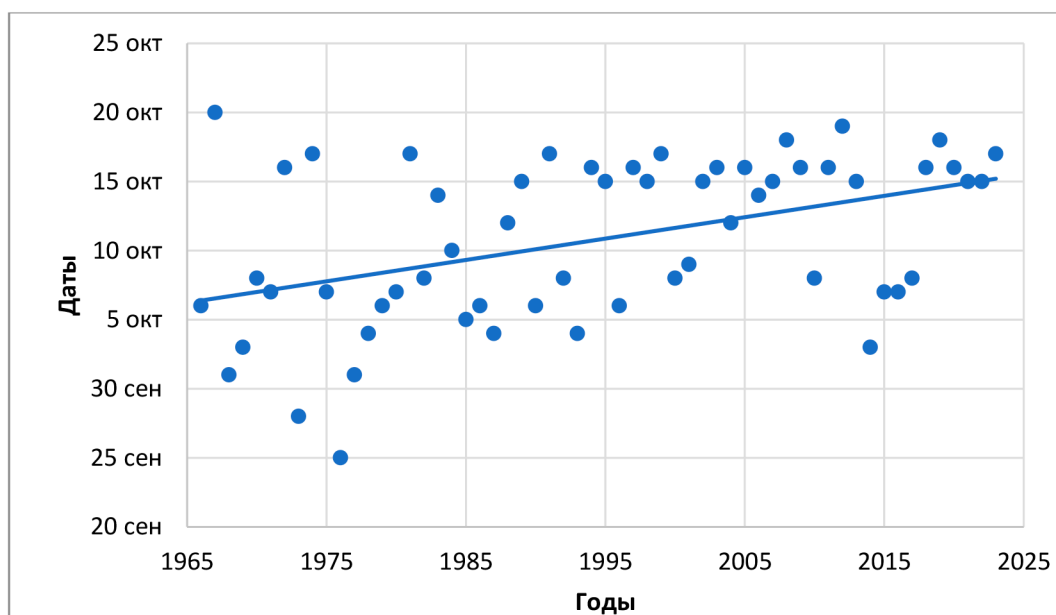


Рис. 4. Тренд даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С осенью в 1966–2023 гг. на территории Республики Башкортостан

Кустистость растений в конце осенней вегетации
и урожайность озимой ржи при разной дате посева

Хозяйство, год, дата перехода температуры воздуха через 5 °С	Дата посева	Кустистость растений в конце осенней вегетации	Урожайность, т/га	Отклонение урожайности от контроля, т/га
УНЦ БГАУ, Уфимский район, 2019–2020 г., 15 октября	25 августа (контроль)	5,1	5,40	0,00
	5 сентября	3,4	5,45	0,05
	15 сентября	1,6	4,63	- 0,73
	НСР05			0,14
ООО «ЭкоНива-АПК Холдинг», Белебеевский район, 2019–2020 г., 14 октября	24 августа (контроль)	5,3	3,72	0,00
	1 сентября	4,1	3,85	0,13
	4 сентября	3,3	3,90	0,18
	10 сентября	1,8	2,83	-0,89
	НСР05			0,14
ООО АФ «Идель», Мелеузовский район, 2020–2021 г., 20 октября	26 августа (контроль)	6,2	1,91	0,00
	2 сентября	4,7	2,02	0,11
	5 сентября	4,3	2,01	0,10
	11 сентября	2,6	1,93	0,02
	НСР05			0,12
КФХ «Юлай», Салаватский район, 2021–2022 г., 2 октября	24 августа (контроль)	3,7	3,52	0,00
	1 сентября	3,0	3,13	-0,39
	4 сентября	2,1	2,67	-0,85
	10 сентября	1,0	1,82	-1,70
	НСР05			0,17
ООО «СПК им. Мичурина», Туймазинский район, 2022–2023 г., 19 октября	25 августа (контроль)	6,0	3,48	0,00
	2 сентября	4,5	3,69	0,21
	6 сентября	3,8	3,62	0,14
	11 сентября	1,9	2,95	-0,53
	НСР05			0,13

В 1970-е гг. были рекомендованы и до последних лет применялись календарные сроки сева озимой ржи в южной лесостепи республики 20–25 августа [15]. Следовательно, посев озимой ржи в связи с глобальным потеплением климата целесообразно проводить в ближайшие годы на 7–12 дней позже, чем в ранее принятые сроки.

Полевые опыты, проведенные в хозяйствах республики в различные годы, подтвердили обоснованность корректировки срока сева озимой ржи в связи с изменением климата. В 2019–2020, 2020–2021 и 2022–2023 вегетационные годы, за исключением 2021–2022 года, при посеве в период с 25 августа по 6 сентября у растений озимой ржи к концу осенней вегетации формировалось

3,3–6,2 побега и наибольшая урожайность зерна (таблица). В 2021 г. (КФХ «Юлай» Салаватского района) был ранний переход среднесуточной температуры через 5 °С и, соответственно, осенний период вегетации озимой ржи был сравнительно коротким, и растения при посеве позже 24 августа слабо раскустились. В результате урожайность озимой ржи в 2022 г. формировалась существенно ниже при посеве позже 24 августа по сравнению с другими годами.

Заключение

На территории Республики Башкортостан в период с 1966 по 2023 г. произошло повышение среднесуточной температуры воздуха в расчете на 100 лет в среднем

за сентябрь и октябрь на 2,81°C, суммы эффективных температур – на 154°C, продолжительность осеннего вегетационного периода удлинилась на 9 дней. Информативным критерием оптимальности времени посева озимой ржи является кустистость растений в конце осенней вегетации (3,5–4,5). Для формирования у растений озимой ржи 3,5–4,5 побегов необходимо 200–240°C эффективных температур. В настоящее время в условиях потепления климата наиболее целесообразным сроком посева озимой ржи на территории южной лесостепи Республики Башкортостан является время с 27 августа по 7 сентября, что позже ранее принятых сроков посева на 7–12 дней.

Список литературы

- Петров Л.К. Особенности формирования потенциальной продуктивности озимой пшеницы в зависимости от сортов, норм и сроков посева семян в Волго-Вятском регионе // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 6 (384). С. 30–33. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-30-33.
- Потапова Г.Н., Иванова М.С. Влияние сроков посева и нормы высева семян на осеннюю вегетацию, зимостойкость и урожайность озимых зерновых культур // Интерактивная наука. 2017. № 11 (21). С. 69–75.
- Иванова М.С. Влияние сроков посева на перезимовку и урожайность озимой ржи // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2022. № 4 (63). С. 75–78.
- Привалов Ф.И., Холодинский В.В., Бруй И.Г., Шантыр В.А., Холодинская Н.Л. Уточнение оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в связи с потеплением климата Беларуси за последние 25 лет // Земледелие и растениеводство. 2021. № 2 (135). С. 14–17.
- Пономарев С.Н., Маннапова Г.С., Пономарева М.Л. Изменение климатических параметров и сроки сева озимой ржи в Республике Татарстан // Земледелие. 2014. № 6. С. 26–30.
- Мельник В.И., Бондаренко Ю.А., Бровка Ю.А., Хитриков М.А. Определение оптимальных сроков сева озимых культур на территории Беларуси в условиях современного изменения климата // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. № 1 (383). С. 108–127. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-1-108-127.
- Туктарова Н.Г. Влияние современных тенденций изменения климата на урожайность озимых зерновых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1 (25). С. 80–86.
- Шарипова Р.Б., Хакимов Р.А., Хакимова Н.В. Влияние предшественников и сроков посева на перезимовку и урожайность озимой пшеницы в изменяющихся условиях регионального климата // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 2 (58). С. 66–71. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-66-71.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
- Исмагилов К.Р., Исмагилов Р.Р., Русаков И.А. Проявление глобального изменения агроклиматических ресурсов на территории Республики Башкортостан // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 85–91. DOI: 10.17513/use.38253.
- Ашабоков Б.А., Ашабокова М.Б., Темирханова Х.М. Задачи плана адаптации АПК к изменению климата: информационное обеспечение и методы решения // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 99–107. DOI: 10.17513/use.37899.
- Тарасова О.С. К вопросу адаптации отраслей народного хозяйства к климатическим изменениям // Успехи современного естествознания. 2023. № 10. С. 64–70. DOI: 10.17513/use.38115.
- Paudel G.P., Chamberlin J., Balwinder-Singh, Maharjan Sh., Nguyen T.T., Craufurd P., McDonald A.J. Insights for climate change adaptation from early sowing of wheat in the Northern Indo-Gangetic Basin // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2023. Vol. 92. P. 103714. DOI: 10.1016/j.ijdr.2023.103714.
- Температура воздуха и осадки по месяцам и годам [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?ysclid=lnh83iq7fh19> (дата обращения: 15.10.2024).
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.
- Бахтязин Н.Р., Исмагилов Р. Р. Определение оптимальной даты сева озимых зерновых культур // Агротехника полевых культур в лесостепи Поволжья и Предуралья / Министерство сельского хозяйства СССР, Ульяновский сельскохозяйственный институт. Куйбышев: Ульяновский сельскохозяйственный институт, 1979. С. 46–51.

УДК 631.51:510.644
DOI 10.17513/use.38327

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ АГРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПАШКИ ПОЧВЫ

¹Косарев А.В., ¹Старцев А.С., ¹Колганов Д.А., ¹Чумакова С.В.,
¹Моршнева А.Ю., ¹Шибайкин В.А., ²Симонова З.А.

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, e-mail: aleteia@inbox.ru, ahilles974@mail.ru, dmi.kolg@mail.ru, ch-sv@yandex.ru, morshnev199@mail.ru, shibaikinva@vavilovsar.ru;

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, e-mail: simonovaza@yandex.ru

Цель работы – создание экспертной системы, которая на основе алгоритма нечеткой логики позволяет оценить эффективность вспашки почвы от ее агротехнических характеристик. Экспертная система оценки эффективности вспашки почвы разработана с использованием Fuzzy Logic Toolbox в MatLab. Пакет позволяет создавать системы нечеткого логического вывода, включая проектирование и моделирование. Результаты визуализируются через Rule Viewer и Surface Viewer, отображающие диалоговые окна и поверхности отклика. С помощью редактора Fuzzy Inference System Editor была создана экспертная система на основе алгоритма Мамдани для оценки эффективности вспашки почвы. Входные параметры: «грубая вспашка», «равномерность», «глубистость», «свальный гребень», «глубина» (оценка от 0 до 10). В отношении этих величин заданы функции принадлежности и три правила соответствия, определяющие значение эффективности вспашки почвы от входящих характеристик. Система тестировалась через Rule Viewer, показывая зависимость величины эффективности вспашки от входящих параметров. Поверхность отклика обнаруживает ступенчатую структуру и резко возрастает при увеличении глубистости выше 7 и свального гребня выше 5. Разработан пользовательский интерфейс, реализующий систему нечеткой логики для оценки экологического риска на основе экспертных оценок показателей качества окружающей среды. Система интегрируется в Simulink и может работать как независимое приложение. Интерфейс интуитивно понятен и позволяет вводить данные и получать результаты быстро. Алгоритмы нечеткой логики позволяют обрабатывать неточные данные, обеспечивая надежные прогнозы и рекомендации по агротехническим процессам. Интеграция с Simulink способствует комплексному подходу к управлению сельскохозяйственными процессами. Система легко расширяется за счет модулей и адаптируется к условиям и требованиям, улучшая оценку и прогнозирование в контексте мелиорации.

Ключевые слова: экспертная система, вспашка почвы, эффективность, агротехника

THE EXPERT SYSTEM FOR EVALUATING THE AGROTECHNICAL EFFICIENCY OF SOIL PLOWING

¹Kosarev A.V., ¹Startsev A.S., ¹Kolganov D.A., ¹Chumakova S.V.,
¹Morshnev A.Yu., ¹Shibaykin V.A., ²Simonova Z.A.

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: aleteia@inbox.ru, ahilles974@mail.ru, dmi.kolg@mail.ru, ch-sv@yandex.ru, morshnev199@mail.ru, shibaikinva@vavilovsar.ru;

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, e-mail: simonovaza@yandex.ru

The purpose of the work is to create an expert system that, based on a fuzzy logic algorithm, allows you to evaluate the effectiveness of plowing the soil from its agrotechnical characteristics. Materials and methods of research. The expert system for evaluating the effectiveness of tillage has been developed using the Fuzzy Logic Toolbox in MatLab. The package allows you to create fuzzy inference systems, including design and modeling. The results are visualized through the Rule Viewer and Surface Viewer, which display dialog boxes and response surfaces. The results and their discussion. Using the redactor Fuzzy Inference System Editor, an expert system based on the Mamdani algorithm was created to evaluate the effectiveness of plowing the soil. Input parameters: “Rough plowing”, “Uniformity”, “Clumpiness”, “Pile ridge”, “Depth” (score from 0 to 10). With respect to these values, membership functions and three compliance rules are set, which determine the value of the effectiveness of plowing the soil from the incoming characteristics. The system was tested through the “Rule Viewer”, showing the dependence of the ploughing efficiency on the input parameters. The response surface shows a stepped structure and increases sharply with an increase in clumpiness above 7 and the pile ridge above 5. Conclusion. A user interface has been developed that implements a fuzzy logic system for assessing environmental risk based on expert assessments of environmental quality indicators. The system integrates into Simulink and can work as an independent application. The interface is intuitive and allows you to enter data and get results quickly. Fuzzy logic algorithms allow you to process inaccurate data, providing reliable forecasts and recommendations on agrotechnical processes. Integration with Simulink promotes an integrated approach to agricultural process management. The system is easily expanded through modules and adapts to conditions and requirements, improving assessment and forecasting in the context of land reclamation.

Keywords: expert system, tillage, efficiency, agricultural engineering

Введение

Важная роль в условиях обеспечения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях засушливости принадлежит отвальным методам обработки почвы [1]. Так, увеличение глубины вспашки повышает влагоемкость корнеобитаемого слоя почвы при выращивании ячменя и повышает его урожайность за счет обогащения торфяного слоя грунтом [2]. Эффективная вспашка почвы приводит к увеличению площади листовой поверхности кукурузы и, как следствие, возрастанию ее фотосинтетической активности, приводящей к возрастанию урожайности [3]. Установлено, что пахотная обработка темно-серых лесных почв увеличивает урожайность зерновых культур севооборота [4]. Выбор метода обработки грунта оказывает значительное влияние на продуктивность и качество овса посевного в условиях Среднерусской лесостепи. Использование оборотного плуга с предплужниками предоставляет не только наивысшие урожайные показатели, но и способствует улучшению параметров, связанных с развитием и ростом данной культуры [5]. Применение вспашки при выращивании сои повышает ее урожайность на 7,7% по отношению к безотвальным методам обработки почвы [6]. Вспашка имеет значение в снижении корневой гнили в севооборотах с участием яровой пшеницы, так как помогает уничтожить оставшиеся растительные остатки, на которых могут развиваться патогены, а также изменяет микробиологический фон почвы [7]. Повышение урожайности подсолнечника в условиях черноземных почв юго-востока России создается благодаря отвальной обработке почвы в сочетании с внесением калийно-азотных удобрений [8]. Метод варьирования глубины вспашки позволяет создавать участки с различной плотностью почвы, что способствует созданию оптимальных условий для различных режимов увлажнения. Это, в свою очередь, помогает уменьшить колебания урожайности яровой пшеницы в течение нескольких лет на дерново-подзолистых почвах Ивановского региона [9].

В условиях повышения потребности в продовольствии и растущих агроэкологических вызовов ключевая роль в агротехнике и мелиорации принадлежит компьютерным экспертным системам [10]. Современные экспертные системы интегрируют в себе алгоритмические модели, которые позволяют анализировать метеорологические данные, состав почвы, уровень влаги

и другие параметры, важные для успешного агропочвоведения [11]. Комплексный подход, основанный на применении цифровых технологий и искусственного интеллекта, позволил разработать интегрированные подходы цифрового земледелия, направленные на повышение урожайности многих сельскохозяйственных культур [12]. Они предоставляют рекомендации по оптимальным срокам посева, эффективной ирригации и устранению засоренности посевов, что позволяет минимизировать расход ресурсов и максимально повысить урожайность [13]. Автоматизированные системы и разрабатываемые на их основе экспертные системы позволяют в режиме реального времени определять и сохранять оптимальные условия массообмена в почвенном слое и условия полива посевов [14].

Цель исследования – создать экспертную систему, которая на основе алгоритма нечеткой логики позволит при заданных характеристиках вспашки почвы оценить эффективность данного агротехнического мероприятия.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

а) определены входящие переменные модели (отклонение средней глубины вспашки от заданной, равномерность глубины вспашки, глыбистость, высота свального гребня, глубина вспашки под свальным гребнем) и исходящая переменная («эффективность вспашки почвы») и дана их количественная интерпретация;

б) заданы функции принадлежности входящих и исходящих величин, а также правила работы экспертной системы;

в) построен графический пользовательский интерфейс количественной оценки эффективности вспашки почвы на основе экспертных оценок.

Материалы и методы исследования

Экспертная система оценки эффективности вспашки почвы построена с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox версия (2.2.24). Этот пакет программ входит в состав среды MatLab и предназначен для создания систем нечеткого логического вывода. Средство Fuzzy Logic Toolbox позволяет разрабатывать системы нечеткой логики на всех этапах, начиная с их проектирования и моделирования. Интуитивно понятная среда обеспечивается за счет встроенных графических модулей. Модуль Fussy Logic Designer предназначен для начала процесса фаззификации – задания входящих и ис-

ходящих переменных. Модуль Membership Function Editor предназначен для задания количества и вида функций принадлежности для каждой из входящих нечетких переменных. Модуль Rule Editor предназначен для завершения процесса фаззификации через задание правил, по которым множество входящих нечетких переменных отображается на множество исходящих переменных. Результат работы экспертной системы визуализируется с применением модуля Rule Viewer, предназначенного для выведения диалогового окна и модуля Surface Viewer, выводящего поверхности отклика, то есть зависимости исходящей переменной от входящих переменных.

Результаты исследования и их обсуждение

Сначала определялись входные и выходные нечеткие переменные, после чего для каждой из них создавались функции принадлежности, а затем задавались правила работы системы.

Эти шаги были выполнены в MatLab с использованием инструмента Fuzzy Inference System Editor. Этот редактор дает возможность настраивать входные и выходные параметры, редактировать функции принадлежности, отслеживать выполнение правил и визуализировать реакцию системы. При исследовании связи эффективности вспашки почвы с характеристиками агротехнического процесса использовался алгоритм логического вывода Мамдани, работающий по принципу черного ящика, где на входе используются нечеткие и лингвистические переменные, а на выходе получают при-

ближенные количественные значения для каждой из введенных лингвистических переменных (рис. 1). Исходными параметрами выбраны переменные «грубая вспашка», определяющая отклонение средней грубой вспашки от заданной; «равномерность» глубины вспашки; «глыбистость», определяющая долю комков почвы с линейными размерами более 5 см; «свальный гребень» по его высоте, а также «глубина» вспашки над свальным гребнем. Оценивание данных агротехнических характеристик вспашки осуществлялось по шкале от 0 до 10, где 0 – минимальная оценка, а 10 – максимальная (рис. 2). Вид и количество функций принадлежности для входящих и исходящих переменных представлены в таблице. Правила экспертной системы определялись через меню «Edit rules». Число правил совпадало с числом значений исходящей переменной «эффективность вспашки почвы» и составляло 3. Система правил в экспертной системе задана следующим образом:

1) если «грубая вспашка» высокая, и «равномерность» низкая, и «глыбистость» высокая, и «свальный гребень» высокий, и «глубина» высокая, то «эффективность вспашки почвы» низкая;

2) если «грубая вспашка» низкая, и «равномерность» средняя, и «глыбистость» средняя, и «свальный гребень» низкий, и «глубина» высокая, то «эффективность вспашки почвы» средняя;

3) если «грубая вспашка» низкая, и «равномерность» высокая, и «глыбистость» низкая, и «свальный гребень» низкий, и «глубина» низкая, то «эффективность вспашки почвы» низкая.

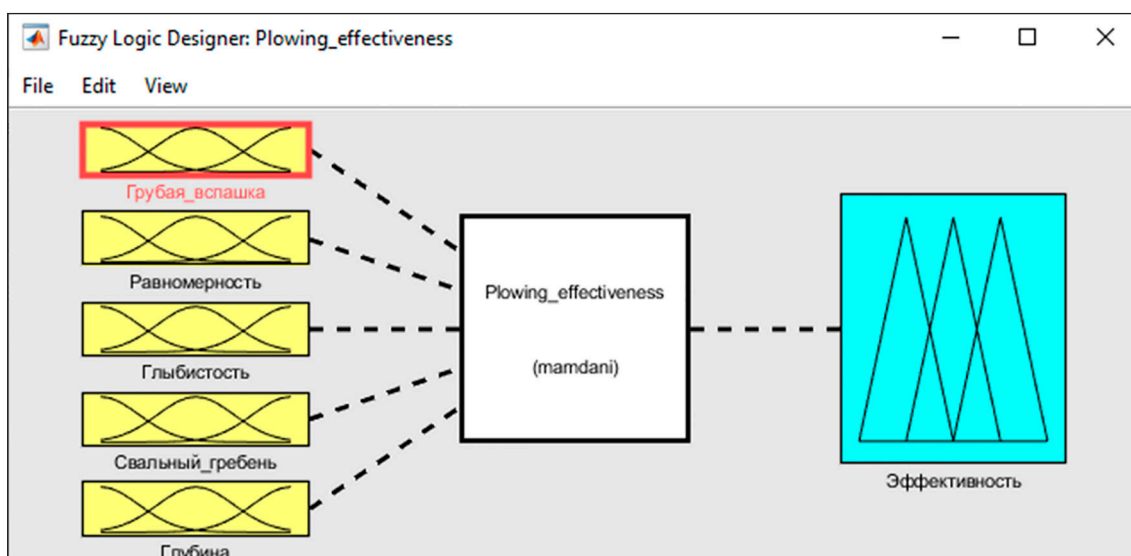


Рис. 1. Назначение входящих и исходящей переменных

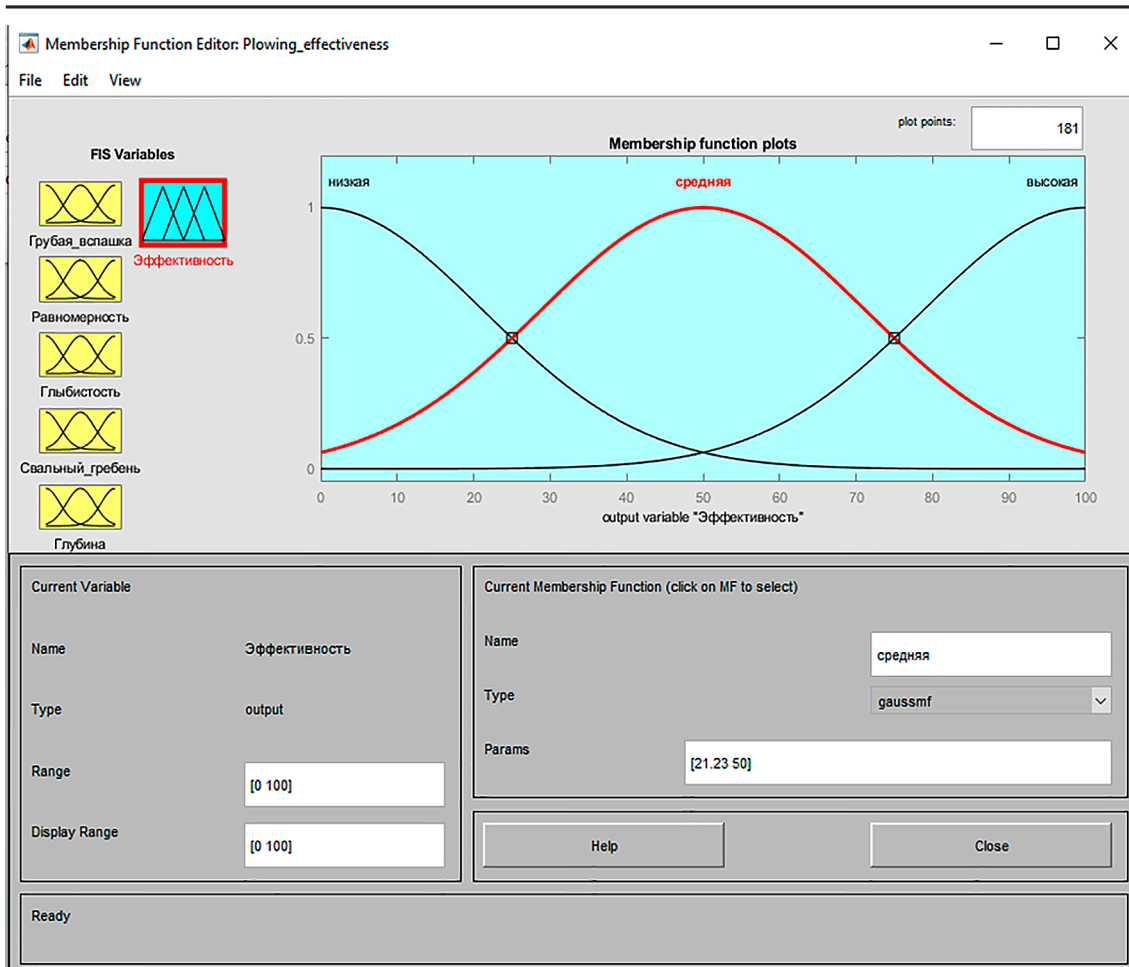


Рис. 2. Задание функций назначения для используемых нечетких переменных

Функции принадлежности входящих и исходящей переменных модели

Переменная	Количество функций принадлежности	Вид функций	Диапазон оценки	Классы функций принадлежности
Входящие				
«Грубая вспашка»	2	trapmf (трапецидальная)	[0; 10]	Низкая – высокая
«Равномерность»	3	Gauss2mf (модифицированная гауссовая)	[0; 10]	Низкая – средняя – высокая
«Глыбистость»	3	gaussmf (гауссовая)	[0; 10]	Высокая – средняя – низкая
«Свальный гребень»	2	trapmf (трапецидальная)	[0; 10]	Высокий – низкий
«Глубина»	3	gaussmf (гауссовая)	[0; 10]	Низкая – средняя – высокая
Исходящая				
«Эффективность вспашки почвы»	3	gaussmf (гауссовая)	[0; 10]	Низкая – средняя – высокая

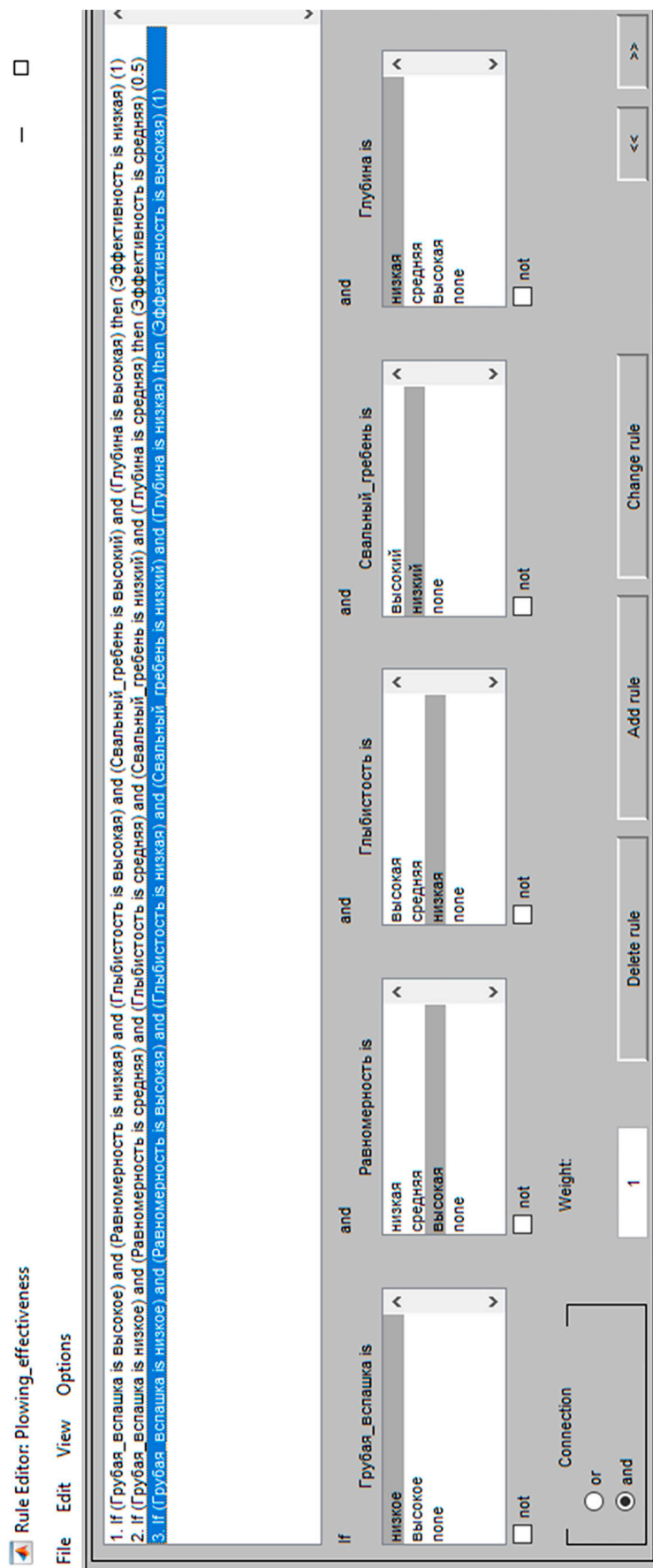
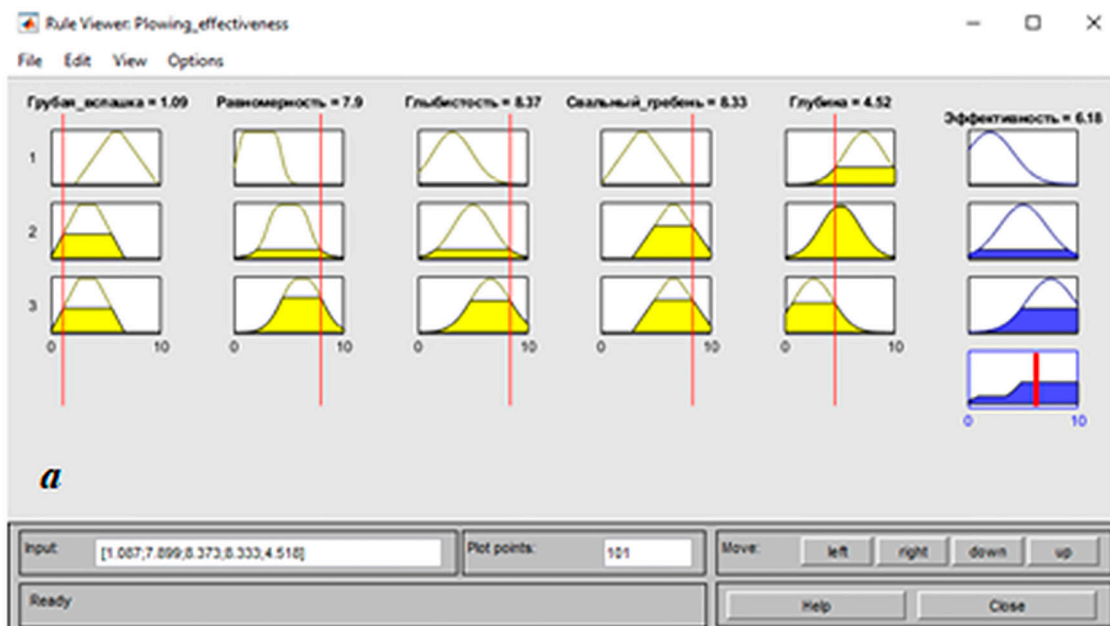
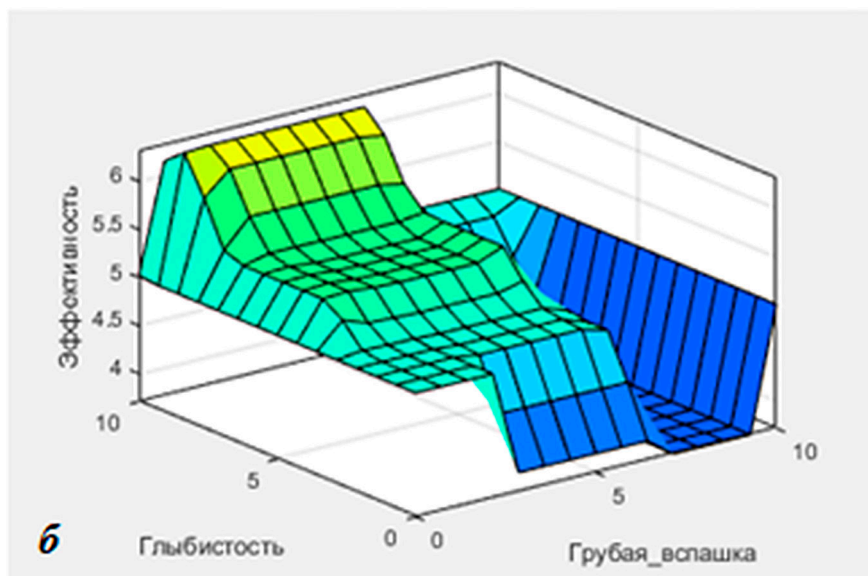


Рис. 3. Задание правил определения выходящей переменной (эффективности вспашки почвы) от входящих переменных (агротехнических характеристик вспашки)



а



б

Рис. 4. Результат работы экспертной системы: количественная оценка эффективности вспашки почвы (а); поверхность отклика между входящими переменными и исходящей переменной (б)

Эти правила отображались в окне редактора правил Rule Editor. При этом соединение условий происходит с помощью оператора *or*. Всем трем правилам присваивается вес, равный 1 (рис. 3).

Далее разработанная экспертная система была сохранена в файле под названием *Plowing_effectiveness.fis* и тестировалась ее работа. Для этого экспертная система открывается через окно просмотра правил «Rule Viewer». В этом окне значения входящих параметров, располо-

женных в первых пяти столбцах, могут изменяться путем изменения положения движка в виде красной линии, а значение определяемого параметра – эффективности вспашки почвы перерасчитывается и выводится в четвертом столбце (рис. 4, а). Также экспертная система позволяет построить поверхность отклика – зависимость исходящего параметра (эффективности вспашки почвы) от входящих параметров (агротехнических характеристик вспашки) (рис. 4, б).


```

Plowing_effectiveness.fis x +
1 [System]
2 Name='Plowing_effectiveness'
3 Type='mamdani'
4 Version=2.0
5 NumInputs=5
6 NumOutputs=1
7 NumRules=3
8 AndMethod='min'
9 OrMethod='max'
10 ImpMethod='min'
11 AggMethod='max'
12 DefuzzMethod='centroid'
13
14 [Input1]
15 Name='Грубая_вспашка'
16 Range=[0 10]
17 NumMFs=2
18 MF1='низкое':'trapmf',[-0.047121693121694 2.49487830687831 4.11887830687831 6.66087830687831]
19 MF2='высокое':'trapmf',[2.18538095238095 5.51938095238095 6.35238095238095 9.69238095238095]
20
21 [Input2]
22 Name='Равномерность'
23 Range=[0 10]
24 NumMFs=3
25 MF1='низкая':'gauss2mf',[0.629 0.959587301587301 0.629 3.6435873015873]
26 MF2='средняя':'gbellmf',[2.083 2.5 4.984]
27 MF3='высокая':'gauss2mf',[1.42 5.74702116402116 1.42 6.58402116402116]
28
29 [Input3]
30 Name='Глубистость'
31 Range=[0 10]
32 NumMFs=3
33 MF1='высокая':'gaussmf',[1.77 3.12169312169312]
34 MF2='средняя':'gaussmf',[1.77 4.984]
35 MF3='низкая':'gaussmf',[1.77 6.56084656084656]
36
37 [Input4]
38 Name='Свальный_гребень'
39 Range=[0 10]
40 NumMFs=2
41 MF1='высокий':'trapmf',[0.0170687830687823 3.34996878306878 4.18326878306878 7.51706878306878]
42 MF2='низкий':'trapmf',[2.83730158730159 6.17030158730159 7.00730158730159 10.3373015873016]
43
44 [Input5]
45 Name='Глубина'
46 Range=[0 10]
47 NumMFs=3
48 MF1='низкая':'gaussmf',[1.77 2.57806264550265]
49 MF2='средняя':'gaussmf',[1.769 5]
50 MF3='высокая':'gaussmf',[1.77 7.19067724867725]
51
52 [Output1]
53 Name='Эффективность'
54 Range=[0 10]
55 NumMFs=3
56 MF1='низкая':'gaussmf',[2.12 1.98412698412698]
57 MF2='средняя':'gaussmf',[2.123 5]
58 MF3='высокая':'gaussmf',[2.12 7.51322751322751]
59
60 [Rules]
61 2 1 1 1 3, 1 (1) : 1
62 1 2 2 2 2, 2 (1) : 1
63 1 3 3 2 1, 3 (1) : 1
64

```

Рис. 5. Листинг экспертной системы оценки качества вспашки почвы на языке Matlab

В рассмотренном нами варианте модели взаимосвязи входящих и исходящих переменных построенная поверхность отклика обнаруживает ступенчатую структуру и резко возрастает при увеличении глубистости выше 7 и свального гребня выше 5.

Листинг программы приведен на рис. 5. Таким образом, разработанная экспертная система оценки агротехнического качества почвы на базе Fuzzy Logic Toolbox легко интегрируется в среду Simulink. Это играет ключевую роль в автоматизации и повышении точности процессов, связанных с анализом и управлением агротехническими практиками: моделированием мелиоративных мероприятий, анализом и прогнозированием, визуализацией и настройкой. Используя Fuzzy Logic Toolbox, можно легко моделировать системы с неопределенностями, что особенно актуально для оценки почвы, где параметры могут варьироваться в широких пределах. Нечеткие системы позволяют учесть такие неопределенности и предоставить более гибкие и адаптируемые модели.

Заключение

На базе инструментария Fuzzy Logic Toolbox был разработан пользовательский графический интерфейс, работающий на основе алгоритма нечеткой логики, позволяющий на основе экспертных оценок по ряду показателей качества окружающей среды реализовать экспертную систему, рассчитывающую величину экологического риска, а также анализирующую зависимость этой величины от входящих параметров – оценок качества окружающей среды. Данная система легко интегрируется в Simulink и содержит функции для независимо исполняемых приложений. Разработанный интерфейс обладает простым дизайном, позволяя пользователю без особых затруднений вводить необходимые данные и получать результаты расчетов в кратчайшие сроки. Таким образом, пользователь может получить надежные прогнозы и рекомендации по улучшению агротехнического процесса вспашки, основываясь на экспертных оценках и накопленных данных. Интеграция с Simulink позволяет использовать разработанную систему в рамках более крупных моделей, обеспечивая тем самым комплексный подход к управлению сельскохозяйственными процессами. Предусмотрена возможность расширения функционала интерфейса за счет добавления

модулей, что делает систему гибкой и адаптируемой к различным условиям и требованиям пользователя. Это позволяет не только улучшать алгоритмы оценки и прогнозирования, но и настраивать их под конкретные условия мелиорации.

Список литературы

1. Скороходов В.Ю., Максютов Н.А., Зоров А.А., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Влияние глубины и способа обработки почвы на ослабление засухи в Оренбургской области // Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 29–33.
2. Моторин А.С. Влияние вспашки торфянисто-глеевой почвы на водно-тепловой режим и урожайность ячменя в условиях Северного Зауралья // Плодородие. 2023. № 4 (133). С. 50–53.
3. Смакуев А.Д., Власова О.И., Трубочева Л.В., Дорожко Г.Р. Приемы повышения урожайности кукурузы на зерно при возделывании в условиях зоны неустойчивого увлажнения // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 2 (54). С. 5–10.
4. Дементьев Д.А., Фадеев А.А. Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность культур севооборотов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 430–439.
5. Бобкова Ю.А., Сорокина М.В., Сидорова Е.К., Абакумов С.Н. Способ обработки почвы как фактор формирования урожая и качества овса посевного в условиях среднерусской лесостепи // Вестник аграрной науки. 2023. № 5 (104). С. 48–56.
6. Kravchenko R.V., Yablonskaya E.K., Kotlyarov V.V., Gish R.A., Dubovoy G.A. Influence of basic soil tillage methods and fertilizer rates on productive and economic indicators of soybean // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2024. № 198. С. 147–157.
7. Разина А.А., Зайцев А.М., Солодун В.И., Дятлова О.Г. Корневая гниль яровой пшеницы в полевых севооборотах лесостепи Иркутской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 7. С. 5–12.
8. Гармашов В.М., Говоров В.Н., Крячкова М.П. Эффективность приемов основной обработки почвы под подсолнечник в условиях юго-востока ЦЧР // Аграрная Россия. 2023. № 4. С. 3–8.
9. Гарифуллин И.И. Влияние обработок почвы при различных погодных условиях на урожайность яровой пшеницы // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (77). С. 28–32.
10. Смыслов Д.М., Греченева А.В., Котов Я.С., Голбан А.Н., Макеев К.А. Архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений для задач растениеводства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 2. С. 227–230.
11. Козырева Л.В., Доброхотов А.В. Рациональное использование водных ресурсов с автоматизированным расчетом полива посевов на орошаемом поле // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 1. С. 92–107.
12. Нагоев З.В., Шуганов В.М., Заммоев А.У., Бжихатлов К.Ч., Иванов З.З. Разработка интеллектуальной интегрированной системы «умное поле» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 1. С. 81–91.
13. Каличкин В.К., Альсова О.К., Максимович К.Ю., Васильева Н.В. Прогнозирование засоренности посевов с использованием методов машинного обучения // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 67–72.
14. Черных А.Г. Исследование закрытой оросительной системы с двумя напорными источниками с помощью методов математического моделирования // Актуальные вопросы аграрной науки. 2022. № 42. С. 30–39.

СТАТЬИ

УДК 551.583

DOI 10.17513/use.38328

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД**Вологжина С.Ж., Гекова А.В., Латышева И.В., Лощенко К.А.***ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск,
e-mail: svologzhina@gmail.com, gekova00@bk.ru, ababab1967@mail.ru, loshchenko@bk.ru*

Цель исследования – изучение климатических особенностей температурного режима воздуха и поверхности почвы, которые являются одними из основных климатических показателей, определяющих современное экологическое состояние территории Иркутской области в условиях высоких темпов антропогенного воздействия и изменений климата. На основе данных 63 метеорологических станций впервые выполнено картирование территории Иркутской области по среднегодовым значениям температуры воздуха и температуры поверхности почвы в период современной климатической нормы (1991–2020 гг.) по сравнению с предшествующим климатическим периодом (1961–1990 гг.). В работе были использованы как данные непосредственных наблюдений на станциях, так и данные архивной базы Реанализов. Проанализированы межгодовые вариации температур и выявлены сезонные и пространственные особенности температурного режима, которые характеризуются преобладающими тенденциями роста температур. Проведен статистический анализ интенсивности городского острова тепла (на примере станций Иркутск и Хомутово) и термического влияния оз. Байкал на побережье (по данным станций Исток Ангары и Хомутово). Получено, что в распределении средних температур воздуха по территории Иркутской области наряду с зональностью хорошо прослеживается региональность (секторность), которая обусловлена влиянием адвекции теплых и холодных воздушных масс при развитии циклонической деятельности на фоне неоднородного рельефа. Полученные результаты имеют важное практическое и экологическое значение для разработки стратегии адаптации и траектории развития экономики Иркутской области в условиях возросших темпов изменений климата.

Ключевые слова: климат, температура почвы, температура воздуха, годовые амплитуды температуры, зональность, острова тепла, термическое влияние, Иркутская область

SPATIO-TEMPORAL AND GEOECOLOGICAL FEATURES OF THE TEMPERATURE REGIME IN IRKUTSK REGION IN THE MODERN CLIMATIC PERIOD**Vologzhina S.Zh., Gekova A.V., Latysheva I.V., Loschenko K.A.***Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: svologzhina@gmail.com,
gekova00@bk.ru, ababab1967@mail.ru, loshchenko@bk.ru*

The study aims to study climatic characteristics of temperature regime of air and soil surface, which are one of the main climatic indicators, determining the modern ecological state of the territory of Irkutsk region under conditions of high rates of anthropogenic impact and climate change. Based on the data from 63 meteorological stations, for the first time a map of the territory of the Irkutsk region was made according to the annual average values of air temperature and soil surface temperature during the period of the current climatic norm (1991–2020) compared to the previous climatic period (1961–1990). The work was based on direct observations at stations and data from the archive database of Reanalyses. Inter-annual temperature variations were analyzed and seasonal and spatial characteristics of the temperature regime, which are characterized by prevailing temperature rise trends, were identified. Statistical analysis of the intensity of the urban heat island (in the case of the Irkutsk and Khomutovo stations) and the thermal impact of Lake Baikal on the coast (according to the data of the Istok Angara and Khomutovo stations) was carried out. It was obtained that in the distribution of average air temperatures on the territory of Irkutsk region along with zonality, regional (sectority) is well traced, which is due to the influence of the advection of warm and cold air masses on the development of cyclone activity against the background of uneven terrain. The results have important practical and environmental significance for the development of an adaptation strategy and economic development trajectory in the Irkutsk region under conditions of increased climate change.

Keywords: climate, soil temperature, air temperature, annual temperature range, zonality, heat island, thermal influence, Irkutsk region

Введение

В настоящее время температура воздуха увеличилась в большинстве регионов мира, включая восточную часть Соединенных Штатов, Северную Европу, Западную Африку и Восточную Азию. В этой связи температура определяется как доминирующий фактор для описания современных измене-

ний климата [1]. Прогнозируемые в среднем от 3 до 7 °C на период 2071–2100 гг. по отношению к периоду 1971–2000 гг. потепление и изменение сумм атмосферных осадков могут негативно повлиять на экологические и социально-экономические системы различных регионов земного шара, включая Россию, где в настоящее время темпы роста

средних температур превышают глобальные изменения [2].

Иркутская область характеризуется высокой степенью континентальности климата и большой пространственно-временной изменчивостью метеорологических параметров. Эта изменчивость обусловлена влиянием неоднородного рельефа на развитие крупно- и мезомасштабных атмосферных процессов, что в итоге определяет высокую вероятность возникновения опасных погодных явлений. Среди метеорологических параметров слабо изучен климатический режим поверхности почвы и ее глубинных слоев [3].

В то же время нарастающие темпы потепления климата могут оказывать негативное воздействие на экологическое состояние Иркутской области, которая характеризуется одними из самых высоких показателей лесистости на территории России (~80%), где за последние десятилетия на фоне повышения температур происходит увеличение количества и площади распространения лесных пожаров [4]. Глобальные и региональные климатические факторы являются одной из причин возросшего числа наводнений, в том числе в Иркутской области [5]. В качестве примера можно привести катастрофическое тулунское наводнение в Иркутской области в июне 2019 г., когда в зону подтопления попало шесть административных районов, погибло 25 чел., пострадало 42762 чел., подтопленными оказались 107 населенных пунктов, почти 11 тыс. жилых домов, 49 участков дорог. Увеличение продолжительности периодов с положительными температурными аномалиями воздуха и почвы в летние месяцы определяет высокий риск возникновения засух, что негативно сказывается на развитии сельского хозяйства Иркутской области [6]. В условиях возрастающего антропогенного воздействия на водные объекты и меняющегося климата для устойчивого развития и экологической безопасности оз. Байкал актуальным является определение современного состояния ряда экологически значимых гидрометеорологических параметров [7].

В этой связи **целью исследования** является изучение современных климатических изменений температурного режима Иркутской области как одного из важнейших факторов, влияющих на развитие геоэкологических процессов. Температурный режим определяет вероятность возникновения опасных гидрометеорологических яв-

лений, таких как засухи и связанные с ними лесные пожары, увеличение количества наводнений на фоне более продолжительных и интенсивных осадков, ухудшение экологического состояния оз. Байкал и т.д.

Материалы и методы исследования

Исследование климатического режима проводилось как по данным непосредственных наблюдений на станциях, так и на основе архивной базы Реанализов. Были использованы данные 63 метеорологических станций, расположенных на территории Иркутской области. Основным методом исследования явился статистический анализ исходной гидрометеорологической информации за многолетний период и картирование на его основе территории Иркутской области по температурным показателям, рассчитанным для двух климатических периодов (1961–1990 гг. и 1991–2020 гг.). На примере лесных пожаров рассмотрено влияние климатических особенностей.

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение температуры воздуха и поверхности почвы по земному шару зависит от общих условий притока солнечной радиации по широтам (влияние широты местности), от распределения суши и моря, которые по-разному поглощают радиацию и по-разному нагреваются (влияние подстилающей поверхности), и от воздушных течений, переносящих воздух из одних областей в другие (влияние циркуляции атмосферы) [8].

В современный климатический период (1991–2020 гг.) по данным 63 метеорологических станций порядка 57% станций, расположенных преимущественно в северных, верхнеленских и высокогорных районах Иркутской области, имеют отрицательную среднюю годовую температуру поверхности почвы, а на 43% станций, расположенных в западных, южных районах области и на побережье оз. Байкал, средняя годовая температура положительная. В пространственном отношении выделяется зональность в распределении средних годовых температур поверхности почвы, которая характеризуется ее повышением от $-8,3^{\circ}\text{C}$ на севере (Наканно) до $2,8^{\circ}\text{C}$ на юге (Хужир), хотя частично нарушается понижением температур в высокогорных районах Восточного Саяна ($-3,0^{\circ}\text{C}$) и Хамар-Дабана ($-4,4^{\circ}\text{C}$) (рис. 1).

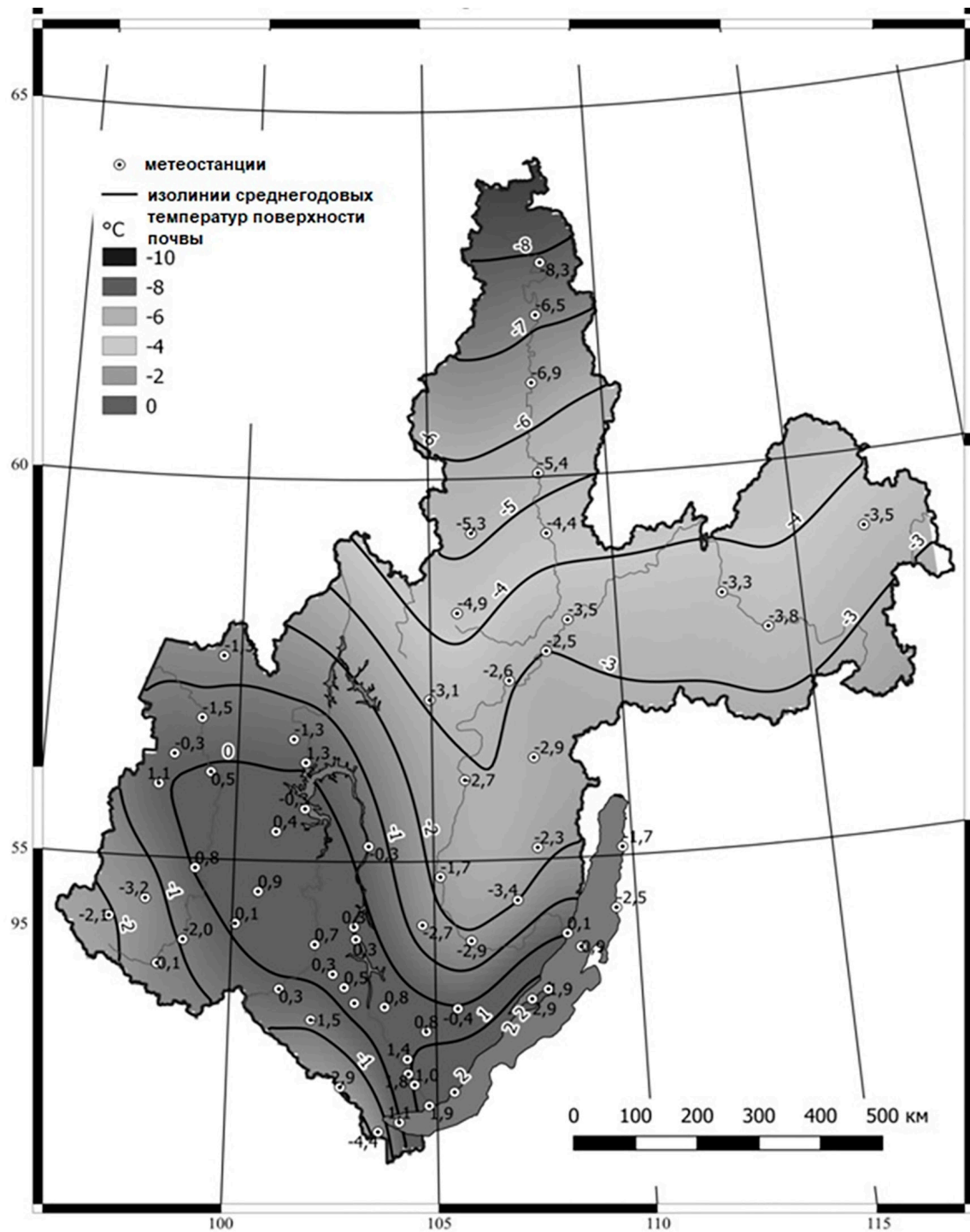


Рис. 1. Среднегодовые температуры поверхности почвы в Иркутской области по данным 63 метеорологических станций за 1991–2020 гг.

В течение года минимальные температуры поверхности почвы в Иркутской области отмечаются в январе за счет низкого прихода солнечной радиации и высокой отражательной способности снежного покрова на фоне господствующего влияния

Азиатского антициклона (рис. 2). С мая по сентябрь средняя температура поверхности почвы на всей территории области становится положительной, достигая максимума в июле, на фоне высоких значений прямой и рассеянной солнечной радиации.

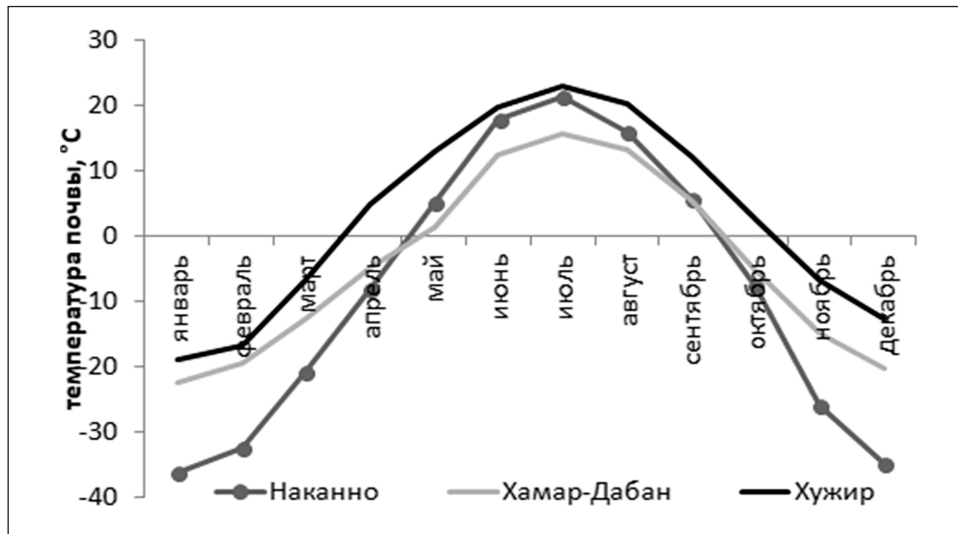


Рис. 2. Годовой ход средней месячной температуры поверхности почвы на метеорологических станциях Иркутской области в 1991–2020 гг.

Годовая амплитуда температуры поверхности почвы определяется разностью средних температур самого холодного месяца (январь) и самого теплого (июль). На ст. Алыгджер она изменяется от 37°C, в связи с обогревающим влиянием фенового эффекта в предгорьях Восточного Саяна. Такие же значения годовой амплитуды температуры поверхности почвы на метеорологических станциях Большой Ушканий и Исток Ангары, где сказывается обогревающее влияние оз. Байкал в холодный период года и охлаждающее в теплый. Максимальные перепады температур между зимним минимумом и летним максимумом отмечаются на северных станциях Наканно и Ербогачен (55–57°C).

Исследование температурного режима приземного слоя атмосферы на территории Иркутской области в период современной климатической нормы (1991–2020 гг.) было выполнено по данным 63 метеорологических станций. На большинстве из них (78%) средняя годовая температура воздуха отрицательная. В целом по территории области она варьирует от -7,3°C на самой северной станции Наканно до 1,4°C на южной ст. Иркутск – самый крупный промышленный центр области, где дополнительно сказывается влияние городского острова тепла. По сравнению с близлежащей станцией Хомутово средняя годовая температура воздуха в Иркутске выше на 1,8°C. В распределении средней годовой температуры воздуха прослеживается зональность, которая нарушается локальными очагами холода в Ка-

чугском районе, локальными очагами тепла на побережье оз. Байкал и на подветренных склонах Восточного Саяна (рис. 3).

В пространственном отношении наибольшие горизонтальные градиенты температуры воздуха между северными и южными районами Иркутской области отмечаются зимой (15–17°C), а наименьшие – летом, в июне и июле (1,5–2,0°C). Годовые амплитуды температуры воздуха, характеризующие континентальность климата, варьируют в среднем от 30°C на высокогорной станции Хамар-Дабан и байкальской ст. Исток Ангары до 50°C на севере области (Наканно). В Иркутске они составляют в среднем 37°C, что на 4°C ниже, чем в Хомутово.

Интенсивность городского острова тепла в крупном промышленном центре Иркутске, оцениваемая по разности температуры воздуха со ст. Хомутово, расположенной на удалении 25 км, достигает 4°C в январе и феврале в период господствующего влияния Азиатского антициклона. В летние месяцы температурные контрасты сглаживаются (рис. 4). Обогревающее влияние оз. Байкал, оцениваемое по разности температур прибрежной станции Исток Ангары в юго-западной оконечности озера и внутриконтинентальной станции Хомутово, расположенной в 77 км от побережья, сказывается в период с октября по март с наибольшими значениями (7°C) в декабре и январе. Охлаждающее влияние озера на прибрежные байкальские станции проявляется с апреля по сентябрь с наибольшими значениями (6°C) в июне.

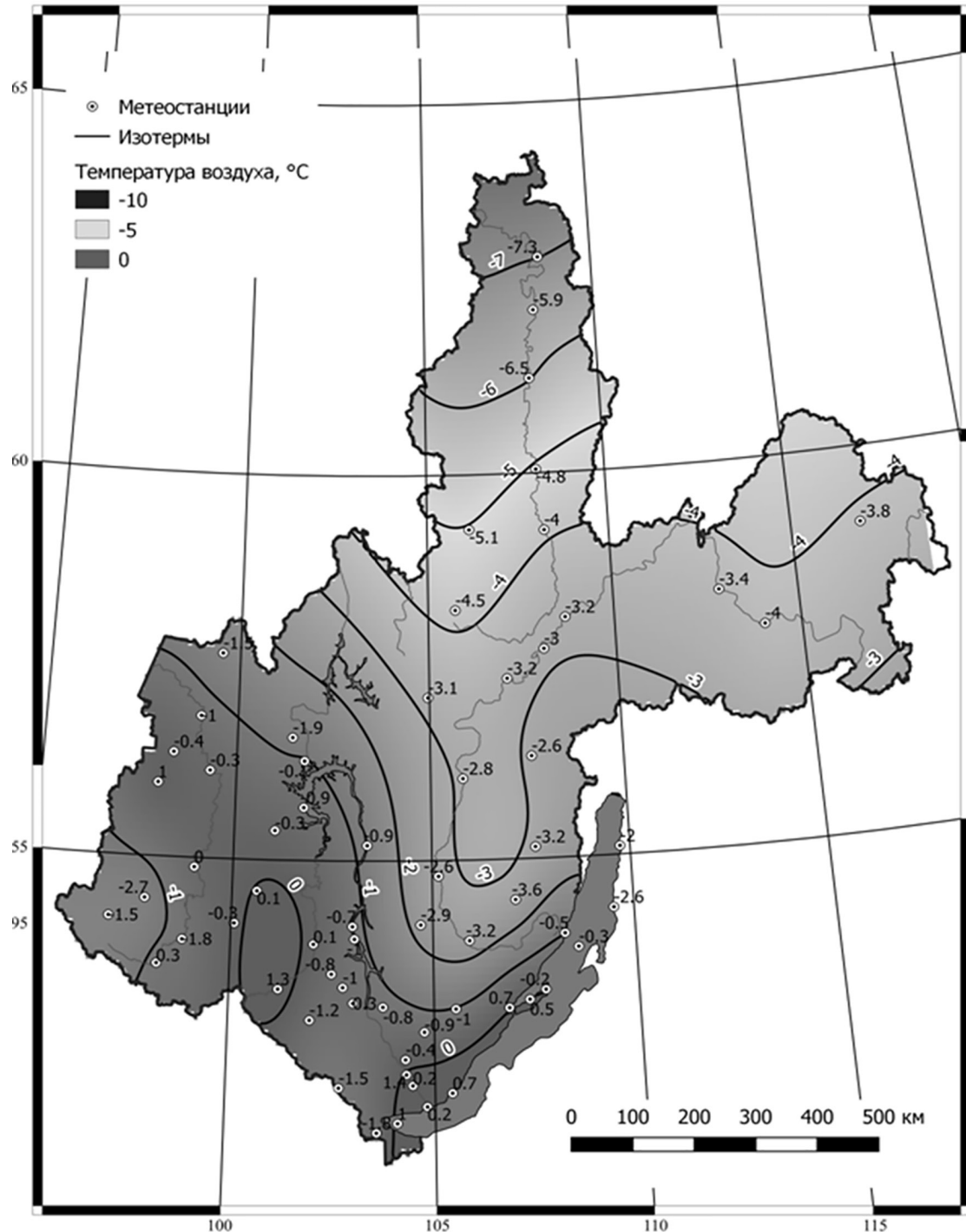


Рис. 3. Среднегодовые температуры воздуха в Иркутской области по данным 63 метеорологических станций за 1991–2020 гг.

Абсолютный минимум температуры воздуха в Иркутской области изменялся от $-61,7^{\circ}\text{C}$ на ст. Хамакар Катангского района (15 января 1966 г.) до $-35,7^{\circ}\text{C}$ на байкальской станции Большой Ушканий. Абсолютный максимум варьировал от $42,8^{\circ}\text{C}$ на станции Выдрино-на-Чуне (28 июня

1979 г.) до $28,9^{\circ}\text{C}$ на байкальской станции Большой Ушканий. В Иркутске абсолютный максимум составил $37,2^{\circ}\text{C}$ 24 июля 1915 г., а абсолютный минимум $-50,2^{\circ}\text{C}$ 12 января 1915 г. Таким образом, перепады температур на территории Иркутской области составили $104,5^{\circ}\text{C}$.

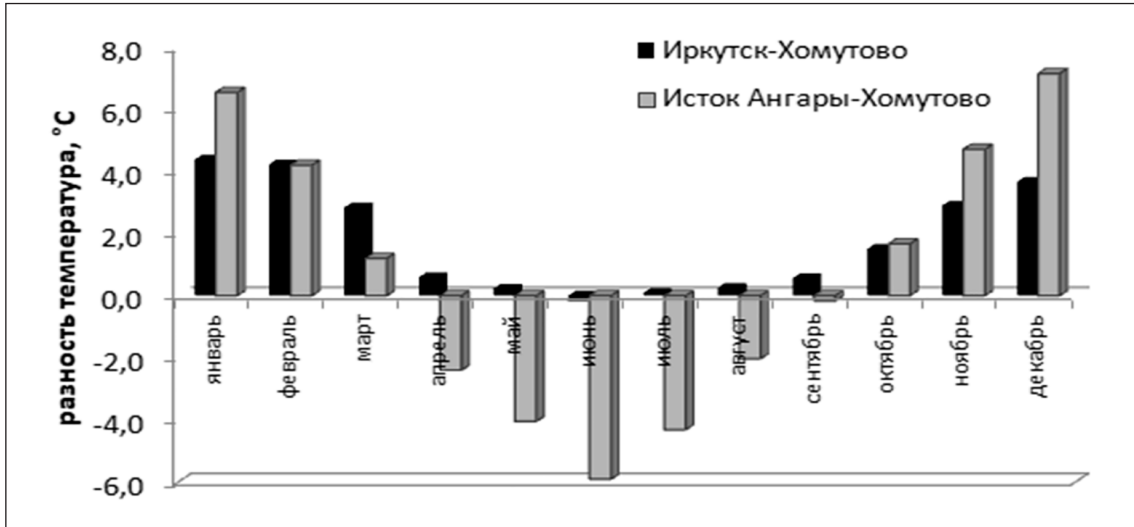


Рис. 4. Средние значения разности температуры воздуха (°C) между метеорологическими станциями Иркутской области в 1991–2020 гг.

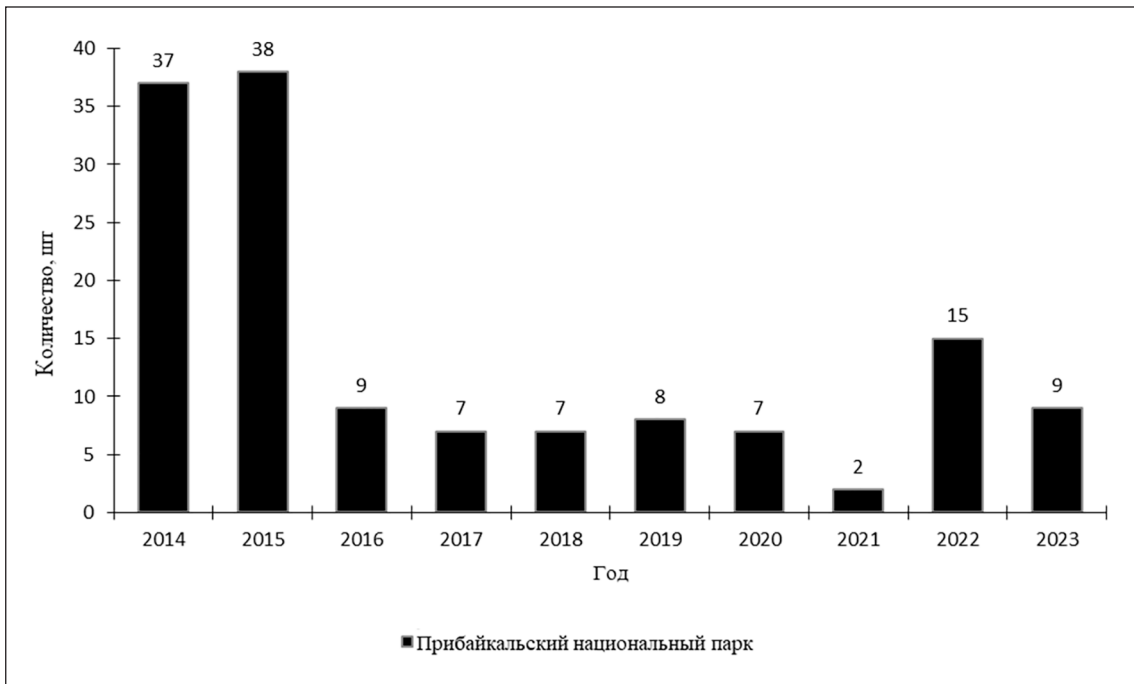


Рис. 5. Количество лесных пожаров на территории Прибайкальского национального парка за 2014–2023 гг.

Климатические особенности температурного режима воздуха и поверхности почвы оказывают значительное влияние на возникновение и распространение лесных пожаров. Также были проанализированы данные по лесным пожарам на территории Прибайкальского национального парка. В результате изучения лесопожарных данных на ООПТ можно сделать следующие

выводы, что количество и площадь лесных пожаров подвержены сильным колебаниям по годам (рис. 5). Сравнительный анализ характеристик лесных пожаров показал, что во вторую половину лета при выходе монгольских циклонов и по мере понижения температуры подстилающей поверхности число лесных пожаров постепенно уменьшалось.

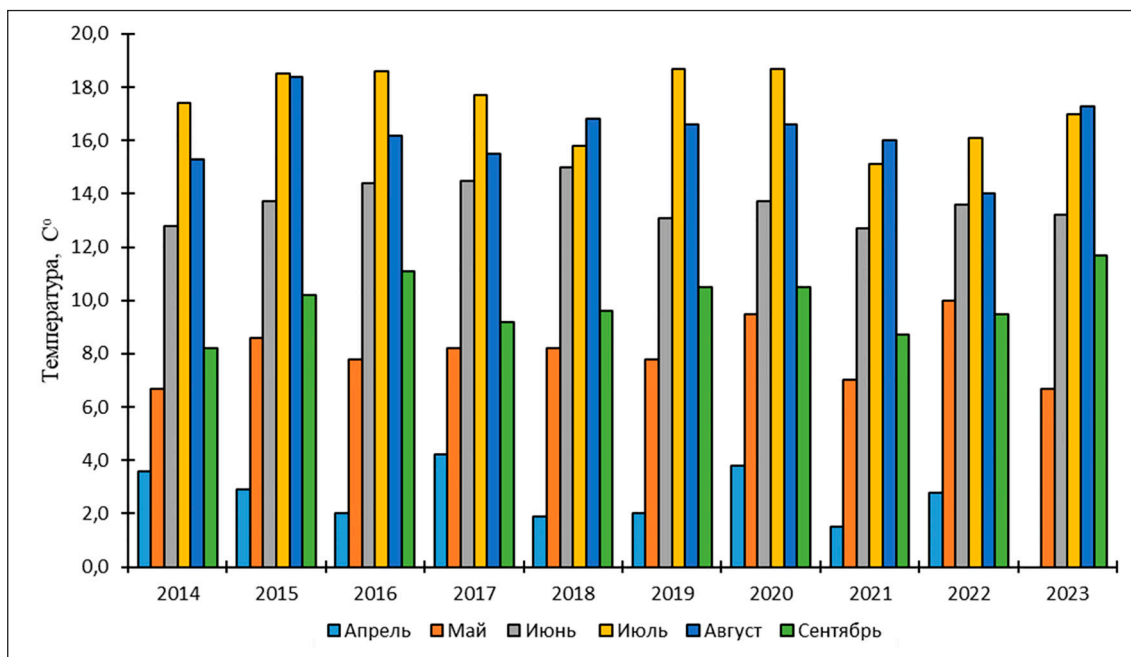


Рис. 6. Среднемесячная температура в п. Большое Голоустное по месяцам с 2014 по 2023 г.

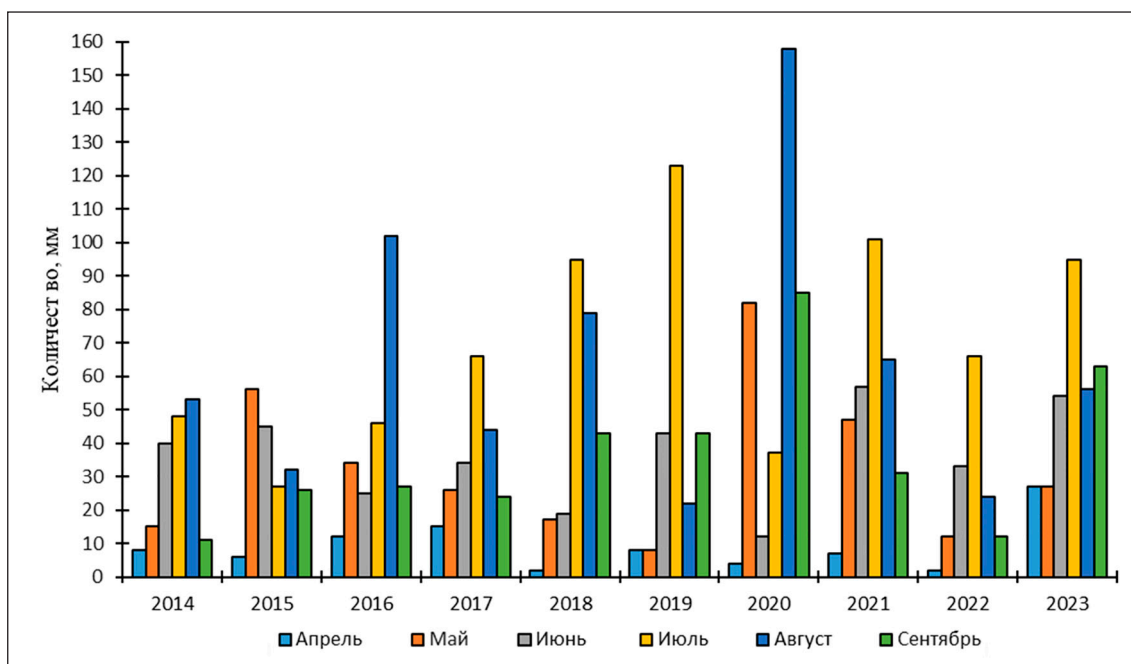


Рис. 7. Средняя сумма выпавших осадков в п. Большое Голоустное по месяцам с 2014 по 2023 г.

Эти колебания вызваны естественным циклическим характером лесных пожаров, обусловленных состоянием лесных горючих материалов, количеством влаги в них и неблагоприятными метеорологическими условиями, которые способствуют возникновению пожаров (рис. 6). Катастрофические летние пожары 2014, 2015 гг. объясняются тем, что причина установления вы-

сокого уровня горимости лесов сложилось в результате двух факторов экстремальных погодных условий (отсутствие дождей и высокая температура воздуха) (рис. 6, 7).

Заключение

Впервые для территории Иркутской области по данным действующей сети метеорологических станций получены кли-

матические характеристики температуры поверхности почвы и приземного слоя атмосферы в период новой климатической нормы (1991–2020 гг.). Выполнено картирование территории Иркутской области по новым климатическим нормам, которые учитываются в решении практических задач и научно-исследовательской деятельности, направленной на разработку оптимальных концепций развития регионов Иркутской области в условиях возросших темпов изменений климата.

Современные тенденции изменений климата Иркутской области характеризуются сохраняющимися высокими показателями континентальности климата и его пространственно-временной неоднородностью. Экстремальные характеристики климата Иркутской области, которые определяют условия жизнедеятельности человека и различных экосистем, развитие сельского хозяйства, экономики и транспорта, на поверхности почвы варьируют от максимальных отметок порядка 70 °С в лесостепной зоне Усть-Ордынского Бурятского округа до минимальных значений –68 °С в крайних северных районах области.

За последние тридцать лет на территории Иркутской области во всех районах, кроме Качугского, происходит повышение средней температуры поверхности почвы со скоростью от 0,1 °С за тридцатилетие на южной оконечности оз. Байкал до 1,7 °С в Черемховском районе, что определяет более продолжительный период вегетации растений, возможность возделывания более теплолюбивых культур, но в то же время увеличивает вероятность возникновения засух и лесных пожаров.

В распределении средних температур воздуха по территории Иркутской области аналогично поверхности почвы происходит потепление климата, которое наиболее выражено в конце зимы, что определяет снижение уровня энергопотребления в отопительный сезон, возможность обморожений, но увеличивает риск возникновения гололеда в период оттепелей и негативно сказывается на перезимовке озимых и садовых культур.

Влияние антропогенной нагрузки прослеживается в интенсивности городского острова тепла на примере крупного промышленного центра (Иркутск), которое максимальных значений (~ 4 °С) достигает в январе и феврале на фоне минимальных

температур в период господствующего влияния Азиатского антициклона и, как следствие, максимальных выбросов продуктов сгорания топлива в атмосферу, определяющих повышенный уровень загрязнения воздуха.

Значительное влияние на развитие лесных пожаров оказывает температурный режим воздуха и поверхности почвы.

Подводя итог, можно сказать, что для развития различных отраслей экономики исследование климатического режима очень важно. Климатические риски могут прямо или косвенно влиять на все субъекты экономики, например на развитие и распространение лесных пожаров. Изменения климата могут негативно повлиять на социально-экономическое развитие, продовольственную и энергетическую безопасность, качество жизни и др. Результаты этого исследования могут быть полезны для разработки стратегии адаптации и траектории развития общества и экономики в целом.

Список литературы

1. Chen L., Aalto J., Luoto M. Significant shallow–depth soil warming over Russia during the past 40 years // *Global and Planetary Change*. 2021. Vol. 197. P. 103394. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2020.103394.
2. Ozturk T., Turp M.T. Türkiye Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5 Levent Kurnaz // *Atmospheric Research*. 2017. Vol. 183 (1). P. 296–307. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.09.008.
3. Трофимова И.Е. Особенности картографирования термического режима почв сложных в орографическом отношении территорий // *Геодезия и картография. Научно-технический и производственный журнал*. 2017. № 4. С. 26–31. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-922-4-26-31.
4. Латышева И.В., Воложина С.Ж., Лощенко К.А. Циркуляционные факторы возникновения лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока летом 2019 и 2021 гг. // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. 2021. Т. 38. С. 54–70. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.38.54.
5. Слепнева Е.В., Парыгина Е.А., Кичигина Н.В. Генезис наводнений в Иркутской области. // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. 2020. Т. 34. С. 96–112. DOI: 10.26516/2073-3402.2020.34.96.
6. Иванов Я.М., Полковская М.Н. Оптимизация структуры посевов с учетом изменчивости климатических параметров и биопродуктивности культур. Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2016. 150 с.
7. Сутырина Е.Н. Особенности температурного режима оз. Байкал по данным радиометра AVHRR // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13, № 5. С. 121–130. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-121-130.
8. Мохов И.И. Взаимные изменения температуры и содержания аэрозоля в атмосфере по данным антарктических ледовых кернов для последних 800 тысяч лет // *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия*. 2023. № 3. С. 2330903. DOI: 10.55959/MSU0579-9392.78.2330903.

УДК 551.577.13:001.891.57
DOI 10.17513/use.38329

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КРИГИНГА (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

¹Галушин Д.А., ^{1,2}Громов С.А.

¹ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля»,
Москва, e-mail: galushin2012@yandex.ru

²ФГБУН «Институт географии Российской Академии Наук», Москва,
e-mail: gromov@igras.ru

Целями исследования являются пространственное моделирование и анализ химического состава осадков на основе метода кригинга для территории Иркутской области с помощью геоинформационной системы SAGA. В качестве экспериментальных оценок приводятся результаты пространственного моделирования концентраций загрязняющих веществ в атмосферных осадках (сульфатов и нитратов) на территории Иркутской области. Серии экспериментов с различными функциями интерполяции, использованными при расчетах на основе метода кригинга, позволили проверить качество пространственного моделирования с помощью схемы «перекрестной проверки» на разных временных наборах данных из-за вариаций количества станций мониторинга химического состава осадков в этом регионе за период 2003–2020 годы. Исследование показало, что при оценке первого набора данных интерполяции, который охватывает период с 2003 по 2007 годы и включает концентрации сульфатов в осадках, наиболее подходящей является Гауссова модель. Для периода 2010–2020 годы подходит использование силовой функции и линейной функции («без самородка»). Таким образом, для периода с 2003 по 2020 годы оптимальным решением будет использовать комбинацию Гауссовой и линейной функций без самородка. Эти расчеты подтверждают, что при использовании метода кригинга необходимо тщательно подбирать функцию, основываясь на модельной вариограмме для каждого года наблюдений.

Ключевые слова: геоинформационные системы, химический состав осадков, загрязнение атмосферы, кригинг, Иркутская область,

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)». Оценка данных моделирования сделана в работах по Госзаданию FMWS-2024-0009 №1023032700199-9 Института географии РАН.

SPATIAL MODELING AND ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION BASED ON THE KRIGING METHOD (ON THE EXAMPLE OF THE IRKUTSK REGION)

¹Galushin D.A., ^{1,2}Gromov S.A.

¹Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, e-mail: galushin2012@yandex.ru

²Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: gromov@igras.ru

The purpose of the study is spatial modeling and analysis of the chemical composition of precipitation based on the Kriging method for the territory of the Irkutsk region using the SAGA geoinformation system. The results of spatial modeling of concentrations of pollutants in atmospheric precipitation (sulfates and nitrates) in the Irkutsk region are presented as experimental estimates. A series of experiments with various interpolation functions used in calculations based on the Kriging method allowed us to verify the quality of spatial modeling using a «cross-validation» scheme on different time datasets due to variations in the number of stations monitoring the chemical composition of precipitation in this region over the period 2003–2020. The study showed that when evaluating the first set of interpolation data, which covers the period from 2003 to 2007 and includes sulfate concentrations in precipitation, the Gaussian model is the most appropriate. For the period 2010–2020, the use of a power function and a linear function («without a nugget») is suitable. Thus, for the period from 2003 to 2020, the optimal solution would be to use a combination of Gaussian and Linear functions without a nugget. These calculations confirm that when using the Kriging method, it is necessary to carefully select the function based on the model variogram for each year of observations.

Keywords: geoinformation systems, chemical composition of precipitation, atmospheric pollution, Irkutsk region, kriging

The study was carried out within the framework of the R&D topic АААА-А20-120013190049-4 “Development of methods and technologies for monitoring environmental pollution due to transboundary transport of pollutants (UNECE: EMEP, ICP KM) and acid deposition in East Asia (EANET)”. The modeling data was assessed in the works on the State assignment FMWS-2024-0009 No. 1023032700199-9 of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences.

Введение

Геоинформационные системы открыли новые горизонты в научных исследованиях. На ранних этапах развития метеорологии, климатологии и геоэкологии главным источником информации были инструментальные наблюдения, проводимые с помощью аналоговых приборов, таких как термометры, осадкомеры и барометры. Единственным статистическим методом обработки данных было их усреднение за определенные периоды – неделю, декаду или месяц. Однако такой подход не позволял учитывать пространственно-временные изменения параметров [1].

С появлением возможностей совмещения по времени однотипных наблюдений, а позднее – использования моделирования появилась возможность визуализировать распределение данных в пространстве в виде карты. Это значительно упростило анализ как пространственных особенностей процессов, так и динамики изменений.

Методы геостатистики, основанные на математических моделях и учитывающие пространственную автокорреляцию, позволяют не только создать поверхность интерполяции по наборам значений характеристик, но и оценить качество проведенной интерполяции в количественном выражении.

Ключевой моделью в геостатистике является кригинг, названный в честь инженера Д. Крига, который первым применил этот метод для анализа золотых месторождений в Южной Африке. Как продемонстрировал Д. Матерон, кригинг обеспечивает минимизацию суммы квадратов отклонений прогнозируемых значений от фактических значений пространственной переменной [2, с. 270]. Применение этого метода широко распространено в исследованиях воздействия атмосферного загрязнения для получения пространственных результатов оценок, в частности поступления веществ в природные экосистемы и сравнения с критическими нагрузками [3, с. 648].

Существует множество разновидностей кригинга: простой, ординарный, индикаторный, универсальный и др. В практической деятельности обычно применяют простой или ординарный кригинг. Основное различие между ними заключается в том, что при использовании простого кригинга предполагается, что детерминистическая компонента остается постоянной и известной на всей исследуемой территории. В то же время, при ординарном кригинге

неизвестным остается среднее значение. Для локальных задач также выдвигается гипотеза о том, что среднее значение меняется только в непосредственной близости от точки оценки.

В данной работе представлено использование метода кригинга как одного из самых эффективных для моделирования, который позволяет создавать цифровую поверхность с высокой точностью даже в условиях неравномерного расположения сетей мониторинга, таких как наблюдения за химическим составом осадков (ХСО).

Целями исследования являются пространственное моделирование и анализ химического состава осадков на основе метода кригинга для территории Иркутской области с помощью геоинформационной системы SAGA.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) сбор и систематизация многолетних данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферных осадках на основе публикаций Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова;
- 2) изучение алгоритмов работы модуля кригинга в ГИС SAGA;
- 3) исследование влияния изменений параметров настройки кригинга на результаты интерполяции;
- 4) выбор оптимальных функций интерполяции данных методом кригинга для каждого года наблюдений.

Материал и методы исследования

В рамках эксперимента по интерполяции данных были использованы сведения о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферных осадках на территории Иркутской области за несколько временных периодов: с 2003 по 2007 годы, с 2008 по 2020 годы и с 2010 по 2020 годы.

Такая периодичность обусловлена тем, что модуль в геоинформационной системе не позволяет проводить интерполяции с использованием точек, где были пропущены годы. Сами SDAT-файлы для дальнейшей оценки интерполяции были сформированы по годам.

Таким образом, в начале первого периода в регионе функционировали четыре станции мониторинга ХСО: Хамар-Дабан, Черемхово, Хужир и Саянск (без учета станции Иркутск). В 2008 году начали работать две новые станции – Исток Ангары и Байкальск, а в 2010 году – станция Большое Голоустное [4, с. 31; 5, с. 32].

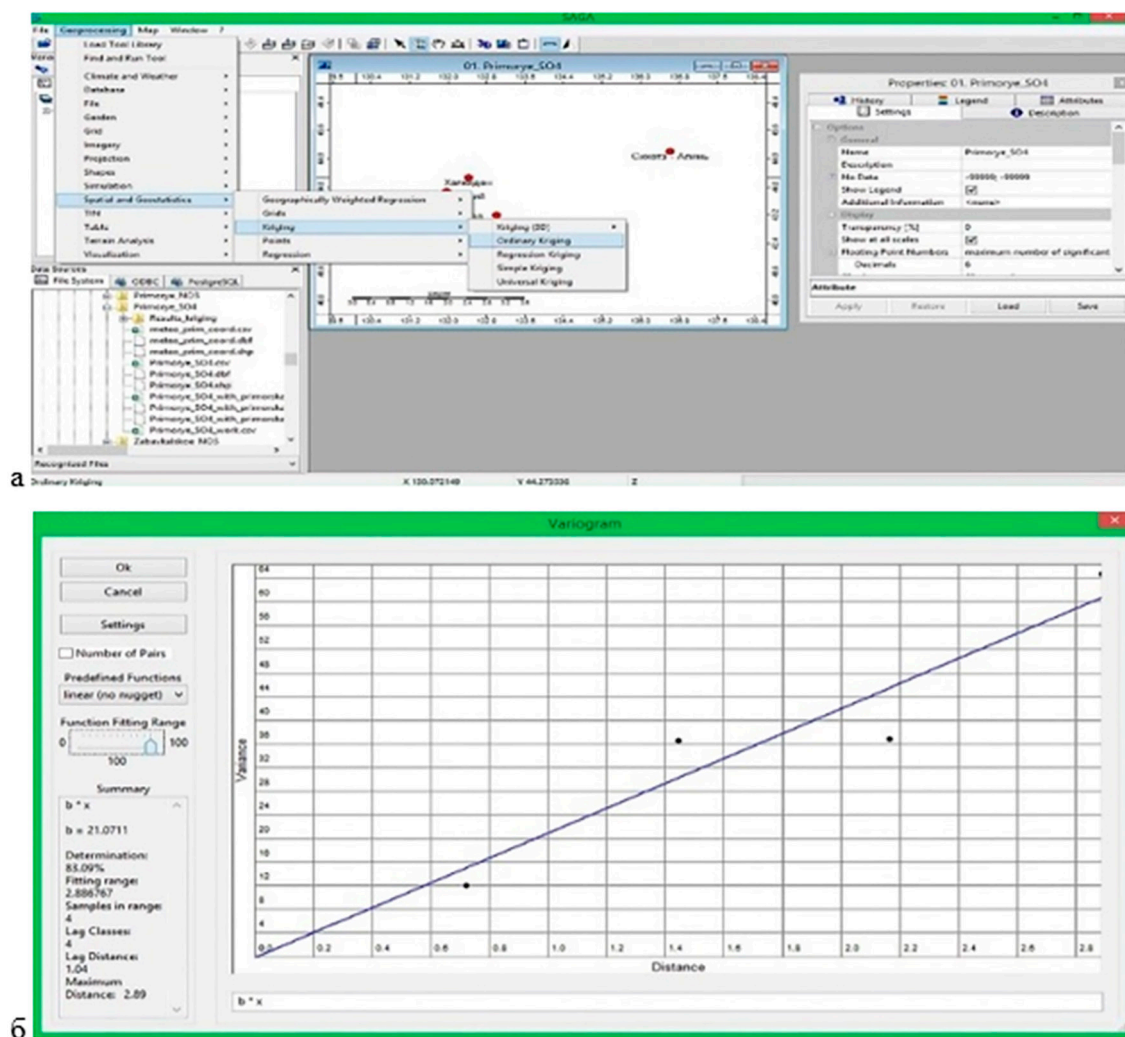


Рис. 1. Расположение модуля ординарного кригинга в ГИС Saga (а) и вариограмма данных (б)

Для проверки точности интерполяции используется метод перекрестной проверки. Он заключается в том, что в процессе интерполяции исключается одна точка с уже известными данными, полученными по наблюдениям на этой станции. Далее проводится интерполяция в этой точке, и интерполированные значения сравниваются с данными, которые были исключены из процесса [6, с. 461].

Выбор программного комплекса SAGA обусловлен его преимуществами: он является дополнительной ГИС к основному комплексу QGIS, имеет открытый исходный код, который можно использовать для развития других ГИС, а также его можно скачивать и использовать безвозмездно, что особенно важно для научных исследований [7, с. 57].

Метод кригинга можно выбрать в программе SAGA через меню Geoprocessing – Spatial and Geostatistica – Kriging – Ordinary Kriging (рис. 1а).

В настройках обычного кригинга необходимо указать слой, из которого будет происходить интерполяция, атрибут, который требуется интерполировать, а также границы эксперимента. В качестве точек для интерполяции используются станции ХСО, данные которых содержат сведения о координатах и концентрациях веществ за каждый год. Из атрибутов выбирается год, который подлежит интерполяции.

Можно ограничить границы эксперимента слоем с точками или указать пользовательские координаты. Для Иркутской области – это полигон с диапазоном границ от 100 до 109,5° в.д. и от 51 до 55° с.ш. Размер одной ячейки интерполированной поверхности составляет 0,001°. При указании необходимых параметров настройки автоматически производится расчет количества столбцов и строк предполагаемой поверхности. После подтверждения задан-

ных параметров на экране появляется вариограмма (рис. 16).

В геоинформационной системе SAGA работа с вариограммой осуществляется через выбор модельной функции (линейная, сферическая, Гаусса и др.) и диапазона ее установки – расстояния до конкретной точки, на которой будет проводиться аппроксимация [8, с. 179].

В качестве выходных данных ГИС предоставляет информацию о формуле, используемой в модели, а также о коэффициенте детерминации. Кроме того, на экран выводятся сведения о диапазоне установки в единицах измерения карты (обычно это единицы выбранной координаты), количестве образцов в этом диапазоне, количестве радиусов влияния (lag classes), расстоянии радиуса влияния и максимальной дистанции (рис. 16).

Авторами было апробировано по 10 различных моделей интерполяционных функций для каждого года наблюдения в период с 2003 по 2020 годы, которые включали в себя линейную, линейную без эффекта самородка (linear non nugget), кубическую, экспоненциальную, Гауссову, логарифмическую, силовую, сферическую, квадратичную и стабильную модели [9, с. 33].

Таким образом, только для концентраций сульфатов в осадках в Иркутской области было получено 180 интерполяционных поверхностей (10 моделей * 18 лет), пример которых представлен на рисунке 2. Если добавить поверхности для нитратов, то общее их количество достигнет 360 (рис. 2).

Чтобы вычислить модельное значение в отсутствующей точке, авторы использовали QGIS для расшифровки SDAT-файлов. Для каждого года и типа модели были составлены таблицы с модельными значениями сульфатов и нитратов. Затем авторы создали итоговую таблицу, в которой сравнили исходные данные для рассматриваемого пункта и значения, полученные в результате интерполяции.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе первого набора данных интерполяции, который охватывает период с 2003 по 2007 годы и включает концентрации сульфатов в осадках, можно прийти к выводу, что лучшей моделью для этой задачи является Гауссова модель. Корреляция между этой моделью и исходными данными составляет 0,92, что является высоким показателем среди всех созданных интерполяционных моделей. Однако, учитывая небольшое количество станций, не удалось провести интерполяцию на 2007 год с использованием Гауссовой модели. Другие модели продемонстрировали менее удовлетворительные результаты:

- силовая и сферическая модели показали отрицательную корреляцию;
- кубическая модель не смогла провести интерполяцию, и ее результаты невозможно оценить;
- линейная и квадратичная модели оказались наименее качественными, их процент составляет менее 30%, что является низким показателем (табл. 1).

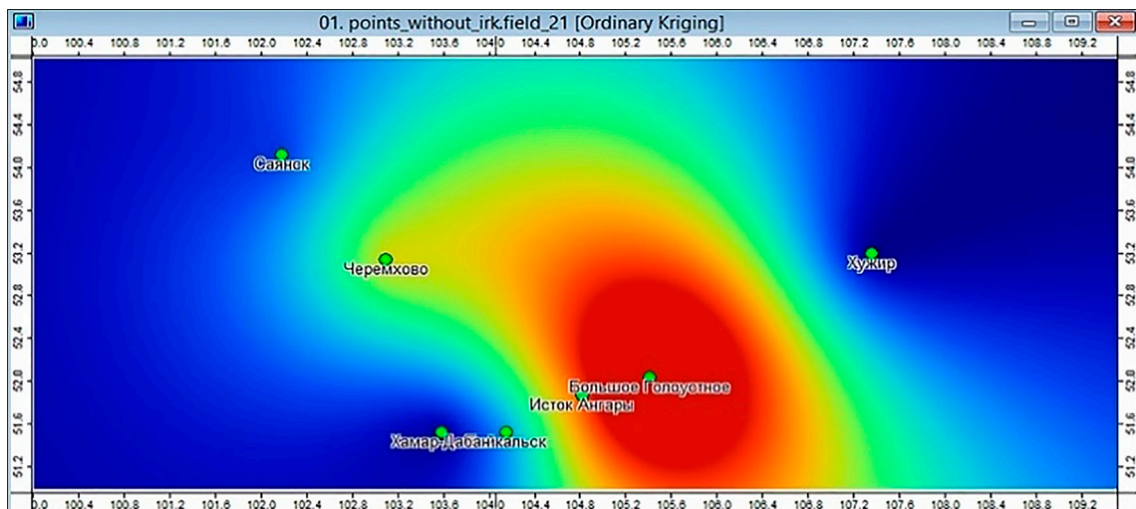


Рис. 2. Результат интерполяции данных измерений компонента ХСО на территории Иркутской области в 2020 году

Таблица 1

Сравнение и корреляция модельных данных, полученных при использовании метода кригинга, с исходной информацией (измеренными значениями) для сульфатов на станции Иркутск

Годы	Исходные данные	Линейная («без самородка»)	Гаусса	Логарифмическая	Силовая	Стабильная
2003	6,28	12,82	10,68	10,62		10,68
2004	3,52	8,97	7,23	7,02		7,22
2005	3,44	5,98	5,19	4,51		4,77
2006	3,29	8,31	6,9	6,89		6,89
2007	6,19	4,84		4,13	5,23	4,64
2008	4,5	9,99	13,74	8,84	2318,38	14,49
2009	4,45	6,75	5	6,09	5,67	5,36
2010	7,08	8,91	6,35	8,5	17,07	7,59
2011	4,07	7,12	5,95	6,3	7,24	6,09
2012	4,27	6,38	6,86	6,25	4,72	5,96
2013	5,08	8	5,51	6,53	6,38	7,44
2014	5,35	8,95	8,14	9,02	7,24	7,82
2015	5,41	8,41	6,71	7,74	5,83	7,03
2016	5,53	8,93	6,69	7,91	4,76	8,24
2017	3,75	6,82	5,29	6,14	3,18	5,29
2018	3,64	6,99	8,53	6,71	-3,24	6,69
2019	5,06	7,82	6,03	7,25	5,35	7,59
2020	4,44	9,47	11,06	8,84	7,22	9,02
Корреляция 03 – 20	1	0,32	0,12	0,40	-0,12	0,22
Корреляция 03 – 07	1	0,21	0,92	0,28		0,32
Корреляция 10 – 20	1	0,67	-0,15	0,63	0,81	0,51
Корреляция 08 – 20	1	0,52	-0,14	0,54	-0,10	0,15

Авторами проведен анализ регрессионной статистики с использованием исходных данных и Гауссовой модели. Как и ожидалось, качество интерполяции оказалось на уровне 92%.

Коэффициент детерминации (R-квадрат) составил 0,84, что свидетельствует о том, что в 84% случаев модельные расчеты зависели от исходных значений на соседних станциях. Стандартная ошибка оказалась равной 1,11, что означает отклонение модельных данных от линии регрессии на 1,11 единицы (рис. 3(1)).

Анализируя результаты моделирования сульфатов за период с 2010 по 2020 годы, можно отметить, что силовая модель демонстрирует хорошие показатели корреляции. Коэффициент корреляции равен 0,81, что свидетельствует о качестве модели в 81%. Однако в проинтерполированных данных за 2018 год концентрация имеет отрицательное значение, что противоречит дей-

ствительности. Также следует отметить, что полученные значения в 2010 году были значительно завышены – 17,07 мг/л.

На втором месте по качеству интерполяции расположилась линейная модель «без использования самородка». Ее корреляция с исходными данными составляет 67%, что является вполне удовлетворительным уровнем качества. Коэффициент детерминации равен 44% и демонстрирует, насколько исходные данные влияют на модель функции. Стандартная ошибка составляет 0,81 единицы. Р-значение регрессии меньше 0,05, что свидетельствует о статистической значимости интерполяционной модели (рис. 3(2)).

В ходе следующего эксперимента авторы рассмотрели период с 2003 по 2020 годы. Сравнивая исходные данные с функциями моделей, они пришли к выводу, что ни одна из них не соответствует 50%-му критерию качества.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,91918279							
R-квадрат	0,844897001							
Нормированный R-квадрат	0,767345501							
Стандартная ошибка	1,110011307							
Наблюдения	4							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	13,42358058	13,42358058	10,89465717	0,08081721			
Остаток	2	2,464250205	1,232125103					
Итого	3	15,88783079						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	1,408517894	1,927404545	0,730784773	0,540926515	-6,884434534	9,701470321	-6,884434534	9,701470321
Переменная X 1	1,474249111	0,44664666	3,300705556	0,08081721	-0,447516358	3,396014581	-0,447516358	3,396014581

1) Исходные данные и функция Гаусса (2003 - 2007)

1

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,667921439							
R-квадрат	0,446119049							
Нормированный R-квадрат	0,384576721							
Стандартная ошибка	0,814911671							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	4,813909516	4,813909516	7,248979105	0,024699521			
Остаток	9	5,976729277	0,664081031					
Итого	10	10,79063879						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	4,573621175	1,28925682	3,54748651	0,006240426	1,657119626	7,490122724	1,657119626	7,490122724
Переменная X 1	0,698271623	0,259349831	2,692392821	0,024699521	0,111581545	1,2849617	0,111581545	1,2849617

2) Исходные данные и Линейная функция без самородка (2010 - 2020)

2

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,699267184							
R-квадрат	0,488974594							
Нормированный R-квадрат	0,454906234							
Стандартная ошибка	1,061261369							
Наблюдения	17							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	16,1651513	16,1651513	14,35274808	0,001784698			
Остаток	15	16,8941354	1,126275693					
Итого	16	33,05928669						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	3,471976276	1,200403175	2,892341796	0,011166729	0,913377473	6,030575078	0,913377473	6,030575078
Переменная X 1	0,95393153	0,25179649	3,78850209	0,001784698	0,417240015	1,490623045	0,417240015	1,490623045

3) Исходные данные и комбинированная функция (Гаусса + Линейная) для 2003 - 2020 гг.

3

Рис. 3. Регрессионная статистика по сульфатам между исходными данными и модельными расчетами на ст. Иркутск по функциям: 1 – для функции Гаусса (2003–2007 гг.), 2 – Линейная функция (без самородка) (2010–2020 гг.), 3 – Комбинированная функция (Гаусса + Линейная) для 2003–2020 гг.

Кубическая модель наиболее близка к 50% (результат корреляции составляет 48%), однако из 18 лет наблюдения было смоделировано только 6. Из них 5 интерполяции относятся к периоду с 2010 по 2020 годы.

Линейная (без самородка) и логарифмическая модели демонстрируют качество 32% и 40% соответственно. Однако следу-

ет отметить, что хорошие результаты моделирования эти функции показали в период с 2010 по 2020 годы (~60%). В начальный период их корреляционная зависимость была крайне слабой (21–28%).

Таким образом, для оценки качества интерполяции в долгосрочной перспективе (18 лет) имеет смысл использовать различные функции.

Таблица 2

Корреляция модельных данных с исходной информацией по нитратам на станции Иркутск методом Кригинга

Годы	Исходные данные	Линейная	Линейная (без самородка)	Кубическая	Экспоненциальная	Гаусса	Логарифмическая	Силловая	Сферическая	Квадратичная	Стабильная
2003	1,65	1,09	1,11			1,10	1,08	1,09		1,09	1,09
2004	1,23	1,23	1,23		1,16		1,21	1,24		1,22	1,21
2005	1,67	0,92	0,72			0,93	0,93			0,93	0,93
2006	1,80	1,15	1,17				1,14			1,14	1,14
2007	2,83	1,16	1,18			1,16	1,16	1,16		1,16	1,16
2008	1,96	1,32	1,51	1,34	1,39	1,25	1,39	1,24	1,37	1,39	1,34
2009	1,67	1,48	1,71	1,48	1,51	1,39	1,52	1,28	1,50	1,52	1,50
2010	2,08	1,68	1,63	2,26	1,51	2,98	1,70	1,69		1,69	1,53
2011	1,60	1,62	1,71	1,65	1,60	1,67	1,64	1,64	1,65	1,64	1,66
2012	1,65	1,86	1,86	2,04	1,70	2,07	1,78	1,74	1,87	1,62	1,82
2013	1,79	1,56	1,62	1,62	1,57	1,53	1,56	1,16	1,59	1,56	1,57
2014	1,91	2,11	1,95	1,90	6,94	1,84	1,41	2,27	2,18	0,88	2,26
2015	3,04	1,80	1,77	1,94	1,77	1,92	1,72	1,52	1,82	1,68	1,80
2016	2,65	1,63	1,58	1,50	1,60	1,57	1,55	1,37	1,49	1,47	1,56
2017	1,74	1,84	1,77	2,03	2,15	2,02	2,07	1,70	1,91	2,08	2,15
2018	1,29	2,15	2,13	2,29	2,29	2,32	1,96	2,34	2,07	2,27	2,54
2019	1,44	1,91	1,93	2,07	3,71	1,98	2,45	5,21	1,90	2,47	1,87
2020	1,71	1,86	2,10	1,97	1,98	1,97	1,92	1,76	2,26	1,91	1,98
Корреляция 03 – 20	1,00	-0,06	-0,10	-0,24	-0,06	-0,11	-0,16	-0,30	-0,27	-0,22	-0,15
Корреляция 03 – 07	1,00	0,04	0,12			0,69	0,09	-0,29		0,06	0,08
Корреляция 10 – 20	1,00	-0,36	-0,52	-0,36	-0,16	-0,14	-0,45	-0,42	-0,37	-0,43	-0,44
Корреляция 08 – 20	1,00	-0,24	-0,45	-0,24	-0,14	-0,08	-0,38	-0,38	-0,27	-0,40	-0,35

В результате эксперимента и анализа корреляции авторы пришли к выводу, что для периода с 2003 по 2020 годы оптимальным решением будет использовать комбинацию Гауссовой и Линейной функций без самородка. Этот метод позволит получить наиболее точные интерполяционные данные по содержанию сульфатов.

Корреляция между исходными данными и результатами модели составила 0,70, а влияние соседних станций на моделирование – 0,48. Для станции Иркутск расчетные данные отклонятся от линии регрессии на 1,06 единицы.

Статистическая значимость F-критерия достигает 0,001%, что говорит о наличии очень сильной и статистически значимой связи между двумя типами данных (рис. 3(3)).

В ходе эксперимента по интерполяции нитратов авторами рассмотрены периоды с 2003 по 2007 годы, с 2010 по 2020 годы и с 2003 по 2020 годы в целом (табл. 2).

Нельзя однозначно утверждать, что какая-либо одна функция идеально подходит для интерполяции, поскольку в двух временных рядах (2003–2007 и 2010–2020) были обнаружены отрицательные значения корреляции.

В период с 2003 по 2007 годы зависимость модельных данных от исходных варьировала от 3 до 11% в зависимости от используемой модели. Поэтому авторы старались подобрать для каждого года наблюдения только ту модель, которая наиболее точно соответствует исходным данным, как показано на рисунке 4.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,716539555							
R-квадрат	0,513428934							
Нормированный R-квадрат	0,478673858							
Стандартная ошибка	0,724380361							
Наблюдения	16							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	7,751672733	7,751672733	14,77277539	0,001790215			
Остаток	14	7,346176695	0,524726907					
Итого	15	15,09784943						
Кoeffициенты								
	Кoeffициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
У-пересечение	-1,959968148	1,001222559	-1,957574898	0,070519299	-4,107376963	0,187440667	-4,107376963	0,187440667
Переменная X 1	2,176022203	0,566150995	3,843536833	0,001790215	0,961749085	3,390295322	0,961749085	3,390295322

Рис. 4. Регрессионная статистика по концентрациям нитратов между исходными данными наблюдений и результатами комбинированных модельных расчетов на ст. Иркутск

В результате авторы объединили несколько интерполяционных моделей в единый ряд: для 2003 и 2005 годов использовалась Гауссова модель; для 2004 и 2009 годов – линейная модель без самородка; для 2006 года – логарифмическая модель; для 2008, 2011 и 2016 годов – линейная модель; для 2010, 2013 и 2014 годов – кубическая модель; для 2017 и 2020 годов – силовая модель; для 2018 года – сферическая модель; для 2019 года – стабильная модель.

Для 2007 и 2015 годов авторам не удалось подобрать подходящую модель интерполяции, так как расхождения между модельными и фактическими данными составили 1,5–2,5 раза.

Объединив различные модели в один ряд и проведя корреляцию с исходными данными, авторы получили качество интерполированного ряда на уровне 71%. Коэффициент детерминированности при этом составил 51%. Стандартная ошибка, отражающая отклонение ряда от прямой линии регрессии, равна 0,72. Уровень значимости F для модельного ряда оказался равным 0,001, что свидетельствует о статистической значимости регрессионной модели (рис. 4).

Выводы

1. Метод кригинга является наиболее приемлемым и информативным для моделирования пространственной интерполяции концентраций загрязняющих веществ в атмосферных осадках на региональном уровне.

2. Для периода с 2003 по 2007 годы, по данным четырех станций химического анализа осадков в Иркутской области, Гауссова функция оказалась лучшей для моделирования концентраций сульфатов на станции Иркутск.

3. Для десятилетия с 2010 года, когда количество станций мониторинга увеличилось до семи, оптимальной функцией стала линейная модель (без учета эффекта самородка).

4. Перекрестная проверка результатов моделирования с исходными данными за весь период с 2003 по 2020 годы выявила слабую корреляционную связь, а при выборе некоторых функций метода кригинга даже показала отрицательные значения корреляции результатов.

5. Для моделирования концентраций нитратов в период с 2003 по 2007 годы отлично подходит Гауссова функция, коэффициент корреляции составляет 0,69. В другие периоды наблюдается отрицательная корреляция по нитратам на станции Иркутск.

Заключение

Исследование показало, что метод кригинга является наиболее эффективным для моделирования пространственной интерполяции концентраций загрязняющих веществ в атмосферных осадках на региональном уровне. Для каждого года наблюдений требуется тщательно подбирать функцию, основываясь на модельной вариограмме.

Результаты исследования позволяют оценить уровень загрязнения атмосферных осадков и выявить источники выбросов. Это, в свою очередь, является основой для разработки и реализации природоохранных мероприятий, направленных на снижение антропогенного воздействия на экосистему.

Полученные данные представляют значительный интерес для ученых и специалистов в области экологии и охраны окружающей среды. Они могут быть использованы для проведения дальнейших научных изысканий и разработки новых методов мониторинга.

Список литературы

1. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 245 с.
2. Захарян Ю.Г. Геоestatистика: Изменение климата и агротехнологии. СПб.: Наука, 2022. 455 с.
3. Nanus L., McMurray D.W., Clow D.W., Saros J.E., Blett T., Gurdak J.J. Spatial variation of atmospheric nitrogen deposition and critical loads for aquatic ecosystems in the Greater Yellowstone Area // *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 223. P. 644-656. DOI: 10.1016 /j.envpol.2017.01.077.
4. Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Семенец Е.А. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016-2020 гг.: монография. СПб.: Амирит, 2021. 114 с.
5. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т., Семенец Е.С. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011 – 2015 гг.: монография. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. 116 с.
6. Васильев А.А., Чашин А.Н., Лобанова Е.С. Пространственное моделирование магнитной восприимчивости почв центральной части г. Перми // *Социально-экологические технологии*. 2021. Т. 11, № 4. С. 450-469. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-4-450-469.
7. Новикова А.М., Каширина Е.С., Новиков А.А., Полонский А.Б., Панкеева Т.В. ГИС в морских исследованиях: мировой опыт и возможности его применения на примере Черноморского региона // *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – Природного заповедника РАН*. 2017. № 1(3). С. 54-66. DOI: 10.21072/eco.2021.03.05.
8. Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П. К вопросу автоматизации построения вариограмм в задачах точного земледелия // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2020. Т. 16, № 2. С. 177-185. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2020.209.
9. Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П. Применение методов геостатистики для анализа целесообразности перехода к технологиям дифференцированного внесения агрохимикатов // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2020. Т. 16, № 1. С. 31-40. DOI: 10.21638/11702/spbu10.2020.103.

УДК 502/504:628.4.02
DOI 10.17513/use.38330

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

¹Дега Н.С., ¹Петров Н.В., ^{1,2}Теунаев О.Х.

¹ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: dega999@mail.ru, 5532874@mail.ru;

²ООО «Чистый город», Карачаевск, e-mail: chistyi_gorod_kchr@mail.ru

Цель данного исследования заключается в анализе состояния показателей переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе и разработке инновационных подходов к решению проблем переработки твердых коммунальных отходов в данном регионе. Для достижения поставленных целей в ходе исследования проведены обзор литературы, тематические исследования, анализ данных и разработка предложений по внедрению инновационных подходов. В работе основное внимание уделяется анализу существующих практик обращения с твердыми коммунальными отходами на данной территории и разработке инновационных подходов для улучшения ситуации в области обращения с ними. Для решения проблемы управления твердыми коммунальными отходами рекомендуется реализовать такую меру, которая будет включать в себя как государственно-частное партнерство, так и вовлечение общественности, просветительские мероприятия: проведение фестивалей вторичной переработки, которые заинтересуют не только местное население, но и большую часть туристов. Предлагаемые в статье инновационные подходы будут способствовать повышению вовлеченности общественности и ответственному обращению с отходами местного населения и туристов, что благоприятно скажется на минимизации проблем переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, Северный Кавказ, проблемы, переработка, инновационные решения

INNOVATIVE APPROACHES TO SOLVING PROBLEMS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING IN THE NORTH CAUCASUS

¹Dega N.S., ¹Petrov N.V., ^{1,2}Teunaev O.Kh.

¹Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Karachaevsk,
e-mail: dega999@mail.ru, 5532874@mail.ru;

²Clean City Limited Liability Company, Karachaevsk, e-mail: chistyi_gorod_kchr@mail.ru

The purpose of this study is to analyze the status of municipal solid waste recycling indicators in the North Caucasus and to develop innovative approaches to solving the problems of municipal solid waste recycling in the region. In order to achieve these goals, the study includes a literature review, case studies, data analysis, and proposals for innovative approaches. The work focuses on the analysis of existing practices for the management of municipal solid waste in this area and the development of innovative hikes to improve the situation in the field of their management. To solve the problem of managing municipal solid waste, it is recommended to implement such a measure, which will include both public-private partnerships and public involvement, educational events and recycling festivals that will interest not only the local population, but also most of the tourists. The innovative approaches proposed in the article will contribute to increasing public involvement and responsible waste management of the local population and tourists, which will have a beneficial effect on minimizing the problems of recycling municipal solid waste in the North Caucasus.

Keywords: solid municipal waste, North Caucasus, problems, recycling, innovative solutions

Введение

Территория Северного Кавказа характеризуется разнообразием ландшафтов, культурным наследием и растущей привлекательностью для туристов. Однако этот регион также сталкивается с проблемами, связанными с обращением с твердыми коммунальными отходами, так как их наиболее значительные объемы образуются в густонаселенных и посещаемых туристами районах. М.Р. Габараева, З.Х. Хосаева [1] анализируют состояние туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа

(СКФО) и определяют потенциальные области для развития. Авторы подчеркивают важность практик устойчивого туризма, которые включают инновационные решения по управлению отходами. Б.А. Демильханова [2] признает необходимость инновационных подходов к управлению отходами как ключевого аспекта экологической устойчивости.

В целом, эти и другие авторы внесли свой вклад в тему исследования, осветив экологические проблемы, связанные с твердыми отходами на территории Северного Кавказа, подчеркнув важность инноваци-

онных решений по обращению с отходами и предложив методологические подходы для оценки инновационных практик. Их исследования закладывают основу для дальнейшего изучения и разработки инновационных подходов к переработке ТКО в регионе.

Для эффективного решения рассматриваемой проблемы требуются инновационные и устойчивые подходы. Поэтому **основная цель данного исследования** заключается в анализе состояния показателей переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе и разработке инновационных подходов к решению проблем переработки ТКО в данном регионе.

Материал и методы исследования

В качестве информационных источников использовались аналитические и статистические материалы министерств природных ресурсов и охраны окружающей среды субъектов СКФО (Государственные доклады о состоянии и об охране окружающей среды за 2020–2022 гг.) и Федеральной службы государственной статистики РФ и ее территориальных органов [3–10]. Для достижения поставленных целей в ходе исследования проведены обзор литературы, тематические исследования, анализ данных и разработка предложений по внедрению инновационных подходов.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ состояния показателей переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе. Северный Кавказ известен своими оживленными населенными пунктами, а именно такими крупными городами, как Грозный, Владикавказ и Пятигорск, где урбанизация и индустриализация обуславливают значительный вклад в образование ТКО. Высокая концентрация населения в этих районах способствует росту потребления и, как следствие, увеличению количества отходов на душу населения. А отсутствие надлежащей инфраструктуры по обращению с отходами в некоторых городских районах усугубляет проблему, что приводит к трудностям с удалением и переработкой отходов [11].

На протяжении многих лет на Северном Кавказе развивалась инфраструктура переработки отходов, направленная на решение проблем управления отходами. Для эффективной переработки материалов, пригодных для вторичной переработки, и органических

отходов были созданы перерабатывающие предприятия, сортировочные центры и площадки для компостирования. На данный момент в регионе построено шесть объектов инфраструктуры. Совокупная мощность объектов, введенных в эксплуатацию в Ставропольском крае и Кабардино-Балкарии, превышает 770 000 т в год по переработке и 15,5 тыс. т в год по утилизации твердых коммунальных отходов [12, 13].

Во всех регионах Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) создан институт регионального оператора, проведена инвентаризация инфраструктуры отрасли и определены точки роста.

На рисунке 1 представлено количество образованных ТКО в период 2020 – 2022 гг. на территории Северного Кавказа, согласно данным Государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды.

Исходя из полученных данных, можно сделать некоторые выводы:

- в период с 2020 по 2022 гг. наблюдается тенденция к увеличению объема ТКО, образующихся в каждом регионе;
- в Ставропольском крае ежегодно образуется наибольшее количество ТКО, причем с 2020 по 2022 гг. этот показатель значительно увеличился;
- Республика Дагестан также продемонстрировала заметный рост производства ТКО за последние годы: так, в 2022 г. данный показатель был равен 623 тыс. т;
- наименьшее количество ТКО образовалось в регионах Республики Ингушетия и Карачаево-Черкесской Республике – 65 и 85 тыс. т соответственно.

Таким образом, необходимо отметить, что приток посетителей, особенно в пик сезона, создает дополнительную нагрузку на местные системы управления отходами. Отели, рестораны, места отдыха и сувенирные лавки производят больше отходов при размещении туристов, что приводит к резкому увеличению образования ТКО [1, 14].

На рисунке 2 представлена динамика доли ТКО, направленных на обработку, от общей массы образованных ТКО в регионе, согласно данным Государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды (2020–2022 гг.).

Во всех территориальных единицах Северо-Кавказского федерального округа наблюдается общая тенденция к увеличению доли ТКО, направляемых на переработку. Это свидетельствует об эффективности применяемых решений по борьбе с отходами в регионе.

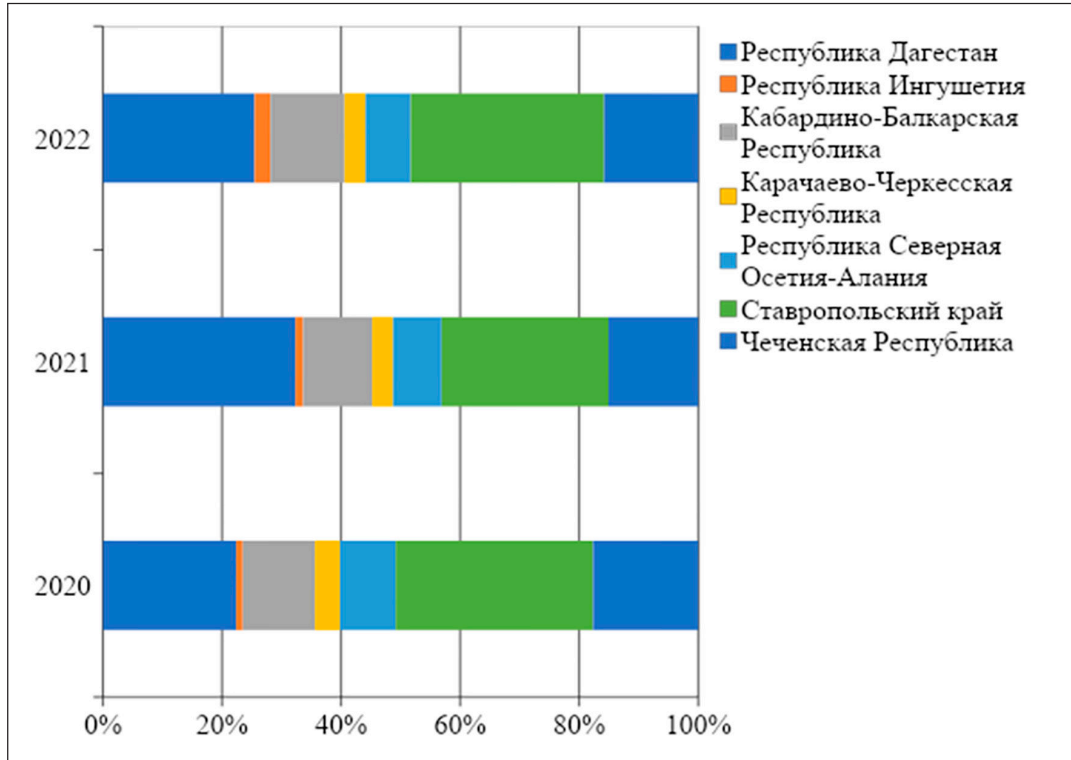


Рис. 1. Количество образованных ТКО, тыс. т
 Источник: составлено авторами по [3–10]

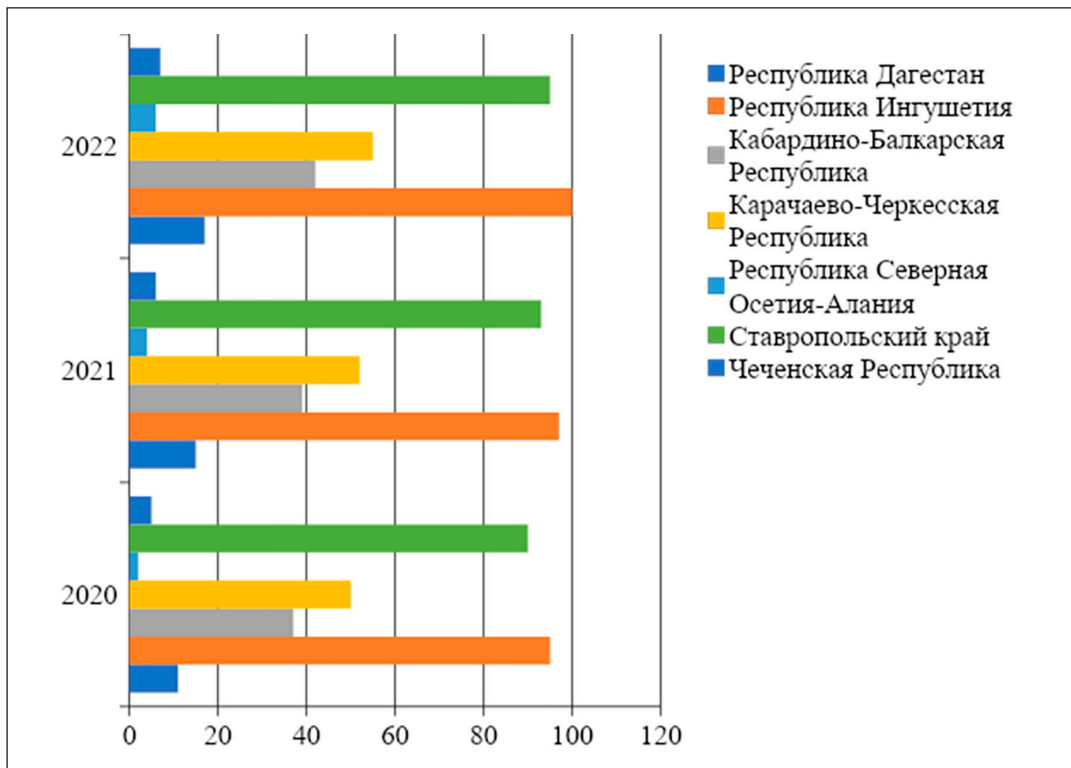


Рис. 2. Доля ТКО, направленных на обработку, от общей массы образованных ТКО по территориальным единицам Северного Кавказа, %
 Источник: составлено авторами по [3–10]

Данные, представленные на рисунке 2, показывают ежегодное улучшение показателей обработки в большинстве регионов. Республика Ингушетия и Ставропольский край являются лидерами в области обращения с отходами в СКФО. Но, несмотря на достигнутый прогресс в увеличении доли ТКО, направляемых на переработку, в таких регионах, как Карачаево-Черкесская Республика и Республика Северная Осетия – Алания, где показатели относительно ниже по сравнению с другими регионами, все еще есть возможности для улучшения [15].

Таким образом, рассмотренная динамика переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе отражает постепенный переход к более устойчивой и экологически ответственной практике.

Инновационные подходы к решению проблем переработки твердых коммуналь-

ных отходов на Северном Кавказе. Современные проблемы требуют инновационных подходов к их решению. Поэтому рекомендуется реализовать мероприятия по минимизации твердых коммунальных отходов на территории СКФО.

Например, можно реализовать такую меру, которая будет включать в себя как государственно-частное партнерство, так и вовлечение общественности и органов просвещения. Внедрение стимулирующей программы сортировки отходов, которая предусматривает вознаграждение в виде кешбэка или бонусных баллов, может мотивировать туристов на ответственное обращение с отходами.

Так, в сотрудничестве с местными предприятиями, отелями, ресторанами и туристическими достопримечательностями рекомендуется внедрить стимулирующую программу по сортировке отходов (таблица).

Этапы внедрения стимулирующей программы сортировки отходов

Наименование этапа	Необходимые действия для реализации этапа
Этап 1. Поиск заинтересованных сторон	Для реализации данного этапа необходимо определить и привлечь заинтересованные стороны в лице местных предприятий, отелей, ресторанов и иных туристических объектов. Также требуется оценить их потребность в сортировке отходов и готовность к участию путем совместных переговоров. Необходимо разработать и подписать партнерское соглашение между участниками мероприятия
Этап 2. Разработка системы поощрения	Необходимо определить структуру вознаграждения и систему начисления баллов для пользователей, основываясь на соглашениях, заключенных между партнерами
Этап 3. Разработка и интеграция мобильного приложения	Для реализации данного этапа требуется разработать удобное мобильное приложение, которое позволит пользователям идентифицировать и сортировать различные виды отходов, а также отслеживать утилизацию отходов и получать вознаграждение. Также рекомендуется интегрировать приложение с местными системами сбора отходов, чтобы обеспечить эффективную переработку отходов
Этап 4. Запуск пилотного проекта мобильного приложения	Следует запустить мобильное приложение с ограниченным числом партнеров для тестирования функциональности и эффективности приложения. Через месяц работы данного приложения необходимо собрать отзывы пользователей и внести необходимые коррективы в приложение
Этап 5. Внедрение мобильного приложения	Далее необходимо расширить программу, включив в нее всех участвующих партнеров. После этого рекомендуется продвигать приложение с помощью маркетинговых кампаний и информационных программ. В течение всего времени следует оказывать постоянную поддержку пользователям и партнерам для обеспечения успешного внедрения
Этап 6. Мониторинг и оценка	Рекомендуется отслеживать участие в программе, показатели сортировки отходов и использование поощрений. Необходимо проводить оценку эффективности программы и выявлять области, которые требуют улучшения. Собранные в ходе мониторинга данные следует использовать для представления результатов и демонстрации положительного воздействия сортировки отходов
Этап 7. Совершенствование мобильного приложения	На основании проведенного мониторинга и оценки рекомендуется обновлять приложение, а также внедрять новые стимулы и функции геймификации для поддержания мотивации пользователей

Как видно из таблицы 1, в рамках данного мероприятия туристы по прибытии будут проинформированы о программе с помощью информационных материалов, вывесок и объявлений в местах, участвующих в программе. Все туристы, которые правильно сортируют свои отходы в специально отведенные контейнеры, будут получать баллы или кешбэк. Баллы, заработанные за сортировку мусора, можно обменять на скидки в компаниях-партнерах, бесплатные подарки, сувениры или ваучеры на посещение местных достопримечательностей.

При этом мусоросортировочные контейнеры с четкими инструкциями и наглядными изображениями будут размещены на видных местах в туристических центрах, отелях, на пляжах и рядом с популярными достопримечательностями [16]. Также рекомендуется создать специальные мусоросортировочные станции с персоналом, который будет помогать туристам и обеспечивать надлежащую утилизацию отходов. Чтобы упростить процесс, туристы могут привязать свои платежные карты или мобильные кошельки к программе сортировки отходов для автоматического накопления вознаграждений. Каждый раз, когда туристы совершают покупку в участвующем в программе заведении, они могут использовать часть своего кешбэка или бонусных баллов для получения вознаграждения за сортировку отходов. Элементы геймификации, такие как рейтинг в таблице лидеров, вызовы или конкурсы, могут быть включены для повышения вовлеченности и стимулирования участия.

В качестве еще одной проблемы, требующей незамедлительного решения, выступает отсутствие оплаты за вывоз твердых коммунальных отходов, созданных незарегистрированными туристами. Так, в соответствии со статьей 24.7 Федерального закона № 89-ФЗ [17], собственники твердых коммунальных отходов обязаны заключить договор на оказание услуг по обращению с твердыми коммунальными отходами с региональным оператором, в зоне деятельности которого образуются твердые коммунальные отходы и находятся места их накопления. Источниками образования таких отходов являются физические и юридические лица. Туристы, которые используют официальные места проживания (гостиницы, санатории, туристические базы), оплачивают вывоз ТКО через юридическое лицо, которое предоставило им место проживания, в то время как туристы, которые останавли-

ваются в палатках, гостевых домах и других неофициальных местах проживания, не несут данный вид расходов, что создает чрезмерную нагрузку на местные системы управления отходами и способствует ухудшению состояния окружающей среды.

Для решения данной проблемы рекомендуется использование части курортного сбора для обеспечения вывоза мусора, так как чистая окружающая среда, свободная от мусора, повышает туристический интерес и вероятность того, что посетители вернутся и будут рекомендовать территорию Северного Кавказа другим людям. Также необходимо проводить интерактивные мероприятия, такие как забеги по сортировке мусора, викторины или охота за мусором, могут сделать этот опыт увлекательным и полезным для туристов. Туристы, которые активно участвуют в программе сортировки отходов и получают значительные вознаграждения, могут быть публично отмечены в социальных сетях, местных новостях или на выездных церемониях. Внедряя стимулирующую программу сортировки отходов для туристов, можно превратить управление отходами в полезный и увлекательный процесс, способствующий устойчивому развитию и бережному отношению к окружающей среде.

На территории СКФО рекомендуется проводить фестивали вторичной переработки, которые заинтересуют не только местное население, но и большую часть туристов. При организации такого фестиваля удастся повысить осведомленность о важности вторичной переработки. На таких мероприятиях могут проводиться интерактивные семинары, выставки, продажа арт-объектов из переработанных материалов, прибыль от которых пойдет на решение проблем переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе.

Таким образом, продолжая инвестировать в инфраструктуру переработки отходов, повышая осведомленность и участие населения, внедряя технологические достижения и решая существующие проблемы, Северный Кавказ может укрепить свои позиции лидера в области устойчивого управления отходами.

Заключение

В заключение следует отметить, что во всех регионах Северо-Кавказского федерального округа наблюдается общая тенденция к увеличению доли ТКО, направляемых на переработку. Это свидетельствует

об эффективности применяемых решений по борьбе с отходами в регионе. Но современные проблемы требуют инновационных подходов к их решению. Поэтому рекомендуется реализовать такую меру, которая будет включать в себя как государственно-частное партнерство, так и вовлечение общественности, просветительские мероприятия. Также на территории СКФО рекомендуется проводить фестивали вторичной переработки, которые заинтересуют не только местное население, но и большую часть туристов.

Предлагаемые инновационные подходы будут способствовать повышению вовлеченности общественности и ответственному обращению с отходами местного населения и туристов, что благоприятно скажется на минимизации проблем переработки твердых коммунальных отходов на Северном Кавказе.

Список литературы

1. Габараева М.Р., Хосаева З.Х. Анализ состояния туризма в СКФО и пути развития // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2023. № 6 (133). С. 96-99. DOI:10.18522/1997-2377-2023-133-6-96-99.
2. Демильханова Б.А. Оценка инновационной активности субъектов Северо-Кавказского федерального округа в сфере охраны окружающей среды: методический подход // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 97-7. С. 67-70. DOI: 10.18411/trnio-05-2023-378.
3. Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды Республики Дагестан 2020-2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://mprdag.e-dag.ru/documents?type=195> (дата обращения: 08.10.2024).
4. Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике 2020-2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprirod.kbr.ru/activity/gosudarstvennyu-doklad.html> (дата обращения: 08.10.2024).
5. Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды в Республике Ингушетия в 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprirodyri.ru/gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayushhej-sredy-respubliki-ingushetiya-v-2020-godu/> (дата обращения: 08.10.2024).
6. Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды в Республике Ингушетия в 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprirodyri.ru/gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayushhej-sredy-respubliki-ingushetiya-v-2021-godu/> (дата обращения: 08.10.2024).
7. Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды в Республике Ингушетия в 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprirodyri.ru/gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayushhej-sredy-respubliki-ingushetiya-v-2022-godu/> (дата обращения: 08.10.2024).
8. Доклад об экологической ситуации в Республике Северная Осетия-Алания в Государственный доклад об охране и состоянии окружающей среды Республики Дагестан 2020-2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpr.alania.gov.ru/activity/statistics/state%20reports> (дата обращения: 08.10.2024).
9. Доклад о состоянии окружающей среды и природопользования в Ставропольском крае в 2020-2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpr26.ru/deyatelnost/otchetny-doklady/o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-i-prirodopolzovani-v-stavropolskom-krae/> (дата обращения: 08.10.2024).
10. Информационно-аналитическая справка о состоянии окружающей среды Чеченской Республики в 2020-2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://chechnya.gov.ru/respublika/ekologiya/> (дата обращения: 08.10.2024).
11. Атаев З.В., Гаджибеков М.И., Абдулаев К.А. К проблеме загрязнения бассейна реки Самур твердыми бытовыми отходами // Труды Государственного природного заповедника «Дагестанский». Махачкала: ООО «АЛЕФ», 2022. Вып. 18. С. 6-30.
12. Каирова Л.Л., Дахова О.О., Татаренко Н.В. Проблемы твердых коммунальных отходов и их рекультивация на территории КБР // Актуальные проблемы естественных наук: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Грозный-Махачкала, 2020. С. 447-453.
13. Татаренко Н.В., Паштова Л.Р., Емузова Л.З., Дахова О.О. Утилизация твердых бытовых отходов и экологические проблемы воздействия на окружающую среду (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 385-389.
14. Афаунова М.К. Переработка как способ улучшения состояния окружающей среды региона // Трибуна ученого. 2019. № 12. С. 7-12.
15. Онищенко В.В., Дега Н.С., Корчагина Н.М. Принципы и перспективы организации интегрированного природопользования в устойчивом развитии Карачаево-Черкесии // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11, № 2. С. 102-110.
16. Орцханова М.А., Китиева М.И., Полонкоева Ф.Я. Решение экологических проблем как один из движущих факторов устойчивого развития региона (на примере СКФО) // Colloquium-Journal. 2019. № 26-9 (50). С. 60-62.
17. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 08.10.2024).

УДК 911.6:332.3
DOI 10.17513/use.38331

ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ГОРОДА КИНЕЛЬ

¹Домнина С.В., ²Подкопаев О.А., ³Савоскина Е.В.

¹ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», Самара,
e-mail: swdomnina@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Самарский государственный институт культуры», Самара,
e-mail: podkopaev@smrgaki.ru;

³ОЧУ ВО «Московский инновационный университет», Москва,
e-mail: savoskina@mail.ru

Целью данного исследования является осуществление оценки территориально-экологического зонирования земель города Кинель и определение возможных путей его оптимизации. Оценка территориально-экологического зонирования проходила на основе анализа ряда количественных показателей. В частности, изучались функциональные зоны города, наличие санитарно-защитных зон, при этом фактическая площадь зоны насаждений общего пользования сравнивалась с расчетной с учетом численности населения согласно строительным нормам и правилам. Анализировалось соблюдение санитарных разрывов, качество воздуха, качество водоснабжения, концентрация загрязняющих вредных веществ в воздухе, воде и почве, объемы вредных веществ, поступающих в атмосферу от источников, и другие. Анализ показал, что на одного жителя г.о. Кинель зеленых насаждений общего пользования приходится меньше, чем необходимо по нормам. Санитарные разрывы от кладбищ до жилой зоны не соблюдаются, в санитарно-защитную зону попадает жилая застройка. Качество воздуха г.о. Кинель находится на среднем уровне. Определено несоответствие гигиеническим нормативам на основании определенной мутности воды. На основе проведенного анализа эколого-экономического зонирования г.о. Кинель определены пути его оптимизации: целесообразное размещение промышленных предприятий, с опорой на оценку их воздействия на окружающую среду; внедрение экологически чистых технологий и бережливое производство; совершенствование системы очистки сточных вод и выбросов в атмосферу; многоплановое благоустройство и озеленение территорий города; развитие рекреационной зоны в городе Кинель; реконструкция внутригородских водотоков и организации поверхностного стока; внедрение более точных показателей при оценке земельных участков. Оптимизация территориально-экологического зонирования г.о. Кинель позволит повысить эффективность системы землеустройства, землепользования, застройки и положительно повлияет на развитие города и его экологическую ситуацию.

Ключевые слова: территориально-экологическое зонирование, санитарно-защитная зона, функциональные зоны города, оценка территориально-экологического зонирования, санитарные разрывы

ASSESSMENT OF TERRITORIAL-ECOLOGICAL ZONING OF LANDS OF THE CITY OF KINEL

¹Domnina S.V., ²Podkopaev O.A., ³Savoskina E.V.

¹Samara State University of Economics, Samara, e-mail: swdomnina@mail.ru;

²Samara State Institute of Culture, Samara, e-mail: podkopaev@smrgaki.ru;

³Moscow Innovation University, Moscow, e-mail: savoskina@mail.ru

The purpose of this study is to assess the territorial-ecological zoning of land in the city of Kinel and identify possible ways to optimize it. Assessment of territorial-ecological zoning was based on the analysis of a number of quantitative indicators. In particular, we studied the functional zones of the city, the presence of sanitary protection zones, and the actual area of the zone of public plantings was compared with the calculated area, taking into account the number of population according to building codes and regulations. Compliance with sanitary gaps, air quality, quality of water supply, concentration of polluting harmful substances in air, water and soil, volumes of harmful substances entering the atmosphere from sources and others were analyzed. The analysis showed that per one inhabitant of Kinel town there are less green spaces for public use than it is necessary according to the norms. Sanitary gaps from cemeteries to residential areas are not observed, residential buildings fall into the sanitary protection zone. The air quality of Kinel city is at an average level. Non-compliance with hygienic standards is determined on the basis of certain turbidity of water. On the basis of the analysis of ecological and economic zoning of Kinel, the ways of its optimization are defined: expedient placement of industrial enterprises, based on the assessment of their impact on the environment; introduction of environmentally friendly technologies and lean production; improvement of wastewater treatment system and emissions into the atmosphere; multifaceted improvement and landscaping of city territories; development of recreational zone in the city of Kinel; reconstruction of intracity watercourses and organization of surface runoff; introduction of the following methods: water treatment system and waste water treatment system. Optimization of territorial-ecological zoning of the town of Kinel will increase the efficiency of the system of land management, land use, development and will positively affect the development of the town and its environmental situation.

Keywords: territorial-ecological zoning, assessment of territorial-ecological zoning, sanitary protection zone, functional zones of the city, sanitary gaps

Введение

Стремительное увеличение площади городов приводит к усилению воздействия хозяйственной деятельности на природные экосистемы, что в конечном итоге приводит к полному разрушению природных объектов и нарушению экологического баланса. Урбанизация подвергает антропогенному влиянию практически все компоненты природной среды, что подчёркивает важность экологического зонирования.

Проблемами экологического зонирования занимаются ученые, исследователи, специалисты в области экологии, географии, землеустройства и градостроительства.

Так, Л.К. Трубина и О.А. Беленко рассматривают экологические аспекты градостроительного зонирования территорий и критерии экологического зонирования [1, с. 19–20].

Н.Г. Овчинникова и Т.С. Водолазская рассматривают экологическое зонирование как инструмент решения экологических проблем урбанизированных территорий, способствующий их устойчивому развитию [2, с. 54–55]. М.В. Жаркова считает, что зонирование территории позволяет создать удобное и рациональное пространство [3].

К.В. Жигаadlo и И.С. Щепанский исследуют имеющиеся в правовых актах подходы к экологическому зонированию территорий и их соотношение с зонами с особыми условиями использования территорий в градостроительстве [4, с. 188]. М.Д. Сутягин на основе изучения процедуры установления правового режима земель выявил ряд проблем и предложил пути их решения [5, с. 193–194].

Е.С. Губанова и В.С. Клещ, А.С. Ковалёв и А.Н. Хаит рассматривают зонирование как инструмент регулирования социально-экономического развития территорий [6, с. 117; 7, с. 71].

Иностранские публикации отражают вопросы стратегии эколого-экономического зонирования для управления территорией [8], создания национальной базы данных по зонированию и землепользованию [9].

Однако в имеющихся исследованиях не отражены вопросы оптимизации зонирования применительно к определенному населенному пункту.

Поэтому **цель данного исследования** – осуществить оценку территориально-экологического зонирования земель города Кинель, на основе чего определить его возможные пути оптимизации.

Материал и методы исследования

Оценка территориально-экологического зонирования проходит на основе анализа ряда количественных показателей. В частности, изучаются функциональные зоны города, наличие санитарно-защитных зон, при этом фактическая площадь зоны насаждений общего пользования сравнивается с расчетной с учетом численности населения согласно строительным нормам и правилам. Анализируется соблюдение санитарных разрывов. Анализируется качество воздуха, качество водоснабжения, концентрация загрязняющих вредных веществ в воздухе, воде и почве, объёмы вредных веществ, поступающих в атмосферу от источников, и другие.

Методы исследования, используемые в процессе анализа: метод системного анализа и синтеза, метод сравнения, метод табличного представления данных и другие.

Практическая значимость заключается в подготовке практических рекомендаций по оптимальному использованию земель г.о. Кинель, на основании анализа территориально-экологического зонирования и оценки, способных обеспечить эффективное и качественное планирование и развитие данной территории.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка территориально-экологического зонирования земель города Кинель включает следующие основные этапы.

1. Сбор и анализ данных о территории.
2. Определение экологической оценки земель на основе изучения природных условий, почв и др.
3. Разработка мероприятий и подготовка предложений по рациональному использованию земель.

Анализ территориального устройства и правил землепользования и застройки городского округа Кинель проводился на основании карт, представленных на официальном сайте городского округа [10; 11].

Согласно картографическому отображению, город Кинель представляет собой 20 функциональных зон, включающих: зону застройки индивидуальными жилыми домами; зону застройки малоэтажными жилыми домами; зону застройки среднеэтажными жилыми домами; зону застройки многоэтажными жилыми домами; многофункциональную общественно-деловую зону; зону специализированной общественной

застройки; производственную зону сельскохозяйственных предприятий; зоны озелененных территорий общего пользования (лесопарки, парки, сады, скверы, бульвары, городские леса); лесопарковую зону; зону лесов; иные рекреационные зоны; другие.

Организации и производства, которые являются источниками воздействия на окружающую среду, должны быть отделены санитарно-защитными зонами от жилых массивов, рекреационных зон и зон отдыха, территорий сельскохозяйственных товариществ и коттеджной застройки, других объектов. При этом санитарно-защитная зона (СЗЗ) является буферной зоной, созданной вокруг промышленного предприятия для минимизации негативного влияния производственных процессов на окружающую среду, здоровье людей [12, с. 116-117].

В этой зоне запрещено возведение жилых, рекреационных и других объектов. Размеры СЗЗ определяются исходя из класса опасности предприятия и интенсивности его воздействия на экологию.

Анализируя территориальные зоны города Кинель, произведем оценку их состава и соблюдения СЗЗ.

Зона насаждений общего пользования включает сады, парки, скверы и бульвары, площадь которых в г. Кинель составляет 7,91 га.

Озеленение общего пользования в границах г. Кинель представлено

– в Южном районе парком «Детский парк» площадью 5,13 га и городским парком «Победа» площадью 2,05 га;

– в Северном районе сквером площадью 0,73 га [13].

Расчетная площадь территорий существующего озеленения общего пользования должна составлять 34,6 га при существующей численности населения 57 729 человек [14]. Однако на одного жителя приходится всего около 1,4 м² зеленых насаждений общего пользования, что меньше нормативных – 6 м² (СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»).

Некоторые участки зеленых насаждений общего пользования недостаточно благоустроены и требуют реконструкции.

На территории города Кинеля расположены два кладбища. Кладбище № 1 – в южной части города по ул. Мира между мкр. Елшняги и мкр. Горный. Площадь его – 19.236 га. Кладбище действующее. Санитарно-защитная зона от кладбища составляет 300 метров, согласно СанПиН

2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». Санитарные разрывы до жилой зоны не соблюдаются.

Кладбище № 2 – в западной части города по ул. Пионерской, мкр. Лебедь. Площадь его – 0,374 га. Кладбище не действующее. Санитарно-защитная зона от кладбища составляет всего 50 метров. В санитарно-защитную зону попадает жилая застройка.

При изучении территориальной зоны специального назначения, помимо кладбищ, было проанализировано управление отходами данного города. Полигон твердых бытовых отходов и промышленных отходов расположен за границей населенного пункта – к востоку от п. Усть-Кинельский на месте бывшего карьера добычи глины. Сюда свозятся и обезвреживаются бытовые отходы из г. Кинеля, пгт. Алексеевка и пгт. Усть-Кинельский. Площадь участка – 13,41 га. Площадка предусмотрена для захоронения отходов II, III, IV классов опасности.

Санитарно-защитная зона от полигона твердых бытовых отходов предусмотрена – 500 метров, от полигона захоронения промышленных отходов – 1000 метров до ближайших населенных пунктов, открытых водоемов, а также объектов, используемых в культурно-оздоровительных целях. Санитарные разрывы до таких объектов соблюдаются.

Необходимо уточнить, что территория города делится железной дорогой на две части – северную и южную. Анализируя особенности каждой из частей города, считаем важным указать на тот факт, что южная его область отличается большей площадью, а также преобладающим количеством территорий, занятых лесами и лесопарковыми зонами.

На основании картографических данных сервиса IQAir, позволяющего оценить качество воздуха в режиме реального времени, было определено, что данное качество находится на среднем уровне [15].

Показателем данного уровня является выявленная допустимая концентрация в воздухе (2,3 мкг/м³) тонкодисперсной пыли и (или) ультрадисперсных частиц, имеющих обозначение – PM2.5. По нормам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), среднегодовой уровень PM2.5 должен составлять не больше 10 мкг/м³, а среднесуточный уровень не больше 25 мкг/м³. Данный уровень является в целом приемлемым для большинства людей.

Результаты производственного лабораторного контроля качества питьевого водоснабжения ООО «Кинельская ТЭК» по г.о. Кинель

Показатель	Значение для источника питьевого централизованного водоснабжения	
	НФС перед подачей в распределительную сеть	Распределительная сеть
Число объектов	1	21
Число исследованных проб по радиологическим показателям	1	–
- из них не соответствует гигиеническим нормативам	–	–
- перечень и величина показателей, по которым установлено несоответствие гигиеническим нормативам	–	–
Число исследованных проб по санитарно-химическим показателям	208	360
- из них не соответствует гигиеническим нормативам	1 (по мутности)	Мутность – 6,9 ЕМФ
- перечень и величина показателей, по которым установлено несоответствие гигиеническим нормативам	–	–
Число исследованных проб по микробиологическим показателям	208	360
- из них не соответствует гигиеническим нормативам	–	–
- перечень и величина показателей, по которым установлено несоответствие гигиеническим нормативам	–	–

Оценка водных ресурсов города Кинель включала в себя определение качества водоснабжения на данной территории, что было осуществлено посредством анализа данных, предоставленных ООО «Кинельская ТЭК».

Определено несоответствие гигиеническим нормативам на основании определенной мутности воды (выявленный коэффициент 6,9 при норме, установленной СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования» – 2,6). Следует отметить, что удельный вес проб воды у потребителя, которые не отвечают гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, составляет 0,1% [16]. Управлением Роспотребнадзора по Самарской области за № 63-00-04/05-7477-2022 от 28.06.2022 года утверждены временные отклонения от гигиенических нормативов (ПДК) качества воды в распределительной сети централизованной системы водоснабжения г.о. Кинель, срок действия которых – до конца 2028 года. В частности, утвержден показатель мутности поверхностных источников водоснабжения (р. Большой Кинель) для жителей г. Кинель и п.г.т. Усть-Кинельский – не более 3,5 ЕМФ (по формазину) [17] (таблица).

Оценивая возможности воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера и производя анализ водоохраных зон и прибрежных защитных полос (тер-

риторий, прилегающих к акваториям рек, озёр и водохранилищ, предназначенных для защиты водных объектов от загрязнений и других негативных воздействий хозяйственной деятельности), важно указать, что территории долины рек Б. Кинель и Самара подвержены подтоплению и затоплению паводковыми водами.

Таким образом, зонирование территорий города Кинель регулируется санитарно-защитными зонами, которые предусматривают ограничения по использованию земельных участков в зависимости от их расположения относительно промышленных предприятий и других объектов, влияющих на экологическую обстановку. Территориально-экологическое зонирование города Кинель в ряде случаев не соответствует санитарно-защитным зонам, что характеризуется снижением их параметров относительно расположения на данной территории.

Выводы

На основе проведенного анализа эколого-экономического зонирования г.о. Кинель, можно определить следующие пути его оптимизации:

– целесообразное и конструктивное размещение промышленных предприятий, с опорой на оценку их воздействия на окружающую среду;

– внедрение экологически чистых технологий и бережливое производство (к примеру, внедрение безотходной переработки отходов и использование экологичного транспорта);

– совершенствование системы очистки сточных вод и выбросов в атмосферу включает в себя использование методов биологической очистки, применение различных технологий для удаления загрязняющих веществ и газов, а также контроль за работой очистных сооружений и оборудования;

– многоплановое благоустройство и озеленение территорий города предполагает разработку и реализацию мероприятий по улучшению качества и уровня экологической обстановки: создание комфортных условий проживания населения и улучшение эстетического облика города (архитектурно-планировочная организация); озеленение (посадка деревьев и кустарников, создание живых изгородей, цветочные клумбы, клумбы-цветники и т.д., газоны, вырубка сухостоя); сбор, вывоз и утилизация отходов; финансовая поддержка и содержание рекреационных объектов (реконструкция и модификация ландшафтного дизайна, при необходимости); защита городских территорий от природных явлений (грунтовые воды, наводнения и т.д.); содержание земель особой категории эксплуатации (включая места захоронений).

Необходимы и мероприятия по развитию рекреационной зоны в городе Кинель:

– реконструкция имеющихся парков и скверов;

– строительство скверов в Северном районе;

– строительство парка и скверов в Юго-Восточном жилом районе.

В целях улучшения обеспечения питьевой водой населения города Кинель необходимы:

– реконструкция систем водоснабжения, замена изношенного оборудования (насосов, пожарных гидрантов, др.), а также трубопроводов (замена стальных труб на трубы из полимерных материалов);

– создание системы диспетчеризации и автоматического управления, внедрение преобразователей частоты для насосов на насосных станциях;

– ремонт и реконструкция очистных сооружений сточных вод, проектирование и строительство сооружений доочистки на существующих очистных сооружениях в Кинеле с целью улучшения качества и количества очищенных сточных вод.

Для благоустройства города Кинель необходимо провести следующие мероприятия по инженерной подготовке территории:

– защиту от подтопления и подтопляемости территорий;

– организацию поверхностного стока (дренажей);

– реконструкцию внутригородских водотоков.

Санитарно-защитная зона должна быть благоустроена. Со стороны жилой зоны необходимо предусмотреть полосу зеленых насаждений шириной как минимум 20 метров. Необходимо предусмотреть и благоустройство производственных площадей. Все новые объекты промышленной недвижимости должны быть предварительно согласованы с СЭС. Городское кладбище в южной части города исчерпало резервы, при этом не соблюдаются санитарные требования, поэтому его рекомендуется закрыть.

В качестве еще одной рекомендации стоит отметить внедрение более точных показателей при оценке земельных участков. При этом стоит учитывать не только местоположение, инфраструктуру, но и социальные факторы, и экологическую ценность. Эти показатели позволят сделать оценку более объективной, учитывая реальные потребности и предпочтения потенциальных покупателей, арендаторов.

И наконец, необходимо создать единую информационную систему для хранения и обработки данных о земельных участках, которая будет доступна для всех заинтересованных сторон. Такая система должна обеспечить быстрый доступ к информации, повысить достоверность, полноту, качество сведений об объектах недвижимости. Кроме того, она вовлечёт в хозяйственный оборот неиспользуемые объекты, упростит процедуру поиска и предоставления земельных участков гражданам, обеспечит эффективное предоставление государственных услуг и выполнение государственных функций, связанных с развитием территорий и объектов на них.

Таким образом, оптимизация территориально-экологического зонирования города Кинель позволит улучшить систему землеустройства в Самарской области; гармонично и положительно повлиять на развитие города Кинель; выявить неблагоприятные для освоения участки территории с точки зрения состояния окружающей среды; регулировать землепользование и застройку в соответствии с установленными правилами и регламентами; эффективно

использовать объекты недвижимости и обеспечить охрану окружающей среды.

Список литературы

1. Трубина Л.К., Беленко О.А. Экологическое зонирование территорий. Новосибирск: СГУГиТ, 2020. 52 с.
2. Овчинникова Н.Г., Водолазская Т.С. Экологическое зонирование урбанизированных территорий // Экономика и экология территориальных образований. 2021. Т. 5, № 4. С. 52–58.
3. Жаркова М.В. Зонирование территории населенного пункта // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 8. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2018/08/87320> (дата обращения: 05.11.2024).
4. Щепанский И.С., Жигадло К.В. Экологическое зонирование территории: проблемы определения и правового регулирования // Актуальные проблемы российского права. 2019. № 8. С. 183–190.
5. Сутягин М.Д. Зонирование территорий и разрешенное использование земель как способ определения правового режима земель и земельных участков // Актуальные проблемы российского права. 2022. Т. 17, № 6. С. 187–195.
6. Губанова Е.С., Клещ В.С. Зонирование как инструмент регулирования социально-экономического развития региона // Проблемы развития территории. 2019. № 5 (103). С. 109–123.
7. Хаит А.Н., Ковалев А.С. Зонирование как инструмент социально-экономического развития городских территорий // Молодой ученый. 2020. № 25 (315). С. 70–73.
8. César Pinheiro A., Motta M., Rodrigues R.A. Methodological Strategy of Ecological Economic Zoning (EEZ) in the Municipal Scale: an Academic Exercise of Political Geography for the Management of the Territory // L'Espace Politique. 2017. № 18. DOI: 10.4000/espacepolitique.4221.
9. Mleczko M., Desmond M. Using natural language processing to construct a National Zoning and Land Use Database // Urban Studies. 2023. Vol. 60(13). P. 2564–2584. DOI: 10.1177/00420980231156352.
10. Правила землепользования и застройки городского округа Кинель Самарской области [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--c1acbljimlat3k.xn--p1ai/9982.html?ysclid=lpmiq1ku9y69372151> (дата обращения: 17.09.2024).
11. Генеральный план г.о. Кинель Самарской области [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--c1acbljimlat3k.xn--p1ai/9981.html> (дата обращения: 17.09.2024).
12. Ламихова М.В. Установление СЗЗ для отдельных подразделений // Экология производства. 2021. № 1 (198). С. 116–117.
13. Положение о территориальном планировании городского округа Кинель Самарской области [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--c1acbljimlat3k.xn--p1ai/assets/files/architectura/2022/polozhenie.pdf> (дата обращения: 17.09.2024).
14. Оценка численности населения на 1 января текущего года, человек, на 1 января [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/munst36/DBInet.cgi> (дата обращения: 17.09.2024).
15. Оценка качества воздуха города Кинель [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iqair.com/ru/air-quality-map/russia/samara> (дата обращения: 13.09.2024).
16. Постановление Администрации городского округа Кинель № 3523 от 06.12.2023 г. «Об актуализации схемы водоснабжения и водоотведения городского округа Кинель Самарской области на период с 2015 до 2033 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xn--c1acbljimlat3k.xn--p1ai/zakon/oficopublik/2023/3523.pdf> (дата обращения: 13.09.2024).
17. Утверждены временные отклонения от гигиенических нормативов (ПДК) качества воды в распределительной сети централизованной системы водоснабжения [Электронный ресурс]. URL: <https://кинельгород.рф/16708.html> (дата обращения: 15.09.2024).

УДК 528.71:332.3-047.36(470.345)
DOI 10.17513/use.38332

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА

**Инюткина Е.С., Зарубин О.А., Ларина А.В.,
Мучкаева Н.С., Козлова Е.А., Лямзина И.С.**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: des.katy@yandex.ru, oleg-zarubin@list.ru,
larina2705@yandex.ru, tosyanya2013@mail.ru, kozlova.ea.10@yandex.ru, lyamzinainna20@gmail.com*

Цель проведенного исследования заключается в апробации методик дешифрирования многозональных космических снимков для целей мониторинга земель лесного фонда и разработки соответствующих картографических материалов на основе применения геоинформационных технологий. Объектом исследования выступила территория Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия. В качестве источника данных дистанционного зондирования Земли использованы разновременные спутниковые снимки проекта Landsat. Работы выполнены в программных комплексах QGIS и MapInfo Professional. Для целей определения динамики растительного покрова были вычислены нормализованный разностный вегетационный индекс, нормализованный разностный водный индекс и хлорофилльный индекс. На основе полученных значений проведен анализ состояния лесных насаждений в разрезе участков лесничеств и участков леса, имеющих различное целевое назначение. В результате проведенного исследования спроектирована серия электронных карт и связанных с ними баз данных, характеризующих качественное состояние лесных земель, а также изменение лесистости в границах Темниковского территориального лесничества в период с 2014 по 2023 г. Результаты могут быть использованы для целей принятия управленческих решений и проведения мониторинговых мероприятий в территориальном планировании и лесоустройстве.

Ключевые слова: космические снимки, вегетационные индексы, дешифрирование, мониторинг, лесной фонд

APPLICATION OF MULTI-ZONE SPACE IMAGES FOR MONITORING FOREST LANDS

**Inyutkina E.S., Zarubin O.A., Larina A.V.,
Muchkaeva N.S., Kozlova E.A., Lyamzina I.S.**

*National Research Mordovia State University, Saransk,
e-mail: des.katy@yandex.ru, oleg-zarubin@list.ru, larina2705@yandex.ru,
tosyanya2013@mail.ru, kozlova.ea.10@yandex.ru, lyamzinainna20@gmail.com*

The purpose of the research is to test the methods of decoding multi-zone space images for the purposes of monitoring forest fund lands and developing relevant cartographic materials based on the use of geoinformation technologies. The object of the research was the territory of the Temnikovsky territorial forestry of the Republic of Mordovia. Multi-temporal Landsat satellite images were used as a source of Earth remote sensing data. The research were carried out in the QGIS and MapInfo Professional software packages. The normalized difference vegetation index, normalized difference water index and chlorophyll index were calculated to determine the dynamics of vegetation cover. The analysis of the state of forest plantations was carried out on the basis of the obtained values in the context of district forestries and forest areas with different intended purposes. A series of electronic maps and related databases have been designed. They characterize the qualitative state of forest lands, as well as changes in forest cover within the boundaries of the Temnikovsky territorial forestry in the period from 2014 to 2023. The results can be used for the purposes of making management decisions and conducting monitoring activities, territorial planning and forest management.

Keywords: space images, vegetation indices, interpretation, monitoring, forest lands

Введение

Согласно федеральному законодательству [1] основной целью системы государственного экологического мониторинга является обеспечение охраны окружающей среды. В зависимости от объектов и задач мониторинга в Единой системе государственного экологического мониторинга выделено 16 подсистем, одна из которых связана с государственным мониторингом земель. Согласно положениям земельного законодательства [2], данный вид монито-

ринга служит для осуществления рационального использования и охраны земельных ресурсов.

В настоящем исследовании затронуты вопросы применения методов обработки данных дистанционного зондирования Земли (многозональных космических снимков) для мониторинга земель лесного фонда, к которому в силу положений лесного законодательства [3] относятся как лесные, так и не-лесные земли. Некоторые профильные задачи по мониторингу лесных земель решаются

в рамках государственного мониторинга воспроизводства лесов и государственного лесопатологического мониторинга, являющихся подсистемами государственного экологического мониторинга, а также при проведении мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров.

Вне зависимости от подсистемы государственного экологического мониторинга одним из ключевых источников информации выступают данные дистанционного зондирования Земли, которые позволяют оперативно проектировать и обновлять картографические материалы при помощи использования геоинформационных систем и программных продуктов по дешифрированию снимков.

Цель исследования – апробация методик дешифрирования многозональных космических снимков для целей мониторинга земель лесного фонда и разработки соответствующих картографических материалов на основе применения геоинформационных технологий.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выступила территория Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия, находящегося на северо-западе региона в Темниковском, Теньгушевском и Zubovo-Полянском районах. Лесничество граничит на севере с Нижегородской областью, на северо-востоке с Мордовским государственным заповедником им. П.Г. Смиловича, на западе с Рязанской областью, на востоке – с Краснослободским и на юге – с Виндрейским территориальными лесничествами. В составе территориального лесничества в соответствии с лесохозяйственным регламентом [4] выделены Барашевское (13163 га), Кечмировское (19360 га), Темниковское (15761 га), Теньгушевское (11777 га), Харинское (15483 га) участковые лесничества.

Базовые картографические слои (границы субъекта, муниципальных районов, кадастровых районов, населенных пунктов, территориального и участковых лесничеств, железные и автомобильные дороги, гидрография) были спроектированы в геоинформационной системе MapInfo Professional с помощью оцифровки картографических материалов лесохозяйственного регламента лесничества [4] и схемы территориального планирования Республики Мордовия [5].

В работе использованы многозональные космические снимки Landsat-8, 9, полученные с геопортала Геологической службы США (USGS): 2014 г. – от 6 июля; 2018 г. – от 6 июля; 2023 г. – от 27 апреля, 8 июля и 4 октября. Дешифрирование многозональных космических снимков проводилось в программном комплексе QGIS. На первом этапе изображения были радиометрически откалиброваны в соответствии с методикой поставщика данных ДЗЗ [6]. Для этого попиксельно для каждого снимка «сырое» безразмерное нормализованное значение DN (Digital Number) пересчитано в параметр отражательной способности (Reflectance)

В результате проведенного исследования были рассчитаны и проанализированы пространственно-временные изменения числовых расчетных показателей вегетационных индексов – параметров, определяемых в результате операций с спектральными каналами. Для целей анализа динамики растительного покрова были вычислены нормализованный разностный индекс растительности (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), нормализованный разностный водный индекс (Normalized Difference Water Index, NDWI) и хлорофилльный индекс (Green Chlorophyll Index, Clgreen) (табл. 1). Указанные индексы успешно используются исследователями в работах последних лет для мониторинга состояния лесной растительности.

Таблица 1

Формулы для расчета вегетационных индексов

Вегетационный индекс	Формула	Переменные
NDVI	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	NIR – значение спектрального отражения в ближнем инфракрасном канале SWIR – значение спектрального отражения в среднем инфракрасном канале Red – значение спектрального отражения в красном канале Green – значение спектрального отражения в зеленом канале
NDWI	$(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$	
Clgreen	$(NIR / Green) - 1$	

NDVI – один из самых часто используемых вегетационных индексов в современных работах по мониторингу лесных насаждений и оценке фитомассы [7–9]. Впервые его применение было описано в 1973 г. в работе J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell и D.W. Deering. Для растительного покрова значения данного индекса имеют положительные значения. Показатели данного индекса варьируются от -1 до $+1$ в зависимости от состава представленной растительности, состояния растительного покрова и других факторов. Чем оно выше, тем больше фитомассы регистрируется в одном пикселе космического снимка. Для лесной растительности в середине вегетационного периода показатель, как правило, выше $0,7$.

NDWI, предложенный В. Гоа в 1996 г., используется с целью мониторинга изменений содержания воды в растениях и поверхностных водах [10, 11]. Амплитуда показаний данного индекса от -1 до $+1$. С помощью него оценивается влажность в растительности. Залесные территории имеют значение около $0,4$.

Индекс CI_{green} , активно используемый в сельскохозяйственных исследованиях с начала 2000-х гг., в современных работах также применяется и для мониторинга состояния лесного покрова [12, 13]. Высокие

значения индекса связаны с наибольшим содержанием хлорофилла в листьях растений. Значения выше 1 свидетельствуют о здоровой растительности с большим содержанием хлорофилла в листовых пластинах.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе полученных картографических материалов (рис. 1–3) и статистических сведений (табл. 2) сделаны выводы об изменении показателей растительного покрова Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия.

Оценка общего количества фитомассы по NDVI показывает, что территория Темниковского территориального лесничества соответствует классу «густой растительности» общепринятой шкалы данного индекса. При этом значения с 2014 по 2023 г. имеют тренд на увеличение (с $0,72332$ до $0,74273$). Данная тенденция характерна для всех участковых лесничеств, при этом для Харинского участкового лесничества значение NDVI изменилось с класса «разреженная растительность» ($0,69637$) на класс «густая растительность» ($0,72985$). В 2023 г. во всех пяти участковых лесничествах наблюдаются значения выше $0,7$.

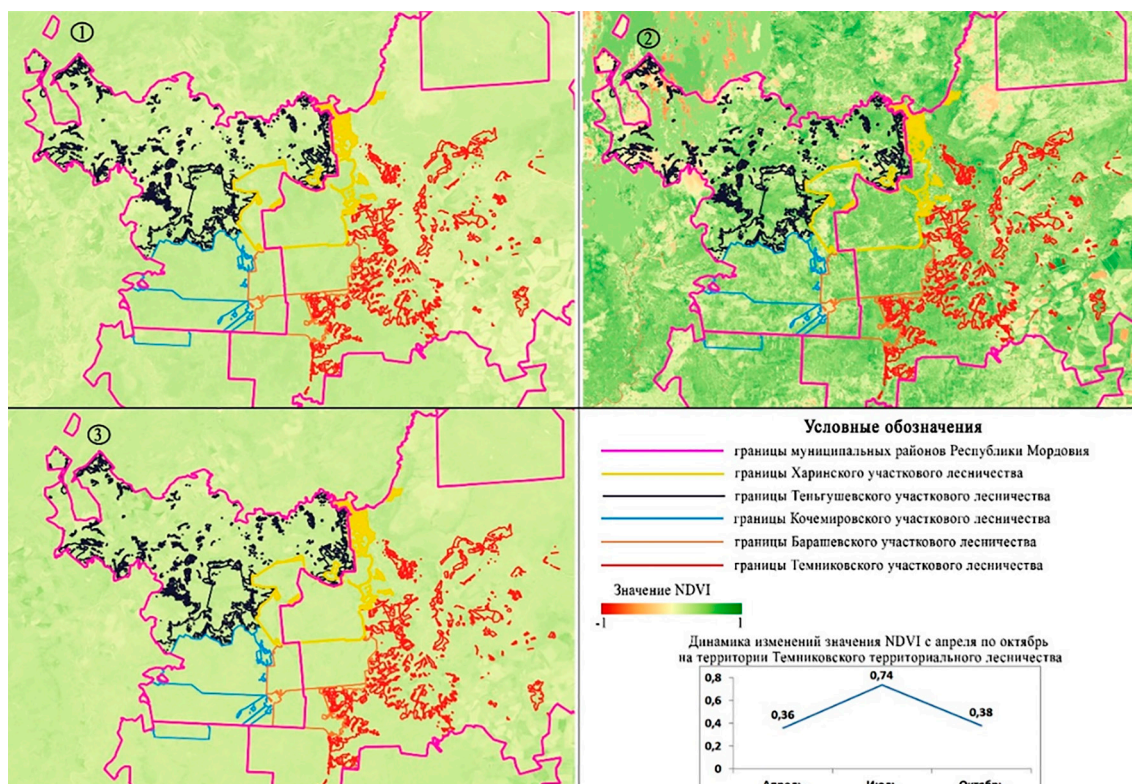


Рис. 1. Динамика значений вегетационного индекса NDVI на территории Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия в 2023 г.: № 1 – 27 апреля, № 2 – 8 июля и № 3 – 4 октября

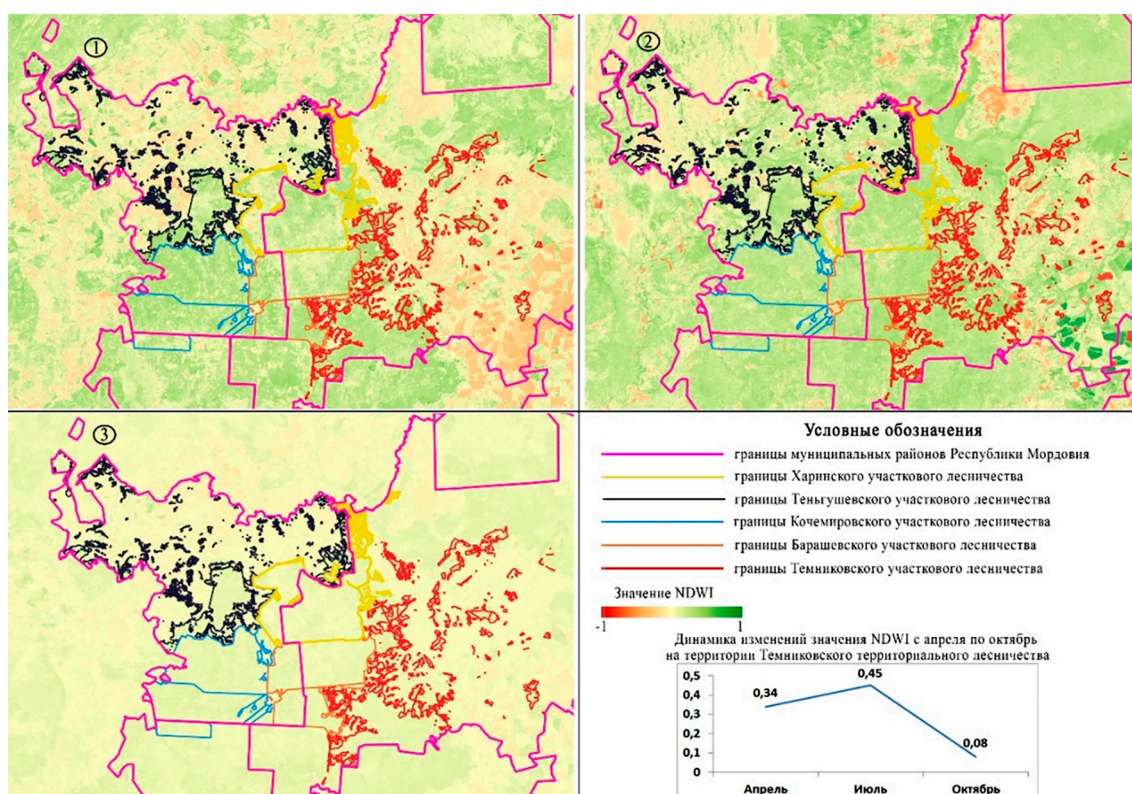


Рис. 2. Динамика значений вегетационного индекса NDWI на территории Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия в 2023 г.: № 1 – 27 апреля, № 2 – 8 июля и № 3 – 4 октября

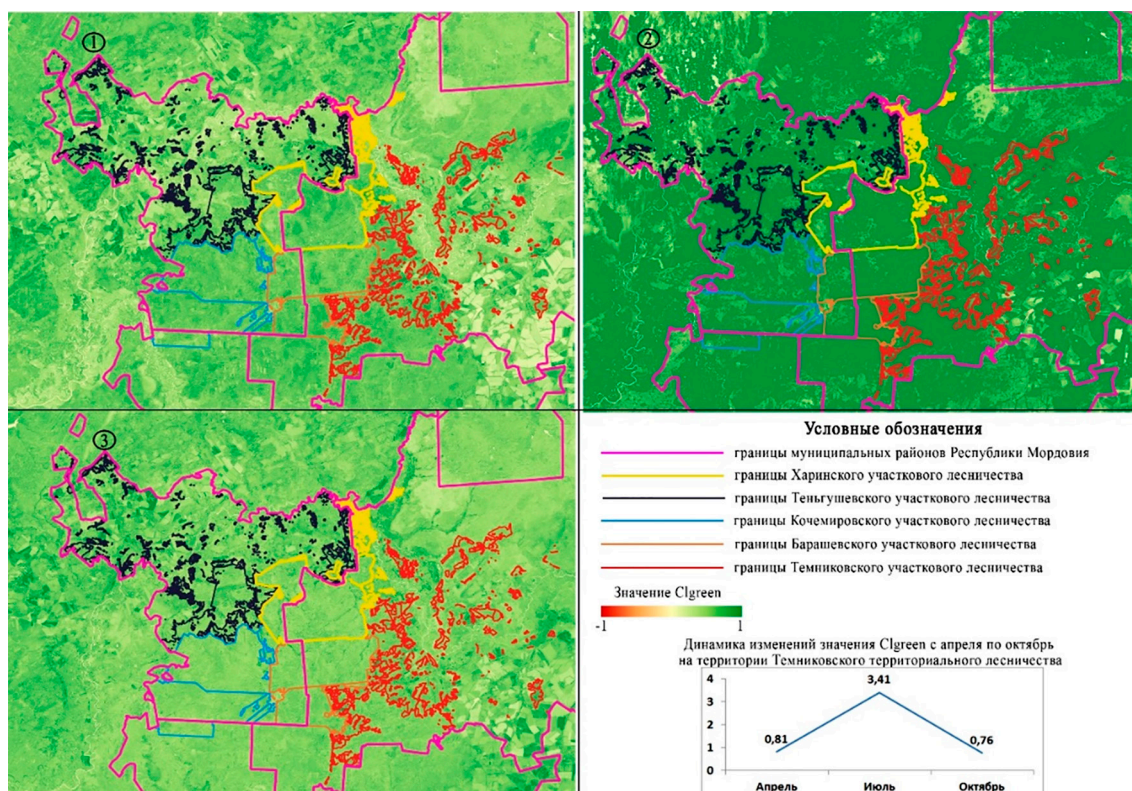


Рис. 3. Динамика значений вегетационного индекса Clgreen на территории Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия в 2023 г.: № 1 – 27 апреля, № 2 – 8 июля и № 3 – 4 октября

Таблица 2

Результаты расчета вегетационных индексов на территории Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия в 2014–2023 гг.

	NDVI			NDWI			C _l green		
	06.07. 2014 г.	06.07. 2018 г.	08.07. 2023 г.	06.07. 2014 г.	06.07. 2018 г.	08.07. 2023 г.	06.07. 2014 г.	06.07. 2018 г.	08.07. 2023 г.
Территориальное лесничество	0,72332	0,74004	0,74273	0,45563	0,45317	0,4503	3,40933	3,64539	3,40933
Участковые лесничества									
Барашевское	0,74066	0,76489	0,76153	0,45642	0,45432	0,45269	3,63577	3,98541	3,63577
Кочемировское	0,72535	0,72549	0,74503	0,45215	0,4515	0,45215	3,35746	3,47216	3,35746
Темниковское	0,72727	0,74995	0,75089	0,45098	0,45329	0,45098	3,526	3,79055	3,52600
Теньгушевское	0,73129	0,74293	0,74626	0,4597	0,45508	0,45197	3,47542	3,60161	3,47542
Харинское	0,69637	0,72489	0,72985	0,45141	0,45483	0,45141	3,11561	3,45980	3,11561
Целевое назначение и категории защитных лесов									
Леса, расположенные в защитных полосах лесов	0,70384	0,72186	0,7341	0,4522	0,45168	0,4522	3,19715	3,41789	3,39725
Запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов	0,73363	0,75329	0,75706	0,45946	0,45497	0,45946	3,66835	3,84497	3,75406
Леса, расположенные в лесопарковых зонах	0,68204	0,7157	0,71713	0,4502	0,45441	0,45022	2,93606	3,24830	3,12461
Противоэрозионные леса	0,70246	0,71156	0,74393	0,45129	0,4557	0,45129	3,35788	3,43475	3,61548
Эксплуатационные леса	0,72461	0,74086	0,74638	0,45211	0,45354	0,45211	3,40354	3,64874	3,52477

Оценка общего количества фитомассы по NDVI показывает, что территория Темниковского территориального лесничества соответствует классу «густой растительности» общепринятой шкалы данного индекса. При этом значения с 2014 по 2023 г. имеют тренд на увеличение (с 0,72332 до 0,74273). Данная тенденция характерна для всех участковых лесничеств, при этом для Харинского участкового лесничества значение NDVI изменилось с класса «разреженная растительность» (0,69637) на класс «густая растительность» (0,72985). В 2023 г. во всех пяти участковых лесничествах наблюдаются значения выше 0,7.

Аналогичная ситуация регистрируется при анализе территории в разрезе целевого назначения. Как для категорий защитных лесов, так и для эксплуатационных лесов показатель NDVI демонстрирует рост. Наибольшие значения в 2023 г. характерны для эксплуатационных лесов (0,74638) и запретных полос лесов, расположенных вдоль водных объектов (0,75706).

NDWI ежегодно имеет высокие показатели на территории всего территориального

лесничества (более 0,45). Анализ значений по участковым лесничествам показывает, что за все периоды наблюдений сохраняются стабильные значения, соответствующие уровню «зеленая растительность, насыщенная водой» общепринятой шкалы данного индекса.

В формуле NDWI используется канал SWIR, который реагирует не только на изменения содержания воды в листовых пластинах, но и на условия увлажнения в верхнем слое почвы. Закономерно, что для запретных полос, расположенных вдоль водных объектов, данный показатель несколько выше, чем для остальных категорий. Повышенные значения NDWI в апреле по отношению к октябрю обусловлены распусканием листьев, накоплением в них влаги, а также сохраняющейся влажностью почвы после весеннего снеготаяния.

Вегетационный индекс C_lgreen показывает оценку фотосинтетической активности растительного покрова. Чем она выше, тем больше в листьях растений содержится хлорофилла.

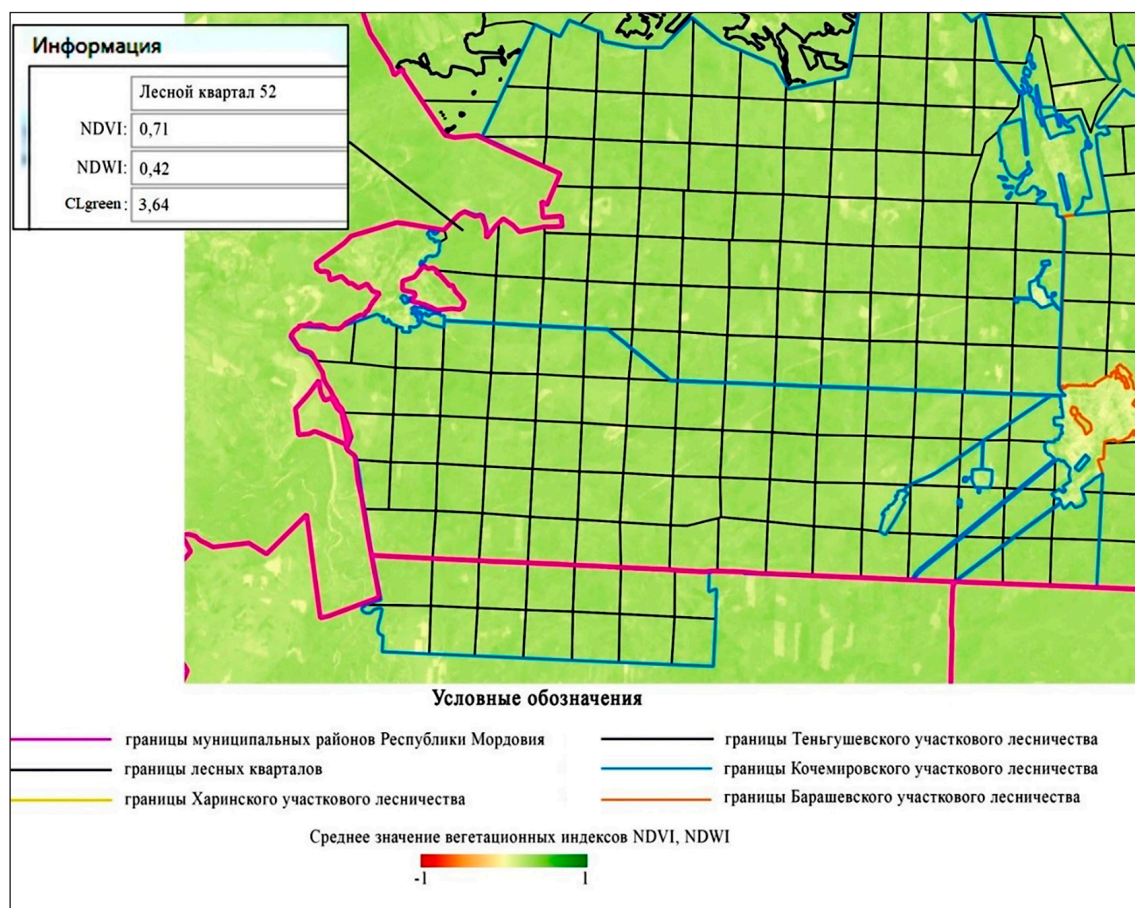


Рис. 4. Средние значения вегетационных индексов по лесным кварталам

В целом для территории Темниковского территориального лесничества индекс Clgreen выше 3,41, что свидетельствует о высокой фотосинтетической активности лесных земель. При этом в сравнении 2018 и 2023 гг. показатель несколько снизился (с 3,64539 до 3,40933). Значения по участковым лесничествам в 2018 г.: Барашевское – 3,99, Кочемировское – 3,47, Темниковское – 3,79, Теньгушевское – 3,60, Харинское – 3,46. Результаты анализа лесной растительности по целевому назначению и категориям защитных лесов показали, что наименьшее значение вегетационный индекс принимает в категории лесов, расположенных в лесопарковых зонах, а наибольшее регистрируется для запретных полос лесов, расположенных вдоль водных объектов.

Для более эффективной интерпретации пространственной мониторинговой информации о параметрах залесенных территорий и принятия управленческих решений создан полигональный слой с лесными

кварталами, в котором каждой единице присвоено усредненное значение вегетационных индексов (рис. 4).

Результаты расчета вегетационных индексов и автоматизированной контролируемой кластеризации космических снимков методом максимального подобия позволили провести анализ динамики лесопокрытой территории в границах Темниковского территориального лесничества за последние 10 лет в период 2014–2023 гг. Были определены территории, расчищенные от леса в 2014–2023 гг.; территории, залесенные в 2014–2023 гг., и территории без изменений лесного покрова (рис. 5).

По данным геоинформационного мониторинга площадь территорий, расчищенных от леса в 2014–2023 гг., составила 2561,80 га. Площадь территорий, залесенных в 2014–2023 гг., – 2027,10 га. Площадь лесопокрытых территорий в 2014–2023 гг. уменьшилась на 534,70 га. Наибольшие изменения зарегистрированы для Барашевского и Харинского лесничеств.

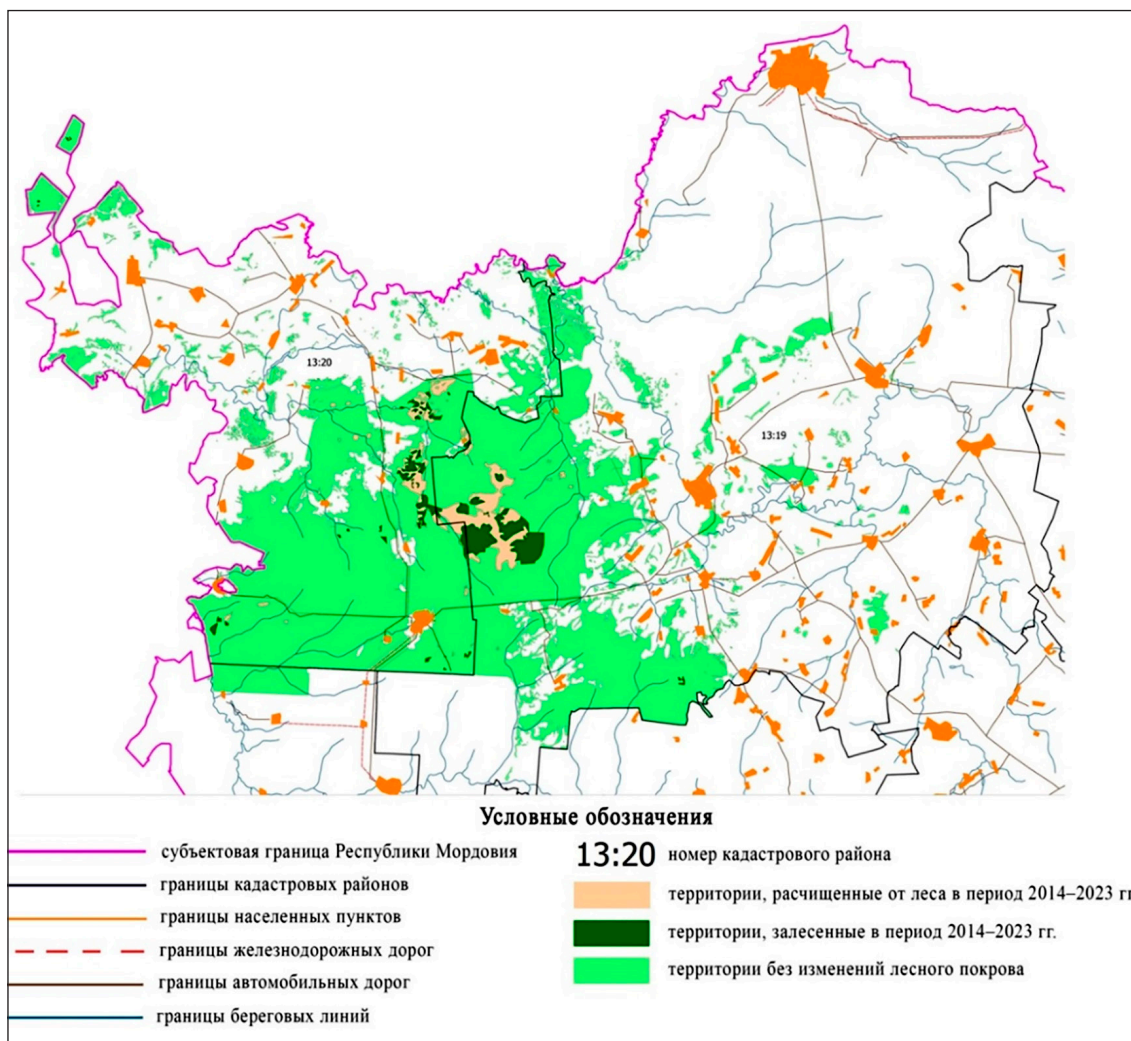


Рис. 5. Изменение лесистости на территории Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия в 2014–2023 гг.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлены важнейшие качественные и количественные особенности лесных земель в составе Темниковского территориального лесничества. Спроектированы электронные слои и базы данных, отражающие пространственные характеристики лесопокрытых территорий. Результаты могут быть использованы как для мониторинга земель лесного фонда в рамках государственного мониторинга земель, так и при реализации программ других видов государственного экологического мониторинга, например государственного мониторинга воспроизводства лесов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу

с 01.09.2024) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 07.09.2024).

2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 07.09.2024).

3. Лесной кодекс Российской Федерации от 04 декабря 2006 г. № 200-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 07.09.2024).

4. Лесохозяйственный регламент Темниковского территориального лесничества Республики Мордовия / Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия. Саранск, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://e-mordovia.ru/gosudarstvennaya-vlast-rm/ministerstva-i-vedomstva/ministerstvo-prm/informatsiya-dlya-grazhdan/lesokhozyaystvennyy-reglament-temnikovskogo-territorialnogo-lesnichestva/> (дата обращения: 07.09.2024).

5. Постановление Правительства Республики Мордовия от 29 января 2024 г. № 74 «О внесении изменений в Схему территориального планирования Республики Мордовия». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/408451539/> (дата обращения: 07.09.2024).

6. Zanter K. Landsat 8 (L8): data users handbook. Sioux Falls, South Dakota: Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2019. 106 с.
7. Оплетаев А.С., Жигулин Е.В., Косов В.А. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 3 (70). С. 15–23.
8. Barka I., Bucha T., Molnar T., Móricz N., Somogyi Z., Koreň M. Suitability of MODIS-based NDVI index for forest monitoring and its seasonal applications in Central Europe // Central European Forestry Journal. 2019. Vol. 66. P. 206–217. DOI: 10.2478/forj-2019-0020.
9. Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Шабайкина В.А., Зарубин О.А., Кирюшин А.В. Геоинформационное моделирование метагеосистем города для принятия управленческих решений в сфере экологии // Успехи современного естествознания. 2023. № 8. С. 76–85. DOI: 10.17513/use.38091.
10. Васильченко А.А., Выприцкий А.А. Картографирование лесных насаждений Волгоградской области по данным ДЗЗ с использованием индексов BSFI и NDWI // Геодезия и картография. 2023. Т. 84, № 10. С. 39–49.
11. Hussein S.Ja., Naji R.H. Modelling the Behaviour of Vegetation Indicators (NDVI – NDWI – IPVI) in Busaiya District Using GIS-RS // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1225, Is. 1. P. 012–013. DOI: 10.1088/1755-1315/1225/1/012013.
12. Xu X., Du H., Zhou G., Mao F., Li X., Zhu D., Li Ya., Cui L. Remote estimation of canopy leaf area index and chlorophyll content in Moso bamboo (*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.) forest using MODIS reflectance data // Annals of Forest Science. 2018. Vol. 75, Is. 33. P. 07–21. DOI: 10.1007/s13595-018-0721-y.
13. Дмитриев Е.В., Кондранин Т.В., Мельник П.Г., Донской С.А. Определение видового состава смешанного леса на основе совместной обработки публичных спутниковых карт и многовременных изображений Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 1. С. 31–50.

УДК 911.9:332.3
DOI 10.17513/use.38333

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Кузьмин К.А., Иванова С.А., Козикова Ю.С., Кулакова А.С.

*ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов,
e-mail: ka_kuzmin@mail.ru*

Целью исследования стало изучение структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур в Тамбовской области и ее изменения за 50-летний период. Использовались данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики, Управления Росреестра и Министерства сельского хозяйства Тамбовской области. Исследованный временной период охватывает этап активного колхозного и совхозного строительства 1970-х годов, конец плановой хозяйственной системы и переход на рыночную частновладельческую организацию землепользования в начале 1990-х годов, период стагнации сельского хозяйства конца 2000-х годов и время роста сельскохозяйственного производства и возврата в оборот множества ранее заброшенных земель, начавшийся в 2010-х годах и длящийся по настоящее время. Структура посевных площадей усреднялась и сравнивалась по пятилетним периодам. Отмечено большое сокращение посевных площадей в рассматриваемом регионе после периода 1991–1995 годов, обусловленное кризисом, вызванным реорганизацией всей сельскохозяйственной отрасли вследствие изменившегося социально-экономического устройства государства. С периода 2013–2017 годов отмечается увеличение посевных площадей, связанное с восстановлением и развитием агропромышленного комплекса. При этом структура посевных площадей в регионе существенно изменилась. За исследованный 50-летний период отмечается сокращение посевной площади многих зерновых культур при росте площади посевов пшеницы озимой. Выявлено существенное увеличение доли пропашных культур в общей посевной площади. Посевы кормовых трав сокращаются с начала 1990-х годов. Выявленные тенденции и современная структура посевных площадей Тамбовской области свидетельствуют о перенасыщении севооборотов пропашными культурами при почти полном отсутствии кормовых трав, что увеличивает нагрузку на ресурсы почвенного плодородия и создает риски его деградации.

Ключевые слова: земельный фонд, сельское хозяйство, сельскохозяйственные угодья, агроландшафт, посевная площадь, Тамбовская область

STRUCTURE AND DYNAMICS OF SOWING AREAS IN THE TAMBOV REGION OVER THE LAST 50 YEARS

Kuzmin K.A., Ivanova S.A., Kozikova Ju.S., Kulakova A.S.

Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: ka_kuzmin@mail.ru

The aim of the work was to study the structure of sown areas of agricultural crops in the Tambov region and its changes over a 50-year period. The data of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service, the Office of Rosreestr and the Ministry of Agriculture of the Tambov Region were used. The studied time period covers the stage of active collective and state farm construction in the 1970s, the end of the planned economic system and the transition to a market private organization of land use in the early 1990s, the period of stagnation in agriculture in the late 2000s, and the time of growth in agricultural production and the return of many previously abandoned lands to circulation, which began in the 2010s and continues to the present. The structure of sown areas was averaged and compared over five-year periods. A significant reduction in sown areas in the region under consideration was noted after the period of 1991–1995, caused by the crisis caused by the reorganization of the entire agricultural sector under the changed socio-economic structure of the state. Since the period of 2013–2017, an increase in sown areas has been noted, associated with the restoration and development of the agro-industrial complex. At the same time, the structure of sown areas in the region has changed significantly. Over the 50-year period studied, a reduction in the sown area of many grain crops has been noted with an increase in the area of winter wheat crops. A significant increase in the share of row crops in the total sown area has been revealed. Forage grass crops have been declining since the early 1990s. The identified trends and the current structure of the sown areas of the Tambov Region indicate an oversaturation of crop rotations with row crops with an almost complete absence of forage grasses, which increases the load on soil fertility resources and creates risks of its degradation.

Keywords: Land fund, agriculture, agricultural land, agro-landscape, sown area, Tambov Region

Введение

Понимание важности рационального использования земельных ресурсов нашло отклик как в научно-практических разработках специалистов в области земледелия [1], так и в государственной [2] и региональной политике [3, с. 658].

Обеспечение стабильных урожаев без вреда экологическому состоянию агроландшафтов, главными угрозами которому являются истощение почвенного покрова и деградация его агрохимических качеств, возможно путем приведения систем земледелия в соответствие с климатическими, гидрологическими, литолого-геоморфоло-

гическими и почвенным характеристиками территории. Ведущей стратегией для достижения этого соответствия видится разработка научно обоснованных адаптивно-ландшафтных систем земледелия [1], гибко учитывающих природно-климатические особенности и социально-экономический уклад аграрных регионов. Современное экологически сбалансированное землепользование ставит в приоритет всестороннее изучение климатических, геоморфологических, почвенных и других особенностей земельного фонда [4, с. 239], оценку и картографирование продуктивности сельскохозяйственных угодий и их агроклиматического потенциала [5], а также требует упорядочения норм в области земельных отношений и законодательной защиты наиболее ценных земель [6].

При всей значимости природно-ресурсного потенциала территории, лимитирующего урожайность сельскохозяйственных культур и обуславливающего возможности их возделывания, структура посевных площадей региона или отдельного района часто находится в противоречии с научно обоснованными рекомендуемыми системами земледелия и в большей степени зависит от спроса рынка на определенные виды продукции.

Посевной площадью называется площадь пашни, занятая посевами тех или иных сельскохозяйственных культур. По ней можно судить о потенциале агропромышленного комплекса, степени развития растениеводства, его специализации, а также существующих недостатках земледелия через призму экологически сбалансированного природопользования.

В связи с этим структура посевной площади сельскохозяйственных культур и ее динамика за продолжительный период времени становятся важными индикаторами состояния сельского хозяйства страны или региона, анализ которых способен дать оценку соответствия сложившейся системы использования земельных ресурсов природно-климатическим условиям и оптимальным для данной территории агротехнологиям.

Большая часть территории Тамбовской области находится в пределах Окско-Донской низменной равнины, расположенной между Среднерусской и Приволжской возвышенностями, по ней легко проходят северный арктический воздух зимой и сухие южные ветра летом. Окско-Донская равнина получает меньше осадков, чем Среднерусская возвышенность, зимы здесь про-

должительнее и холоднее. Климат Тамбовской области характеризуется как умеренно-континентальный [7].

Период с положительной, то есть выше 0°C , среднесуточной температурой длится в среднем 245 дней. Сумма активных температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет примерно 2850°C на юге и 2750°C на севере области. Период со среднесуточной температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ в среднем составляет 162–164 дня и длится с третьей декады апреля по первую декаду октября. За период почти 90-летних наблюдений отмечается смещение дат перехода среднесуточных температур через $+10^{\circ}\text{C}$ на более ранние сроки весной и более поздние – осенью [8, с. 358–359]. Количество атмосферных осадков в Тамбовской области уменьшается с северо-запада на юго-восток. В среднем по региону на холодный период года приходится 185 мм, а на теплый – 342 мм осадков [9, с. 24]. Больше всего осадков выпадает в июле, примерно 60–70 мм, меньше всего – в феврале и марте (25–30 мм). Регион характеризуется значительной испаряемостью, что влияет на увлажнение территории. Согласно среднесуточным данным, гидротермический коэффициент Селянинова на территории Тамбовской области в течение года изменяется от 0,8 до 1,4. В период вегетации растений увлажнение близко к оптимальному с мая по июль, но в августе – уже недостаточное [10, с. 27].

Тем не менее, равнинный рельеф и агроэкологические характеристики почв региона весьма благоприятны для выращивания основных сельскохозяйственных культур Центрального Черноземья (озимой и яровой пшеницы, ячменя, кукурузы на зерно и корм, сахарной свеклы, подсолнечника, сои). На территории Тамбовской области, расположенной в лесостепной природной зоне, широко распространены черноземные почвы, сформированные на лессовидных суглинках и глинах. В северной части региона преобладают черноземы выщелоченные, в центральной части распространены черноземы выщелоченные и типичные с сохранением преобладания первых, в южной части преобладают черноземы типичные. Всего черноземы занимают 85,8% площади сельскохозяйственных угодий региона [11, с. 18].

В структуре земель Тамбовской области ярко прослеживается ее агропромышленная специализация. Сельскохозяйственные угодья занимают 79% территории области, при этом пашня вместе с залежью составляет 62%, кормовые угодья – 16,1%, много-

летние насаждения фруктовых растений – 0,9% площади региона.

Ведущей отраслью сельского хозяйства в Тамбовской области является растениеводство, доля продукции которого составляет более 63% от объема продукции сельского хозяйства. По состоянию на 2023 год регион занимает лидирующие позиции по многим направлениям растениеводства: 3-е место в ЦФО и 8-е в России – по производству зерна, 2-е место в ЦФО и 9-е в России – по сбору семян подсолнечника, 4-е место в ЦФО и 5-е в России – по сбору соевых бобов, 2-е место в ЦФО и 3-е в России – по производству сахарной свеклы [12]. Переработку продуктов растениеводства обеспечивают предприятия пищевой промышленности региона: Жердевский, Инжавинский, Кирсановский маслобойные заводы, Жердевский, Знаменский, Кирсановский, Никифоровский, Уваровский сахарные заводы; ряд других предприятий.

Цель исследования – проанализировать посевные площади различных сельскохозяйственных культур и их изменения на территории Тамбовской области за период 1973–2022 годов.

Материал и методы исследования

Структура и динамика посевных площадей Тамбовской области рассматриваются за 50-летний период. В работе использованы материалы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Тамбовской области, Управления Росреестра по Тамбовской области и Министерства сельского хозяйства Тамбовской области. Имеющиеся статистические материалы охватывают время активно-

го колхозного и совхозного строительства 1970-х годов, конец советской хозяйственной системы и начало земельной реформы 1991–1995 годов, стагнационный период конца 2000-х годов и этап восстановления сельского хозяйства Центрального Черноземья и России в целом, начавшийся в 2010-х годах и длящийся в настоящий момент. Динамика изменений посевных площадей Тамбовской области рассматривалась по пятилетним периодам, где площади посевов различных культур усреднялись за пять лет.

Результаты исследования и их обсуждение

К началу 1970-х годов Тамбовская область имела внушительную площадь сельскохозяйственных угодий – 2690,9 тыс. га, в том числе пашни – 2270,1 тыс. га [13, с. 11]. В регионе шли активное сельскохозяйственное освоение земельного фонда и интенсификация производства. Проводившаяся масштабная гидромелиорация включала осушение переувлажненных низменных земель, строительство прудов и водохранилищ для нужд орошения. Уже в период 1973–1977 годов усредненная площадь посевов сельскохозяйственных культур составила 2279,2 тыс. га, т.е. более 66,1% от суммарной площади региона в 3446,2 тыс. га (рис. 1).

До периода 2008–2012 годов включительно имело место существенное сокращение посевных площадей. В 1991–1995 годах усредненная посевная площадь области составляла уже 1939,3 тыс. га, а в 2008–2012 годах – 1455,7 тыс. га. В целом это соответствует общему сокращению площади пашни с 2268,8 тыс. га в 1992 году до 2071,7 тыс. га в 2006 году.

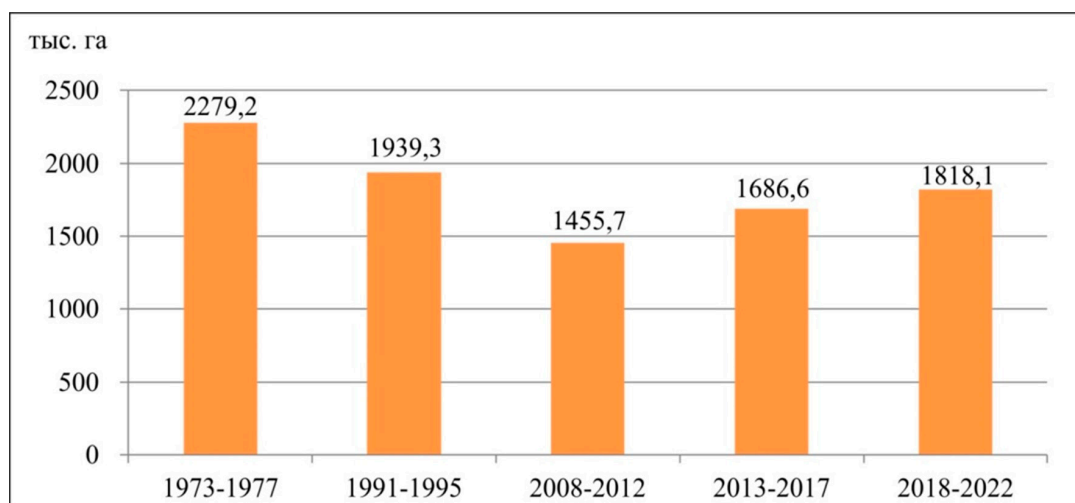


Рис. 1. Динамика посевных площадей Тамбовской области за 50 лет по пятилетним периодам

Однако, если в 1992 году доля площади посевов в общей заявленной площади пашни составляла 89,7%, то в последующие годы она сокращалась, достигнув 63,5% в 2005 году. Затем доля посевной площади в площади пашни возросла и в 2022 году составила 89,7%. Разность между совокупной заявленной площадью пахотных угодий и посевной площадью должна определять незасеваемые пахотные земли, ежегодно оставляемые под паром. Однако доля чистого пара в севооборотах Тамбовской области невелика. Паровые поля ежегодно занимают небольшую часть пашни, и соотношение чистого пара к посевным площадям составляло до 2010 года примерно 3:10, а к настоящему времени сократилось до 1:10. Очевиден недоучет залежных земель в период сокращения и стагнации посевных площадей 1992–2012 годов, возможно вызванный сложностью учета использования или неиспользования сельскохозяйственных угодий в период активного переустройства земельных отношений, постоянной смены собственников или их отсутствия. В статистике Росреестра залежь указывается как отдельный вид сельскохозяйственных угодий, и значительный рост ее площади фиксируется в период 1995–2010 годов с наибольшим значением 140,7 тыс. га в 2006 году. В действительности же площадь заброшенных пахотных земель должна быть существенно больше за период 1990–2000 годов и достигать порядка 355–487 тыс. га в самые кризисные для сельского хозяйства годы.

Вместе с тем с 1992 года в Тамбовской области фиксируется рост площади угодий, отнесенных к кормовым, – с 456,8 до 554,8 тыс. га к 2021 году. При этом площадь убранных сенокосов в 2001 году составляла 7,2 тыс. га, а в 2022 году – всего 1,8 тыс. га. Свободный выпас скота сохранился в основном в хозяйствах населения, а крупные животноводческие предприятия давно практикуют исключительно стойловое содержание. Таким образом, подавляющая часть естественных кормовых угодий региона не используется для заготовок кормовой массы и выпаса животных.

Сокращение посевных площадей и рост залежи в Тамбовской области соответствовали макрорегиональному и общероссийскому тренду, что было закономерно связано с социально-экономическими последствиями стремительного перехода к рыночной экономике с многообразием форм собственности на землю. Реорганизация и приватизация крупных хозяйств в 1990-х годах сопровождались прекращением их деятельно-

сти, массовым оттоком сельского населения и забросом значительной части сельскохозяйственных угодий, переводом земель сельскохозяйственного назначения в другие категории земель. В целом с 1992 года площадь сельскохозяйственных угодий сократилась с 2757,5 тыс. га до 2724,3 тыс. га к 2017 году.

С 2013 года в Тамбовской области наблюдается довольно стабильный рост площади посевов сельскохозяйственных культур. Только 2016 и 2018 годы характеризовались небольшим сокращением посевных площадей. За период 2013–2017 годов усредненная посевная площадь составляла 1686,6 тыс. га, а за 2018–2022 годы – 1818,1 тыс. га.

За рассматриваемые на рисунке 1 временные периоды структура посевов претерпела существенные изменения (рис. 2). С периода 1970-х годов сократились посевные площади целого ряда зерновых и хлебных культур. Посевная площадь гречихи уменьшилась в 2,1 раза, ржи озимой – в 27 раз, овса – в 29 раз, проса – в 118 раз.

Посевы ячменя ярового всегда занимали в регионе значительные площади, тем не менее, их доля в общей посевной площади сокращалась в каждом 5-летнем периоде с 25,5% в 1972–1977 годах до 15,4% в 2018–2022 годах.

Доля посевов пшеницы озимой росла с 8% в 1970-х годах до 24,1% в 2013–2017 годах, немного сократившись за последний 5-летний период. Посевная площадь пшеницы яровой характеризовалась сокращением в 1991–1995 годах, но к настоящему времени доля ее посевов в значительной мере восстановилась и составила в 2018–2022 годах 10,9%, что превышает долю пшеницы яровой в общей посевной площади 1970-х годов.

Посевная площадь гороха сокращалась до периода 2008–2012 годов, затем отмечается ее рост в 2013–2017 годах. В последний рассматриваемый пятилетний период площадь посевов данной зернобобовой культуры снова немного сократилась и занимала долю 2,5% от общей посевной площади.

В период 1973–1977 годов в структуре посевных площадей наблюдались заметные доли однолетних (4,9%) и многолетних трав (4,3%). Для периода 1991–1995 годов характерен рост их доли в посевной площади, что являлось результатом введения активного травосеяния и развития животноводства в конце советской эпохи. В последующее время данная тенденция не сохранилась, и доли трав в посевах постепенно сокращались, составив к периоду 2018–2022 годов 0,6% у однолетних и 1,4% у многолетних трав.

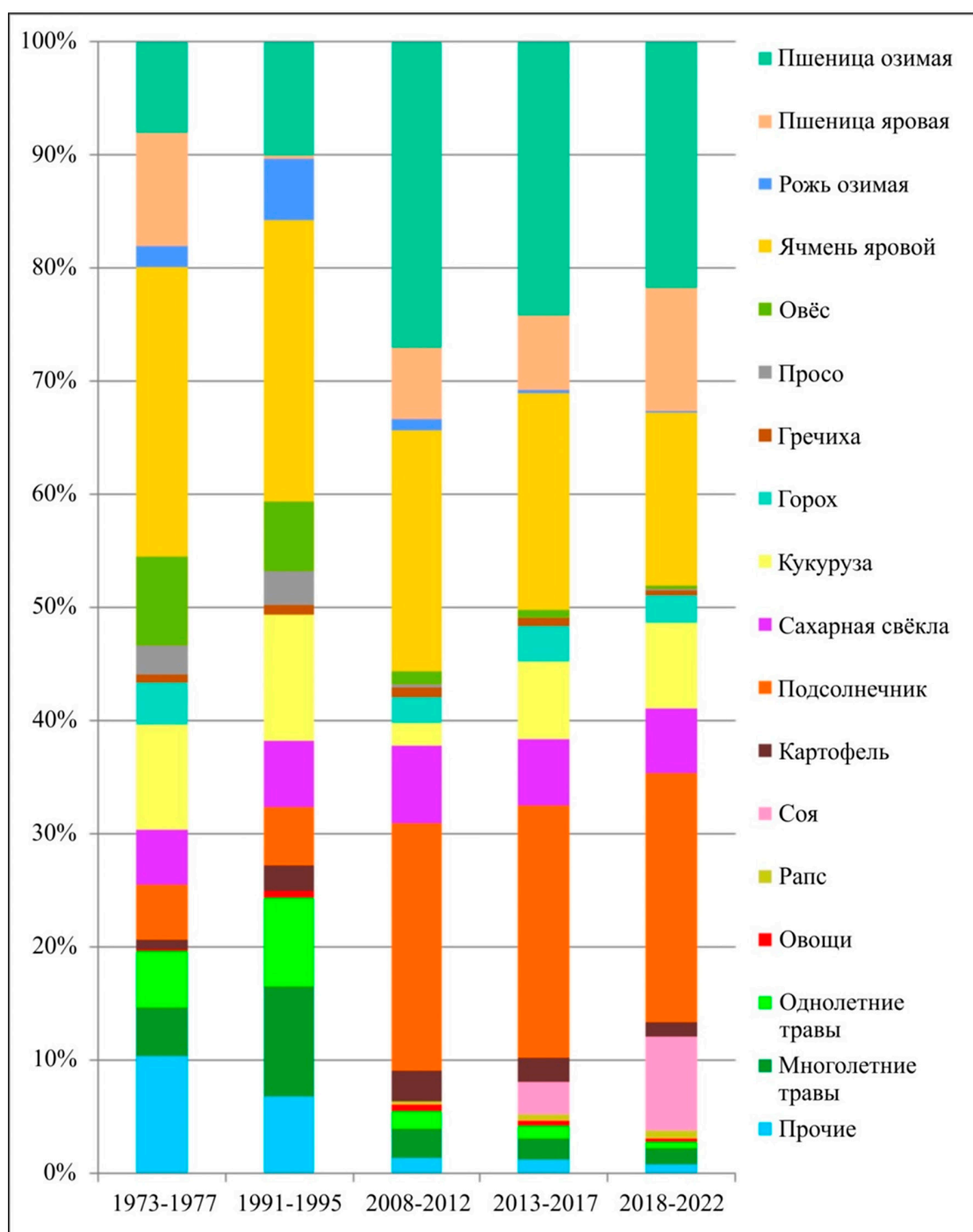


Рис. 2. Структура посевных площадей Тамбовской области по различным культурам за 50 лет по пятилетним периодам

За 50-летний период наблюдается общая динамика увеличения доли посевов пропашных культур. Особо выделяется рост посевной площади подсолнечника, как в дольном соотношении, так и в абсолютной площади. С 1973–1977 по 2018–2022 годы площадь посевов подсолнечника возросла со 108,8 тыс. га до 400,3 тыс. га.

Посевная площадь сахарной свеклы с начала 1990-х годов до периода 2008–2012 годов сокращалась, хотя ее доля в общей посевной площади за то же время и возросла. К периоду 2018–2022 годов доля посевной площади сахарной свеклы составляет 5,7%, что превышает ту долю, которую она занимала в 1973–1977 годах (4,9%), однако

в абсолютных значениях уровень сеяния свеклы тех лет еще не достигнут.

Максимум посевной площади кукурузы отмечен в начале 1990-х годов, когда она активно выращивалась на корм для нужд животноводства. После периода резкого сокращения посевной площади кукурузы в 2008–2012 годах ее абсолютные значения и доли в общей площади посевов возрастают. Посевы кукурузы, как зерновой, так и кормовой, к 2018–2022 годам в Тамбовской области занимают 7,6% от общей площади посевов, при этом в настоящий момент абсолютно преобладают посевы кукурузы на зерно.

За периоды 1991–1995 и 2008–2012 годов наблюдается увеличение доли посевных площадей картофеля и других овощных культур, что связано с развитием индивидуальных огороднических, садоводческих и дачных хозяйств на фоне дезорганизации крупных форм землепользования. В настоящее время наблюдается обратная динамика, с периода 2013–2017 годов посевы картофеля и овощей, как и их доли в общей посевной площади, уменьшаются, но по-прежнему превышают значения 1973–1977 годов.

С 2000-х годов в структуре посевных площадей Тамбовской области появляются новые для региона сельскохозяйственные культуры. С 2013 года отмечается ежегодный рост посевной площади сои, что соответствует макрорегиональным и общероссийским тенденциям. Опираясь на муниципальные данные последних лет, можно ожидать сохранение данной динамики и дальнейшее приобретение отдельными муниципальными округами Тамбовской области специализации на выращивании сои. Посевы рапса в области фиксируются с 2008 года и не имели четкой тенденции, пока с 2019 года не стал наблюдаться устойчивый рост посевной площади данной культуры.

Исходя из имеющейся структуры посевных площадей последних лет и их вероятностного изменения, актуализируется проведение обновленного сельскохозяйственного и агропромышленного районирования Тамбовской области, в последний раз проводившегося 15 лет назад [14]. Такой анализ должен отражать меняющуюся специализацию муниципалитетов области, показывая изменения посевных площадей основных сельскохозяйственных культур (пшеницы озимой, ячменя ярового, подсолнечника, сахарной свеклы, кукурузы), а также динамичный рост посевов рапса и в особенности сои, становящейся значи-

мой региональной культурой для сельского хозяйства всего Центрального Черноземья.

Агроклиматический и почвенный потенциал рассматриваемой природно-сельскохозяйственной зоны определяет набор возделываемых сельскохозяйственных культур, но их соотношение в общей посевной площади складывается в основном из рыночной конъюнктуры. Высокая экономическая окупаемость возделывания небольшого ряда сельскохозяйственных культур в особенности отражается на малых сельхозпроизводителях. Крупнотоварное производство такой ресурсоемкой отрасли сельского хозяйства, как животноводство, по большей части переключилось на крупные агрохолдинги. Узкая и исключительно растениеводческая специализация множества фермерских хозяйств отражается в несбалансированных севооборотах с высоким насыщением одной-двумя пропашными культурами (подсолнечника, кукурузы, сои, сахарной свеклы) и отсутствием почвосберегающих кормовых трав, что приводит к серьезным экологическим издержкам, интенсивной эксплуатации ресурсов почвенного плодородия, необходимости повышенного расхода минеральных и органических удобрений, средств защиты растений. Высокая доля в севообороте таких культур, как сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник, слабо защищающих почву от смыва и размыва, способствует развитию водной эрозии даже на весьма пологих склонах, особенно при несоблюдении известных агротехнических приемов.

Площадь посевов основной зерновой культуры региона – пшеницы озимой – за рассмотренный 50-летний период увеличилась почти в 2,2 раза. Рост площади посевов озимых можно связать с уменьшением рисков их возделывания ввиду смягчения и уменьшения продолжительности зим, а также выведения более морозоустойчивых сортов. Посевы пшеницы яровой за данный период сократились, но имеют тенденцию к увеличению в последние годы. Посевные площади прочих зерновых культур, кроме кукурузы, в разной степени продолжают сокращаться. Выявлен рост доли пропашных культур в общей посевной площади региона, прежде всего за счет подсолнечника. Совокупная посевная площадь пропашных культур в 1970–1990 годах составляла 20% от общей площади посевов области, а к современному периоду достигла почти 49%.

К концу советской эпохи множество многопрофильных коллективных и государственных хозяйств (колхозов и совхо-

зов) Тамбовской области обеспечивали активное развитие мясного и молочного животноводства в регионе. В севооборотах поддерживалась высокая доля кормовых культур. Ежегодные посевные площади однолетних и многолетних трав в совокупности достигали более 350 тыс. га к началу 1990-х годов. В последующее время посевы кормовых трав неуклонно сокращались. К 2018–2022 годам площадь посевов многолетних трав сократилась в 7,8 раза, однолетних трав – в 14,5 раза, а их доли в общей посевной площади уменьшились в 7 и 13 раз соответственно.

Выводы

Сокращение посевов однолетних и многолетних трав, ряда зерновых культур вместе с увеличением посевной площади крайне требовательных к минеральному и водному питанию пропашных культур увеличивают нагрузку на почвы как источник ресурсов для питания растений. Обостряются риски истощения почв, деградации их агрохимических и агрофизических свойств, обеспечивающих почвенное плодородие.

Проведенный анализ структуры и динамики посевных площадей указывает на необходимость совершенствования структуры сельскохозяйственного производства Тамбовской области в соответствии с принципами экологической устойчивости. Намечавшаяся в регионе интенсификация растениеводства, особенно в части проектирования систем мелиорации, должна опираться на всесторонний учет качества земельных ресурсов. Разработка сбалансированных систем земледелия на ландшафтно-экологической основе потребует от сельхозпроизводителей региона научного сопровождения и принятия мер организационно-правовой поддержки многоукладного ведения хозяйства, таких как развитие местной кормовой базы для животноводства, выработка оптимальных с точки зрения сбережения почвенного плодородия и экономически рентабельных севооборотов, а также осуществления мониторинга соблюдения данных севооборотов.

Список литературы

1. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130-1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062.
2. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации / Министерство сельского хозяйства РФ. Москва, 2020. 23 с.
3. Савченко Е.С., Кирюшин В.И., Лукин С.В. Опыт биологизации агротехнологий при освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Белгородской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6(390). С. 658-661. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_658.
4. Буковский М.Е., Кузьмин К.А. Морфометрический анализ рельефа северо-западной части Тамбовской области // Региональные геосистемы. 2024. Т. 48, № 2. С. 236-253. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-2-236-253.
5. Чуян О.Г., Караулова Л.Н., Митрохина О.А., Золотухин А.Н. Реализация природно-ресурсного потенциала агроландшафтов Центрального Черноземья // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 3-8. DOI: 10.31857/S2500262721040013.
6. Ресин В.И., Носов С.И., Бондарев Б.Е., Свинцова Т.Ю., Шведов А.В. Проблемы выделения особо ценных земель в субъектах Российской Федерации // Горизонты экономики. 2024. № 1(81). С. 97-105.
7. Следников А.А. Климатические ресурсы Тамбовской области. Тамбов: Издательство Тамбовского государственного университета, 1994. 100 с.
8. Печагина Д.С., Кузьмин К.А., Семенова А.В., Буковский М.Е. Определение дат устойчивого перехода температур через климатические пределы в Тамбовском районе // Геоэкология: теория и практика: сборник научных трудов Всероссийской студенческой конференции с международным участием, Москва, 20–21 ноября 2020 года. М.: РУДН, 2020. С. 355-361.
9. Дудник С.Н., Буковский М.Е., Шалагина А.Г. Динамика количества атмосферных осадков на территории Тамбовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. № 2. С. 22-26.
10. Буковский М.Е., Дудник С.Н., Шалагина А.Г., Щетинин В.Н. Многолетняя динамика увлажнения территории Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2017. № 2(64). С. 24-28. DOI: 10.17277/voprosy.2017.02.pp.024-028.
11. Бадин А.Е., Логошина Т.П. Мониторинг плодородия почв Тамбовской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 10. С. 18-21. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11004.
12. Информация о развитии сельского хозяйства Тамбовской области в 2023 году / Министерство сельского хозяйства Тамбовской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://agro.tmbreg.ru/common.html> (дата обращения 21.10.2024).
13. Адерихин П.Г., Ахтырцев Б.П., Мусиков К.К. Земельный фонд Тамбовской области и его качественная оценка. Воронеж: Издательство ВГУ, 1974. 184 с.
14. Инякина Е.Е. Агропромышленное районирование Тамбовской области // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2009. Т. 14, № 1. С. 173-176.

УДК 551.5:627.133
DOI 10.17513/use.38334

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ БАКСАН

Кучменова И.И., Атабиева Ф.А.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: ira_kuchmenova@mail.ru

Целью исследования является анализ многолетней изменчивости стока воды и суммы ионов в реке Баксан, а также оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование речного стока. В исследовании рассматривается влияние метеорологических показателей на долгосрочные изменения стока реки Баксан. Многолетние гидрометеорологические данные были представлены ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» с гидрологического поста р. Баксан – с. Заюково и метеорологической станции Терскол. Статистическая обработка данных проведена с помощью стандартного пакета Excel. Анализ 55-летних (1967 – 2022 гг.) наблюдений показал значительное повышение температуры воздуха с 1990 года, но отсутствие изменений в общем количестве осадков. Исследование показало, что повышение среднегодовых температур после 1990 года привело к изменениям внутригодового распределения стока. За период наблюдений с 1967 по 2022 г. р. Баксан – с. Заюково в соответствии с классификацией В.Л. Шульца имеет ледниково-снеговое питание, за исключением 5 лет, когда тип питания можно охарактеризовать как снего-ледниковое. Кроме того, был проведен сравнительный анализ изменения суммы ионов в 1970 – 1972 гг. с современными данными за 2020 – 2022 гг. Выявлено, что в настоящее время как в межливневый период, так и в период половодья в воде р. Баксан – с. Заюково сумма ионов уменьшилась по сравнению с 1970 – 1972 гг.

Ключевые слова: ледниково-снеговой тип питания, атмосферные осадки, температура воздуха

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL INDICATORS ON THE HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL REGIME OF THE BAKSAN RIVER

Kuchmenova I.I., Atabieva F.A.

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: ira_kuchmenova@mail.ru

The aim of the study is to analyze the long-term variability of water runoff and the sum of ions in the Baksan River, as well as to assess the influence of air temperature and precipitation on the formation of river runoff. The study considers the influence of meteorological indicators on long-term changes in the Baksan River runoff. Long-term hydrometeorological data were provided to the Federal State Budgetary Institution “North Caucasus Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring” from the Baksan River – Zayukovo village hydrological post and the Terskol meteorological station. Statistical data processing was carried out using the standard Excel package. The analysis of 55-year (1967 – 2022) observations showed a significant increase in air temperature since 1990, but no changes in the total amount of precipitation. The study showed that the increase in average annual temperatures after 1990 led to changes in the intra-annual distribution of runoff. During the observation period from 1967 to 2022, the Baksan River – Zayukovo village changed its flow rate in accordance with the classification of V.L. The Schultz River has glacial-snow feeding, with the exception of 5 years, when the feeding type can be characterized as snow-glacial. In addition, a comparative analysis of the change in the sum of ions in 1970-1972 with modern data for 2020-2022 was carried out. It was revealed that at present, both during the low-water period and during the flood period in the water of the Baksan River – Zayukovo village, the sum of ions has decreased compared to 1970-1972.

Keywords: glacial-snow type of nutrition, atmospheric precipitation, air temperature

Введение

Российская Федерация из-за своих больших размеров сталкивается с различными региональными водными проблемами [1]. В последние десятилетия водные ресурсы во многих районах европейской части России увеличились, но таяние ледников сказывается на водных ресурсах, главным образом крупных рек [2; 3; 4, с. 405].

Бассейн реки Баксан является мощным очагом оледенения на Большом Кавказе, около 70% которого расположено на высоте более 1000 метров. Водосборный бассейн реки Баксан граничит с бассейнами рек Малка

на севере и северо-западе, с р. Риони и р. Ингури на юге, с р. Кубань на юго-западе, с р. Урух, р. Лескен и р. Аргудан на востоке. Наиболее крупными из притоков р. Баксан являются р. Черек и р. Чегем, которые стекают с ледников северного склона Центрального Кавказа. Река Баксан берет начало в ледниковом гроте ледника Большой Азау, 8 км к северо-западу от с. Терскол на высоте 2480 м на южном склоне г. Эльбрус, и до впадения в р. Донгуз-Орун (7 км от истока) она называется р. Азау. Гидрографические характеристики водосборного бассейна реки Баксан представлены в таблице 1.

Таблица 1

Гидрографические сведения
о водосборном бассейне р. Баксан

Характеристика	Значение
Длина реки	173 км (от ледника Большой Азау)
Площадь водосбора	6800 км ²
Средняя высота водосбора	2023 м
Средний уклон	15°

Годовой ход уровня воды р. Баксан характеризуется сравнительно низкой зимней меженью и продолжительным половодьем в тёплую часть года. Кроме того, отмечается значительное число паводков в период половодья. В верховьях реки Баксан половодье длится около 5 месяцев и до 6-7 месяцев в нижнем течении. В июле – августе на реке Баксан отмечаются наибольшие среднемесячные расходы воды, а в январе – феврале наименьшие. Около 60-70% годового объёма стока проходит за тёплый период, 12-16% приходится на долю осеннего стока, и не более 8-14% – зимний сток. Питание верховьев реки Баксан осуществляется в основном за счет ледниковых и подземных источников. Источники питания изменяются вниз по течению, происходит увеличение дождевого, с 8,3 до 18,2%, а ледниковое питание уменьшается до 11,5% у села Заюково [5, с. 63].

В настоящее время обращает на себя внимание деградация ледников в горных реках. По мере таяния ледников сток воды в реках с ледниковым питанием увеличивается, однако этот вопрос достаточно не изучен и остаётся дискуссионным.

Цель исследования – анализ многолетней изменчивости стока воды и суммы июнов в реке Баксан, а также оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование речного стока.

Материалы и методы исследований

Изменение водности горных рек рассматривалось на примере реки Баксан и было изучено с использованием многолетних данных с гидрологического поста р. Баксан – с. Заюково и метеорологической станции Терскол. Гидрометеорологические данные были представлены ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Статистическая обработка данных проведена с помощью стандартного пакета Excel.

Согласно данным источника «Водные ресурсы России и их использование» [6] многолетние колебания речного стока связаны с климатическими ритмами. Потепление климата и таяние ледников приводят к увеличению стока воды в реках. В настоящее время обсуждается и остается недостаточно изученным вопрос влияния таяния ледников на сток воды горных рек. В целом, таяние ледников увеличивает расход воды в горных реках, питаемых ледниками, наблюдается увеличение стока воды, но после исчезновения ледника сток реки уменьшается. Тенденции изменения климата также оспариваются исследователями, причем одни рассматривают их как глобальные и направленные, в то время как другие считают их циклическими [7; 8].

Гидрологический режим рек зависит от количества осадков и температуры воздуха [9, с. 169; 10]. Водный режим и источники питания рек можно охарактеризовать с помощью классификации В.Л. Шульца, которая основана на соотношении объемов стока за периоды с июля по сентябрь и с марта по июнь (коэффициент δ). На основании коэффициента В.Л. Шульца реки подразделяются на четыре типа:

- 1) ледниково-снегового ($\delta \geq 1,0$);
- 2) снего-ледникового ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$);
- 3) снегового ($0,18 \leq \delta \leq 0,25$);
- 4) снего-дождевого ($0,001 \leq \delta \leq 0,17$) питания [11; 12, с. 11-16].

Результаты исследования и их обсуждение

Среднегодовые значения температуры воздуха изменялись от 1,4 до 4,5°C с 1967 по 2022 г., значительное увеличение наблюдается с 1990 г. с разницей от 1,9 до 3,1°C. В 1992 г. наблюдалась минимальная среднегодовая температура за рассматриваемый период, максимальная – в 2010 г. (рис. 1а). Изменение среднегодовой температуры с 1967 по 2022 г. имеет положительный тренд и увеличивается на 0,02°C, то есть за исследуемый период среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1,1°C.

В период с 1967 по 2022 год годовое количество осадков варьировалось от 696 до 1425 мм. Количество атмосферных осадков за период с 1967 г. по 2022 г. увеличилось почти на 50 мм (рис. 1б). Таким образом, на метеостанции Терскол в последние годы наблюдаются климатические изменения, которые характеризуются в первую очередь повышением температуры воздуха.

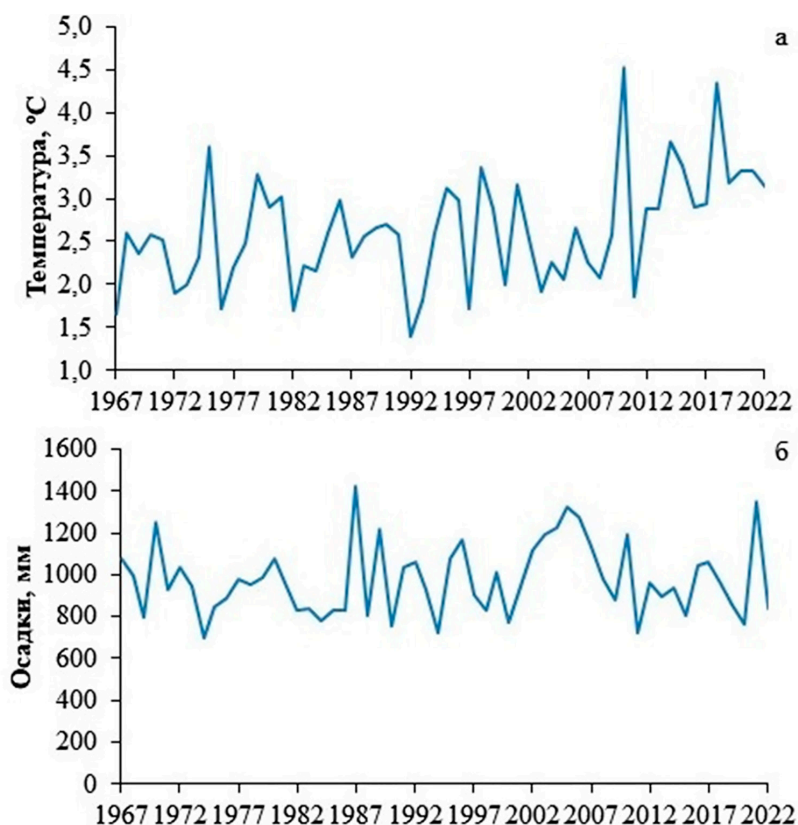


Рис. 1. Изменение многолетних значений среднегодовой температуры воздуха (а) и многолетней годовой суммы осадков (б) в 1967 – 2022 гг. по метеорологической станции Терскол



Рис. 2. Изменение многолетних значений среднегодового расхода воды и среднемноголетнего расхода воды в период с 1967 по 2022 г. р. Баксан – с. Заюково

Среднегодовые расходы воды для р. Баксан – с. Заюково с 1967 по 2022 г. изменялись от 27,1 до 48,5 м³/с. Максимальное значение расхода воды характерно для 2002 г. и равно 48,5 м³/с, также повторяемость многоводных лет увеличивается с 2000 г. Кроме того, стоит отметить и то, что разница между минимальными и макси-

мальными расходами воды увеличивается после 2000 г. (рис. 2).

В целом, сток р. Баксан – с. Заюково за исследуемый период (1967 – 2022 гг.) имеет положительную тенденцию и увеличился почти на 2 м³/с, что подтверждается уравнением тренда, имеющим следующий вид: $y = 0,03x - 21,4$.

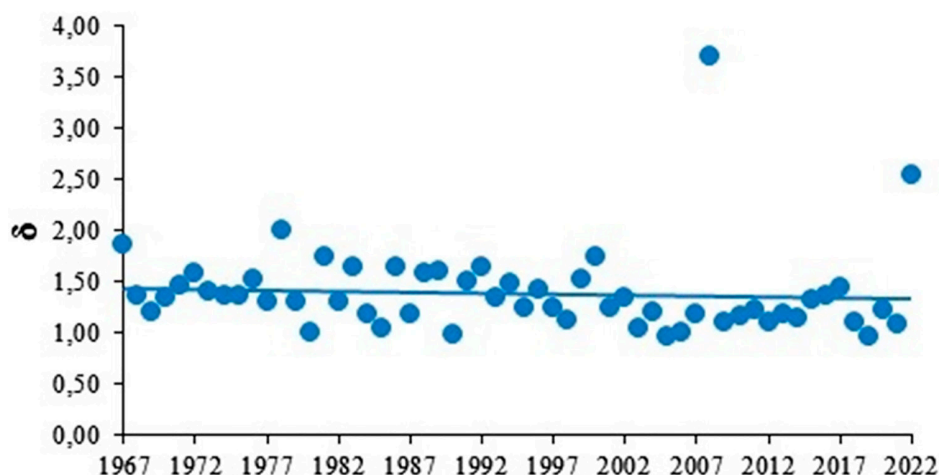


Рис. 3. Изменение коэффициента δ -показателя типа питания рек, рассчитанного по классификации В.Л. Шульца для р. Баксан – с. Заюково

Гидрологический режим рек Центрального Кавказа зависит от типа их питания. Наиболее широко используемым методом характеристики водного режима и питания для ледниковых рек является классификация В.Л. Шульца, которая основана на соотношении объемов стока в период с июля по сентябрь и с марта по июнь.

За период наблюдений с 1967 по 2022 г. р. Баксан – с. Заюково определен коэффициент $\delta \geq 1,0$, таким образом, полученный результат говорит о том, что тип питания реки в соответствии с классификацией В.Л. Шульца характеризуется как ледниково-снеговое питание, за исключением 5 лет (1980, 1990, 2005, 2006 и 2019 гг.), когда тип питания можно охарактеризовать как снегово-ледниковое ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$) (рис. 3).

Кроме того, в работе было проведено сравнение изменений температуры воздуха и осадков по метеостанции Терскол и расходов воды на гидрологическом посту р. Баксан – с. Заюково до и после 1990 г. После 1990 г., по данным метеостанции Терскол, наблюдается повышение температуры воздуха в теплое время года с апреля по октябрь (рис. 4а), сумма осадков увеличилась в январе – апреле, в июле и в сентябре – октябре (рис. 4б). Для внутригодового распределения стока после 1990 г. проявляются следующие изменения: на пике (июнь, июль) и спаде (сентябрь, октябрь) половодья характерно повышение стока воды в р. Баксан – с. Заюково, для мая и августа – уменьшение (рис. 4в).

Климатические изменения оказывают влияние как на изменения гидрологиче-

ских характеристик, так и на гидрохимический режим рек. В таблице 2 приведены данные изменения суммы ионов в зависимости от фазы водного режима и в разные периоды наблюдений. В литературе самые ранние данные по наблюдению ионного состава р. Баксан – с. Заюково представлены за 1970-е годы [13, с. 318]. В работе был проведен сравнительный анализ изменения суммы ионов в 1970 – 1972 гг. с современными данными за 2020 – 2022 гг., полученными сотрудниками испытательного лабораторного центра ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». В результате анализа выявлено, что в настоящее время как в меженный период, так и в период половодья в воде р. Баксан – с. Заюково сумма ионов уменьшилась более чем в 1,5 раза за 2020 – 2022 гг. по сравнению с 1970 – 1972 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика изменения суммы ионов в воде р. Баксан – с. Заюково в разные фазы водного режима в 1970 – 1972 гг. и в 2020 – 2022 гг.

Дата	Сумма ионов, мг/дм ³
Зимняя межень	
Март, 1970 – 1972 гг.	540
Март, 2020 – 2022 гг.	346
Летнее половодье	
Июль, 1970 – 1972 гг.	174
Июль, 2020 – 2022 гг.	107

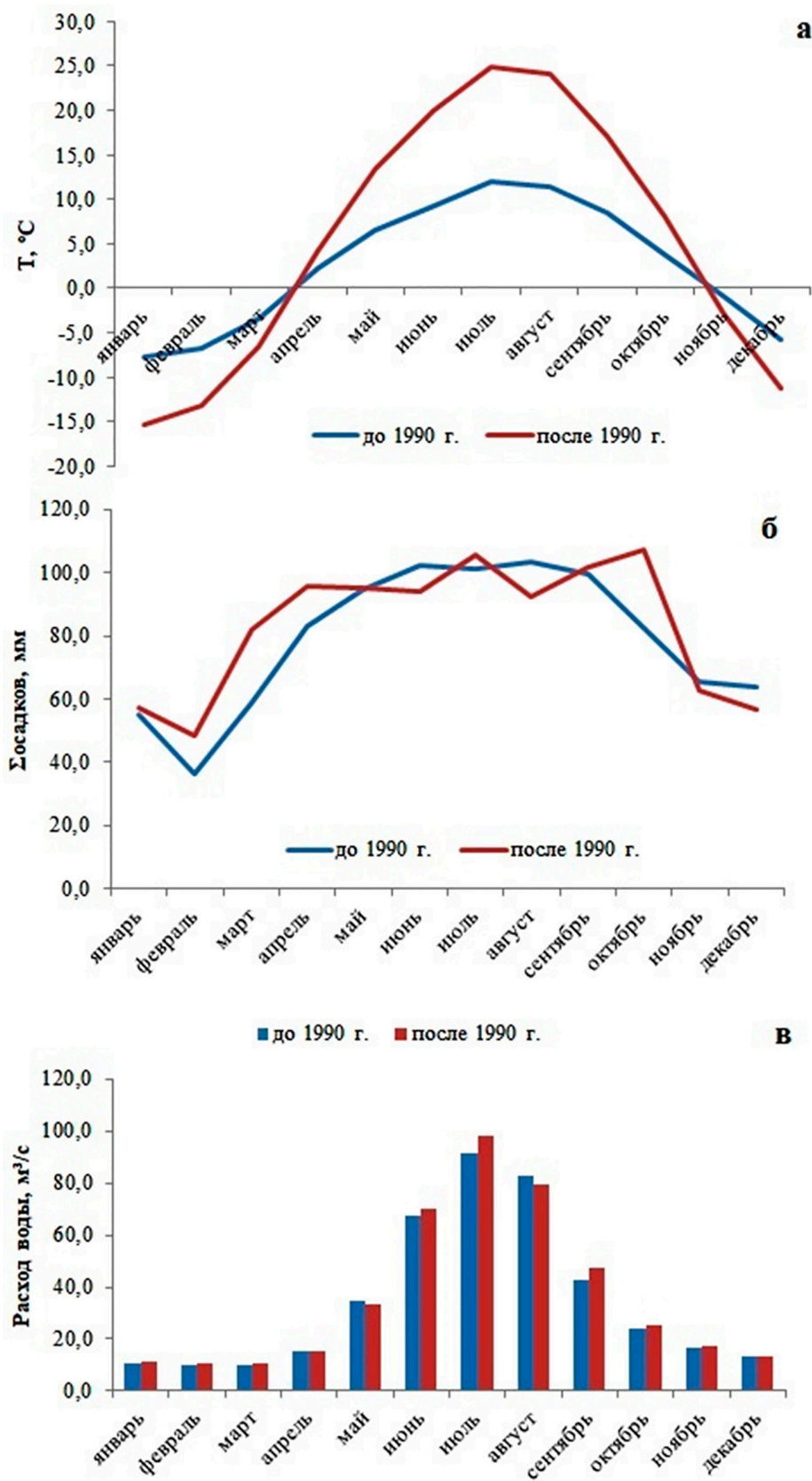


Рис. 4. Изменения внутригодового распределения температуры воздуха (а), суммы осадков (б) по данным метеорологической станции Терскол и расходов воды (в) по данным гидрологического поста на р. Баксан – с. Заюково

Выводы

Проанализировав данные по метеостанции Терскол (температура воздуха и сумма осадков) с 1967 по 2022 г., гидрологического режима (расход воды) и гидрохимических (суммы ионов) изменений в воде р. Баксан – с. Заюково, авторы пришли к следующим выводам:

- на 1,1 °С наблюдается повышение температуры воздуха за последние 55 лет;
- количество атмосферных осадков на протяжении всего наблюдаемого периода увеличилось более чем на 50 мм;
- сток реки имеет положительную тенденцию, и увеличился почти на 2 м³/с;
- во внутригодовом распределении стока тоже происходят изменения (рис. 4);
- в настоящее время как в меженный период, так и в период половодья наблюдается уменьшение суммы ионов в воде р. Баксан – с. Заюково более чем в 1,5 раза за 2020 – 2022 гг. по сравнению с 1970 – 1972 гг.

На реках Центрального Кавказа гидрологический режим формируется в зависимости от типа питания рек. За период наблюдений с 1967 по 2022 г. р. Баксан в соответствии с классификацией В.Л. Шульца имеет ледниково-снеговое питание ($\delta \geq 1,0$), за исключением 5 лет (1980, 1990, 2005, 2006 и 2019 гг.), когда тип питания можно охарактеризовать как снегово-ледниковое ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$). Результаты исследования показывают, что увеличение среднегодовых температур и суммы годовых осадков после 1990 г. приводит к изменению внутригодового распределения стока.

Список литературы

1. Болгов М.В., Лепихин А.П. Региональные водные проблемы и актуальные задачи гидрологических исследований // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 2. С. 5-6.
2. Калугин А.С. Сток рек Европейской части России при глобальном потеплении на 1,5 и 2 градуса // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 4. С. 451-464.
3. Виноградова О.В., Виноградова Н.Н. Реакция горных рек Кавказа на изменения климата // Вестник Московского университета. Серия: География. 2013. № 4. С. 44-48.
4. Река Терек. Гидрография и режим стока / под ред. В.Д. Панов, А.А. Базелюк, П.М. Лурье. Ростов н/Д.: Донской издательский дом, 2015. 608 с.
5. Каталог ледников СССР. Т. 8. Ч. 5 Северный Кавказ. Бассейны рек Малки, Баксана. Л.: Издательство Ленинград, 1970. 148 с.
6. Калиманов Т.А., Усова Е.В., Татосян М.Л. Водные ресурсы Российской Федерации, их использование и состояние // Общество. Среда. Развитие. 2017. № 4. С. 136-144.
7. Omani N., Srinivasa, R., Karthikeyan R., and Smith P., Hydrological modeling of highly glacierized basins (Andes, Alps, and Central Asia) // Water. 2017. Vol. 9. Is. 2. P. 1-23. DOI: 10.3390/w9020111.
8. Bliss A., Hock R., Radic V., Global response of glacier runoff to twenty-first century climate change // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 2014. Vol. 119, Is. 4. P. 717-730. DOI: 10.1002/2013JF002931.
9. Реки Средней Азии / под ред. В.Л. Шульца. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 691 с.
10. Duethmann D., Bolch T., Farinotti D., Kriegel D.; Vorogushyn S., Merz B., Pieczonka T., Jiang T., Su B., Güntner A. Attribution of streamflow trends in snow and glacier melt-dominated catchments of the Tarim River, Central Asia // Water Resources Research. 2015. Vol. 51. Is. 6. P. 4727-4750. DOI: 10.1002/2014WR016716.
11. Тургунов Д.М., Сазонов А.А., Хикматов Ф.Х., Фролова Н.Л. Маловодья на горных реках Республики Узбекистан: причины и особенности // Вестник Московского Университета, Серия 5. География. 2020. № 1. С. 23-34.
12. Чуб В.Е. Изменение климата – трагедия или реальность? Ташкент, 2015. 41 с.
13. Куприянов В.В. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 448 с.

УДК 502:330.15(571.56)
DOI 10.17513/use.38335

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ И РЕЖИМА РЕСУРСНОГО РЕЗЕРВАТА «ОЧУМА» ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Николаев А.А.

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

Целью статьи является анализ и изучение особенностей функционального зонирования и их режимов ресурсного резервата регионального значения «Очума» Сунтарского улуса (района) Якутии, для эффективной деятельности и охраны биологических ресурсов. Материалом исследования явились полевые исследования ресурсного резервата в июне – июле 2023–2024 гг., архивные данные, опрос населения, картографические и цифровые материалы зонирования ресурсного резервата, опрос жителей и работников охраняемой природной территории. В статье подробно описана граница ресурсного резервата и трех его функциональных зон – зоны традиционного природопользования, лицензионного изъятия биологических ресурсов и абсолютноного покоя. Режимы и задачи в этих зонах абсолютно различны. В зоне абсолютноного покоя, например, строго запрещено присутствие даже туристов, что не развивает на данном, самом интересном и уникальном участке природы туристского потенциала, основное материальное обеспечение ресурсного резервата. Слабо представлены туристские тропы по ресурсным резерватам, которые в будущем могли бы стать одним из основных направлений в функционировании резервата. Так, одним из направлений в ресурсных резерватах Якутии мог бы стать охотничий туризм для любителей охоты. В данном ресурсном резервате, очень богатом фауной, только местным жителям наслега или улуса разрешается охотиться в зоне лицензионного изъятия биологических ресурсов, тогда как любителям охоты из других улусов или районов это строго запрещено, что тоже противоречит развитию туризма в данном ресурсном резервате. В ходе изучения и анализа функциональных зон ресурсного резервата установлено, что в их зонах слабо представлена туристско-рекреационная деятельность, которая в наше время является одной из главных экономических составляющих и обеспечивает эффективность функционирования охраняемой природной территории. Так, например, разрешение охотничьего туризма любителям охоты из других мест повысило бы в разы посещаемость и экономическую стабильность ресурсного резервата.

Ключевые слова: ресурсный резерват «Очума», Сунтарский улус, функциональное зонирование, режим ресурсных резерватов, туристско-рекреационная деятельность, экологический туризм, охотничий туризм, браконьерство, животные ресурсы

ANALYSIS OF THE OF FUNCTIONAL ZONING AND THE REGIME OF THE OCHUMA RESOURCE RESERVE FOR EFFICIENT OPERATION AND PROTECTION OF BIOLOGICAL RESOURCES

Nikolaev A.A.

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

The aim of the article is to analyze and study the features of functional zoning and their regimes of the regional resource reserve “Ochuma” of the Suntarsky ulus (district) of Yakutia, for effective operation and protection of biological resources. The material of the study was field studies of the resource reserve in June-July 2023-2024, archival data, a survey of the population, cartographic and digital materials of zoning of the resource reserve, a survey of residents and employees of the protected natural area. The article describes in detail the boundary of the resource reserve, their functional zones, which consists of three zones – the zone of traditional nature management, licensed withdrawal of biological resources and absolute peace. The regimes and tasks in these zones are absolutely different. In the zone of absolute peace, for example, the presence of even tourists is strictly prohibited, which does not develop the tourist potential, the main material support of the resource reserve, in this most interesting unique area of nature. Tourist trails along the resource reserves are poorly represented, which in the future could become one of the main directions in the functioning of the reserve. Thus, one of the directions in the resource reserves of Yakutia could be hunting tourism for hunting enthusiasts. In this resource reserve, by the way, very rich in fauna, only local residents of the nasleg or ulus are allowed to hunt in the zone of licensed extraction of biological resources, while hunting enthusiasts from another ulus or district are strictly prohibited, which also contradicts the development of tourism in this resource reserve. During the study and analysis of the functional zones of the resource reserve, it was established that in their zones, tourism and recreational activities are poorly represented, in our time, which is one of the main economic components and the efficiency of the functioning of the protected natural territory. For example, allowing hunting tourism for hunting enthusiasts from other places and cities would increase the attendance and economic stability of the resource reserve many times over.

Keywords: Ochuma resource reserve, Suntarsky ulus, functional zoning, regime of resource reserves, tourist and recreational activities, hunting tourism, ecological tourism, poaching, animal resources

Введение

В Республике Саха (Якутия) по Закону об ООПТ РС (Я) [1] такие особо охраняемые природные территории, как ресурсные резерваты, совпадают с целями и задачами заказников регионального значения [2] и выполняют сходные задачи. В республике встречаются ресурсные резерваты республиканского и местного значения. Республиканские, то есть региональные, ресурсные резерваты создаются под подчинением республики, местные ресурсные резерваты создаются муниципальными органами – улусами. Улусы – это муниципальные районы в Республике Саха (Якутия).

Ресурсный резерват республиканского значения «Очума» расположен в северо-западной части Сунтарского улуса. Территория резервата граничит с Нюрбинским и Мирнинским улусами. Дата создания 5 апреля 1982 г. Это один из старейших заказников Якутии, организованный для защиты ареала черного журавля [3]. Постановлением Правительства РС (Я) № 515 от 27 ноября 1997 г. в республике должны были быть организованы ресурсные резерваты [3], и 30 июля 1999 г. выходит Положение о создании на базе заказника «Очума» ресурсного резервата республиканского значения [3]. Общая площадь ресурсного резервата составляет 855932 га, примерно 8560 кв. км, это сравнимо, например, с площадью всей Адыгеи или Северной Осетии – Алании.

Целью исследования является изучение и анализ особенностей функционального зонирования и режима ресурсного резервата республиканского значения «Очума» Сунтарского улуса Республики Саха (Якутия) для эффективной деятельности и охраны биологических ресурсов.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования явились полевые исследования территории ресурсного резервата в июне – июле 2023–2024 гг., архивные данные [4], картографические и цифровые материалы зонирования ресурсного резервата, опрос жителей и работников охраняемой природной территории. Методами исследования при изучении и анализе зон и их режимов явились работы Д.М. Астанина [5–7]. Также были использованы работы, изучающие и анализирующие функциональные зоны заказников, заповедников, национальных парков России [8–10]. Интересные работы по функциональному зонированию представлены в работах

А.Р. Сибиркиной и соавт., которые также были полезны при выполнении научного исследования [11; 12].

Результаты исследования и их обсуждение

Обоснованием создания ресурсного резервата «Очума» на этой уникальной территории стали:

1) сохранение типичных ландшафтов западной Якутии, системы крупных и мелких озер, а также объектов растительного и животного мира;

2) восстановление численности пушных зверей, сохранение мест их обитания, размножения водоплавающей и боровой дичи, диких копытных, сохранение и охрана временных скоплений и транзитных остановок перелетных птиц – певчих, хищных, куликов, уток, гусей, лебедей и журавлей, также мест гнездовья многих птиц, в том числе таких редких, как черный журавль [13];

3) осуществление научных исследований и проведение экологического мониторинга с целью поддержания экологического благополучия и разнообразия обитающих здесь видов [14];

4) сохранение мест нереста и нагула рыб, в том числе ценных видов – сига, ленка, тайменя, осетра, на притоках р. Холломолоох, Огогут, Ыгыатта.

Таким образом, территория участка ресурсного резервата «Очума» [13] в силу ее труднодоступности и отдаленности от крупных населенных пунктов улуса весьма богата биологическими ресурсами и уникальными нетронутыми ландшафтами. Не секрет, что такие труднодоступные ресурсные резерваты на протяжении уже многих лет просто так «простаивают» и не работают эффективно как для туристов, так и для любителей охоты, а они могли бы принести немало денег для эффективной организации охраны и воспроизводства животного ресурса на данном участке природы. А ведь в настоящее время именно «заброшенность» таких участков природы провоцирует бесконтрольный отстрел браконьерами и другими промысловыми охотниками сверх добычи квоты диких животных и других правонарушений, вплоть до вырубке леса, бесконтрольных геологоразведочных и изыскательских работ частными компаниями и другими нежелательными проявлениями на особо охраняемой природной территории (ООПТ).

Граница ресурсного резервата начинается с устья р. Холломолоох, на западном

направлении идет вверх по р. Холомолоох, на север до верховья р. Кютяр, по р. Кютяр до впадения в реку Ыгыатта, затем по речке Ыгыатта до устья р. Ючюгей Юрях (правый приток р. Ыгыатта), по речке Ючюгей Юрях до верховья Куранах Юрях (левый приток р. Огогут) и по речке Куранах Юрях до ее устья впадении на р. Огогут, вниз в южном направлении по р. Огогут до ее впадения в р. Виллой, западном направлении по левому берегу р. Виллой до устья р. Холомолоох [4].

В ресурсном резервате «Очума» [4] организованы и действуют три функциональные зоны, выполненные проектантами на конкурсной основе ресурсного резервата без детального научного обоснования природного участка, а также без учета и согласования с местным населением в конце 1990-х гг., когда массово и в ускоренном темпе создавались такие ресурсные резерваты по всем улусам республики.

Первая зона – это зона абсолютного покоя, описанная выше. Площадь зоны абсолютного покоя составляет 267630 га. Граница зоны абсолютного покоя начинается с устья р. Холомолоох на западном направлении идет вверх по р. Холомолоох, до устья р. Аппыча, вверх по р. Аппыча и до ее верховья, на севере с пересечением лесного массива доходит до верховья р. Еркютей (правый приток р. Ыгыатта), по р. Еркютей до устья р. Кыра Юрюе, вниз в южном направлении по р. Кыра Юрюе до верховья у р. Хайах Ыябыт и до р. Огогут, по р. Огогут до ее устья впадении на реку Виллой, на западном направлении по левому берегу р. Виллой до устья р. Холомолоох [13].

В зоне абсолютного покоя ресурсного резервата строго запрещены охота, рыболовство, хозяйственное и промышленное использование земель, леса, строительство, добыча полезных ископаемых и т.д.

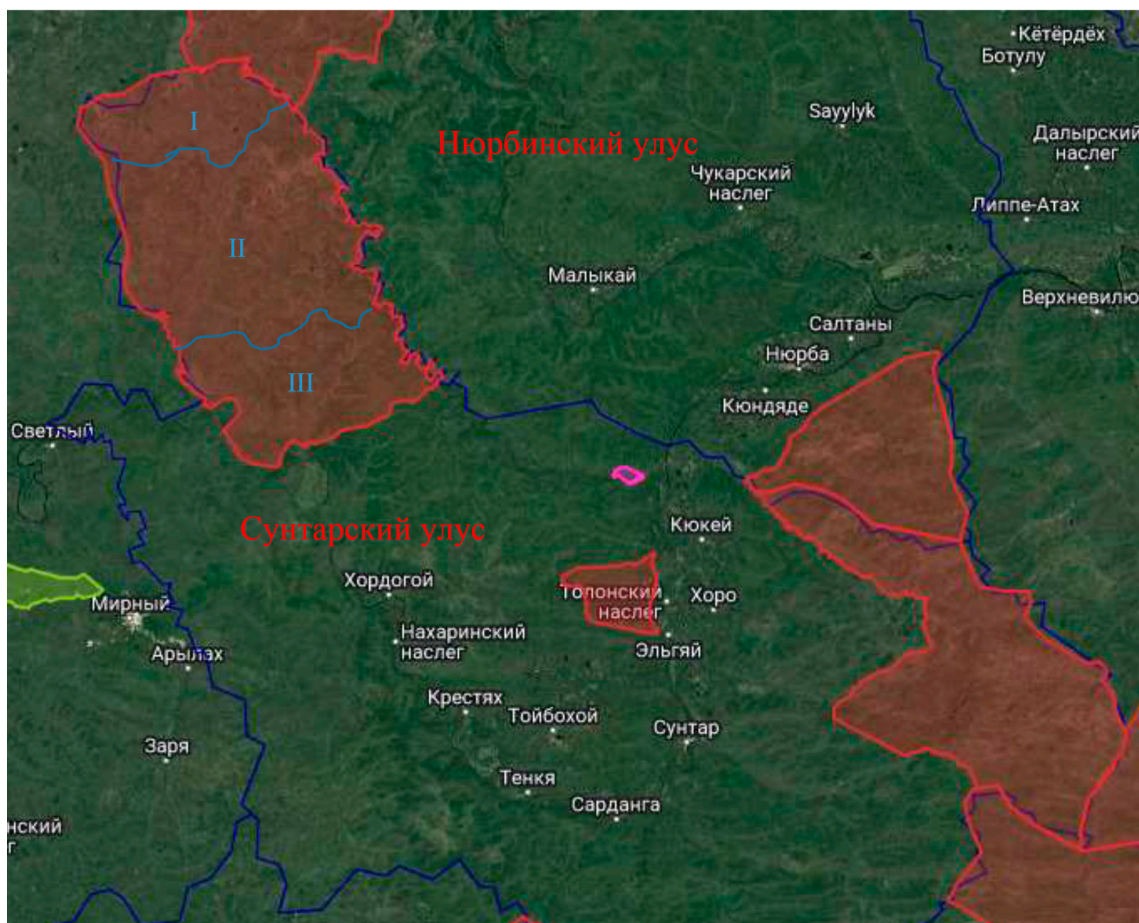
В зоне абсолютного покоя любая деятельность может быть только по разрешению Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства РС (Я), например проведение научно-исследовательских и изыскательских работ, а также в чрезвычайных и профилактических случаях – противопожарные, санитарные, эпидемиологические мероприятия, проведение различных мероприятий [13] на восстанавливаемых участках, сбор коллекций и других материалов, необходимых для научно-исследовательских работ [14].

Площадь зоны лицензионного изъятия биологических ресурсов составляет 372829 га (рисунок). Зона лицензионного

изъятия биологических ресурсов [15] граничит с зоной абсолютного покоя, начиная с устья р. Огогут по р. Куранах Юрях до ее верховья и до устья руч. Кыра Юрюе. Разрешенные виды деятельности в данной зоне – лицензионная добыча пушных зверей, а также диких копытных, любительское рыболовство, сбор ягод и грибов, вырубка леса для местного использования, строительство охотничьих заимок и домиков.

Зона традиционного природопользования – 146349 га (рисунок). В этой зоне разрешены такие виды деятельности, как ведение традиционных видов деятельности местного населения. Разрешено рыболовство, любительская охота (платная), познавательный туризм и отдых на природе. Таким образом, режимы в функциональных зонах ресурсного резервата «Очума» вполне типичные в условиях Якутии и отвечают требованиям учета мнений местного населения, которые занимаются традиционными видами хозяйства, в том числе промысловой охотой, рыбной ловлей, даже разрешено строительство охотничьих зимовий (таблица).

Но, анализируя работы некоторых авторов [16], которые сравнивают с режимами в зарубежных охраняемых природных территориях, резюмируем, что здесь особенно не хватает круглогодичной туристско-рекреационной составляющей, которая представлена только в одной зоне, в зоне традиционного природопользования, тогда как почти все интересные объекты природы и ареалы наиболее интересных животных расположены в других зонах, где запрещена туристско-рекреационная деятельность. По мнению автора, а также анализируя анкетный опрос местного населения в количестве 230 чел., во всех трех зонах ресурсного резервата необходимо разрешить туристско-рекреационную деятельность в виде экологического туризма. Любителям охоты охотничий туризм необходимо проводить только в зоне лицензионного изъятия биологических ресурсов. В зоне традиционного природопользования могут быть организованы туристические комплексы, туристические базы массового отдыха населения, которое предпочитает отдых в комфортных условиях [15]. Во второй зоне, то есть в зоне лицензионного изъятия биологических ресурсов, можно организовать экологический туризм в виде пеших походов и на лошадях с ночевками в охотничьих избушках или в специально отведенных местах для палаточной стоянки, а также охотничий туризм.



Расположение ресурсного резервата «Очума» в Сунтарском улусе Республики Саха (Якутия) и его функциональные зоны: I – зона абсолютного покоя, II – зона лицензионного изъятия биологических ресурсов, III – зона традиционного природопользования [13, 17]

Охотничий туризм в республике регламентирован Законом об ООПТ РС (Я) и относится к традиционному природопользованию местного коренного населения [1]. В зоне абсолютного покоя можно разрешить только маршрутные туры со своими палатками, без стационарной стоянки, в том числе и научные туры для наблюдений за животными (таблица).

В последние годы на Дальнем Востоке России развивается экологический туризм. Туристов привлекают уникальные природные объекты региона, такие как вулканы Камчатки, Анадырское побережье, Ленские Столбы, р. Лена и т.д. Для развития экологического туризма в Якутии необходимо разрешение и доступ туристов на особо охраняемые природные территории, что в настоящее время по режиму почти везде запрещено. На законодательном уровне регионального масштаба необходимо утвердить распоряжение о развитии экологического туризма

на охраняемых природных территориях, только в таком случае станет на должном уровне развитие туризма в Якутии. Республика должна предоставлять для туристов хотя бы более их свободное, независимое посещение особо охраняемых природных территорий разных категорий, от ресурсных резерватов до национальных парков.

Для большего привлечения туристов во всех ООПТ республики необходимо организовать широкую сеть туристских троп и маршрутов на выбор по разной продолжительности и дальности – однодневные, многодневные, сплавы по рекам и речкам, пешие и конные виды туризма, туризм на квадроциклах и т.д. Для этого надо подготовить и утвердить республиканскую программу, своего рода дорожную карту развития туризма на особо охраняемых природных территориях республики всех заинтересованных структур власти и предпринимательства.

Задачи и предложения по функциональным зонам ресурсного резервата

Зона	Площадь, га	Тип ландшафта	Действующий режим природопользования	Предложения авторов
Зона абсолютного покоя	267630	Плоскогорно-равнинный среднетаежный ольховниково, багульниково на мерзлотно-таежных оподзоленных почвах лиственный лес с типичными видами животных средней тайги – волк, медведь, лиса, лось, заяц-беляк, соболь, белка, тетерев, глухарь, рябчик	Запрет на охоту и рыболовство, хозяйственную деятельность	Экологический туризм без стационарной базы, проходной по экологическим тропам
Зона лицензионного изъятия биологических ресурсов	372829	Плоскогорно-равнинный среднетаежный кустарничково, лишайниково-зеленомошный на мерзлотно-таежных типичных почвах лиственный лес с типичными видами животных средней тайги	Лицензионный вид охоты и рыболовство, хозяйственная деятельность для местного населения	Экологический туризм в охотничьих избушках, разрешение охотничьего туризма
Зона традиционного природопользования	146349	Плоскогорно-равнинный среднетаежный кустарничково-зеленомошный с участками березы на мерзлотно-таежных типичных почвах лиственный лес с типичными видами животных средней тайги	Традиционные виды хозяйства, любительская охота и рыболовство, познавательный туризм	Организация туристического комплекса для комфортного отдыха. Турбазы для массового туризма

Такое развитие туризма создаст новые рабочие места в отдаленных улусах и селах Якутии, потому что большинство охраняемых природных территорий расположены именно в таких местах.

Заключение

Таким образом, зона абсолютного покоя находится в труднодоступном месте, где нет антропогенного влияния, нет дорог к этому участку, в основном имеются лесные тропы. Зона лицензионного изъятия биологических ресурсов находится в более доступном месте, нежели зона абсолютного покоя. Зона традиционного природопользования расположена ближе, чем эти две зоны, и более удобна для организации массового посещения ее туристами. При анализе функциональных зон ресурсного резервата выяснилось, что в этих зонах мало представлена круглогодичная туристско-рекреационная деятельность в виде экологического туризма. Что касается представления туристско-рекреационной деятельности в зоне лицензионного изъятия биологических ресурсов, то такая любительская охота, рыбалка и собирательство разрешены лишь несколько дней в году, например, весенняя охота на уток всего на 10 дней, что не соответствует критериям массового развития экологического туризма. Туристическая деятельность

должна быть представлена в охраняемых природных территориях, почти во всех их функциональных зонах, только она должна отличаться по режиму, где массово или средне, а где-то почти индивидуально или небольшими группами. Для организации в данном ресурсном резервате туристско-рекреационной деятельности необходимо заново утвердить положение и режимы ресурсного резервата. Внести в других функциональных зонах элементы экологического туризма, в зоне лицензионного изъятия биологических ресурсов – охотничий туризм для любителей охоты. В этих зонах организовать несколько туристических пеших маршрутов разной протяженности, обустроить эти туристические тропы, провести работу с сотрудниками резервата, создать штат гидов и экскурсоводов, оснастить материально-техническую базу.

Разрешение в функциональных зонах ресурсного резервата «Очума» охотничьего туризма повысило бы интерес любителей охоты и туристов к посещению, и, конечно же, это бы привело к дополнительному финансированию от этих людей в этот резерват, что существенно повысило бы материальную и техническую базу ресурсного резервата, которая, соответственно, повысила бы эффективность борьбы с браконьерами в труднодоступных участках резервата.

Развитие экологического и охотничьего туризма в этой отдаленной местности положило бы конец бесконтрольному посещению ее браконьерами, как своеобразный «барьер» и постоянный контроль как работников ресурсного резервата, так и самих же туристов, которые уже вынуждены быть на этом месте не рейдами один-два раза в год, а уже постоянно – круглый год. Для эффективной деятельности и охраны биологических ресурсов, по мнению автора, нужно провести следующие мероприятия в отдаленных особо охраняемых природных территориях республики: 1) в законодательной части массовое разрешение на посещение туристами ООПТ республики; 2) обустройство большего количества туристских троп и маршрутов в ООПТ; 3) в положениях и уставах ООПТ республики внести режимы экологического туризма, в некоторых ввести возможность платного охотничьего туризма; 4) повысить штат работников из числа местных жителей, охотников для постоянных рейдов и контроля и работы с туристами в качестве гидов и проводников; 5) постоянно проводить зимние учеты биологических ресурсов в ООПТ; 6) в заповедную зону или зону абсолютного покоя разрешить посещение малыми группами туристов и без стационарной стоянки; 6) по дорогам и в местах массового скопления людей поставить информационные аншлаги.

Данное исследование показало, что функциональное зонирование в ресурсных резерватах, наспех выполненное разными проектантами в 1990-х гг. по тендеру, не отражает особенностей участков природы и, самое главное, мнения местного населения. Таким образом, функциональное зонирование ресурсных резерватов Якутии в настоящее время требует серьезного обширного изучения и исследования на местах. Результаты исследования могли бы быть полезны для проектантов ООПТ в Якутии, специалистов ООПТ и охраны природы.

Список литературы

1. Закон РС (Я) 910-З № 731-IV от 01.03.2011 г. «Об особо охраняемых природных территориях РС (Я)» [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/zakonrsja-910-z-731-iv-ot-01032011-g-ob-osobo-ohranjaemyh-prirodnih-territorijah-rsja> (дата обращения: 24.09.2024).
2. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/ (дата обращения: 24.09.2024).
3. ООПТ России, документы. М., 2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Очума> (дата обращения: 24.09.2024).
4. Приказ Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) от 21 декабря 2016 г. № 01-05/1-812 «Об утверждении Положения о ресурсном резервате республиканского значения «Очума» [Электронный ресурс]. URL: https://ipbd.ru/docs/gov/ministerstvo-ekologii-prirodopolzovaniya-i-lesnogo-hozyaystva-respubliki-saha-yakutiya/vse_dokumenty/?page=8/ (дата обращения: 28.09.2024).
5. Астанин Д.М. Американская модель экологического туризма – минимизация воздействия на окружающую среду и ее планировочные аспекты // Архитектон: известия вузов. 2017. № 4 (60). С. 48–59.
6. Астанин Д.М. Европейская модель экологического туризма – сохранение традиционной культуры и ее влияние на планировочную организацию рекреационных территорий // Архитектон: известия вузов. 2017. № 3 (59). С. 24–35.
7. Астанин Д.М. Типология функционального зонирования национальных и природных парков // Архитектон: известия вузов. 2018. № 5 (61). С. 72–79.
8. Иванов А.Н., Чижова В.П. Охраняемые природные территории: учебное пособие для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2024. 185 с.
9. Селезнева Е.В., Ротанова Н.Н. Подходы к функциональному зонированию заказников на примере регионального комплексного заказника «Чинетинский» // Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона: материалы Международной научно-практической конференции. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2021. С. 465–476.
10. Чижова В.П. Методика зонирования национальных парков // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. № 3 (16). С. 105–123.
11. Сибиркина А.Р., Трофимова Л.В., Кузьмищев Н.Н. Корректировка функциональных зон национального парка «Зюраткуль» (Челябинская область) по границам мест обитания редких видов позвоночных животных // Лесной вестник. 2021. Т. 25, № 2. С. 41–50.
12. Сибиркина А.Р., Трофимова Л.В., Лушников Д.С. Функциональное зонирование Санарского государственного природного комплексного заказника Челябинской области методом дешифрирования аэроснимков // Лесной вестник. 2021. Т. 25, № 6. С. 79–88.
13. Приказ Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) от 36 декабря 2014 г. № 01-05/1-479 «Об утверждении Положений об особо охраняемых природных территориях Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/26771673/> (дата обращения: 28.09.2024).
14. Положение о ресурсном резервате «Куолума-Чап-панда» в Таттинском улусе [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/26707031/3e22e51c74db8e0b182fad67b502e640/> (дата обращения: 05.09.2024).
15. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 12 августа 1996 г. № 337 «О создании Национального природного парка «Синяя» в Горном улусе и ресурсных резерватах «Кыталык» в Алланховском и «Лена-Дельта» в Булуномском улусах» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/26749373/> (дата обращения: 28.09.2024).
16. Чижова В.П. Развитие экотуризма в охраняемых природных территориях (эколого-географический аспект) // Российский журнал устойчивого туризма. 2013. № 3. С. 7–12.
17. Геопортал Республики Саха (Якутия). Охраняемые территории. Якутск, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://sakhagis.ru/map> (дата обращения: 24.09.2024).

УДК 504.061:504.7

DOI 10.17513/use.38336

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА

^{1,2}Сушкова Е.Г., ³Афанасьев Д.Ф., ²Беспалова Л.А.

¹Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Ростов-на-Дону,
e-mail: sushkovaeg@azniirkh.vniro.ru;

²ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет» Ростов-на-Дону,
e-mail: esus@sfedu.ru, lbespalova@sfedu.ru;

³ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, e-mail: afanasevdf@vniro.ru

Цель исследования заключалась в анализе пространственной структуры распределения фитобентосных сообществ Таманского залива в современный период. Приводятся комплексные данные о структуре донных грунтов, видовом составе и структуре макрофитобентоса Таманского залива. Материалы получены на основе наблюдений в акватории залива в течение 2020–2024 гг. на заложенных станциях, а также вдоль трансект сплошного наблюдения. Включение в анализ материалов батиметрии, гранулометрического состава грунтов и данных подводных съемок позволило определить участки дна со сходными параметрами. Это послужило основой для выделения однотипных участков морского дна (донных природных комплексов), приуроченных к одной форме рельефа, имеющих сходные по составу донные осадки и доминирующие фитоценозы. В ландшафтной структуре Таманского и Динского заливов описаны 6 типов донных природных комплексов, расположенных в пределах слабонаклоненной песчано-илистой равнины. В ходе исследования были определены запасы сообществ макрофитов, выполнено сравнение количественных характеристик сообществ, обозначены фитобентосные сообщества мелководного берегового склона с песчано-илистыми отложениями, характеризующиеся максимальными величинами запасов биомассы. Минимальные показатели биомассы установлены для природных донных комплексов, приуроченных к мелководной отмели, на песчано-илистых грунтах с преобладанием харовых водорослей. В результате комплексного исследования была составлена ландшафтная карта типов донных природных комплексов изучаемого региона. Обсуждаются возможные геоэкологические причины выявленных закономерностей распределения сообществ.

Ключевые слова: *Zostera marina*, *Nanozostera noltei*, структура грунтов, донные природные комплексы, макрофитобентос, Таманский залив

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE PHYTOBENTHOS COMMUNITIES DISTRIBUTION OF THE TAMAN BAY

^{1,2}Sushkova E.G., ³Afanasyev D.F., ²Bespalova L.A.

¹Azov-Black sea branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries And Oceanography, Rostov-on-Don, e-mail: sushkovaeg@azniirkh.vniro.ru,

²Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: esus@sfedu.ru.

³Russian Federal Research Institute of Fisheries And Oceanography, Moscow, e-mail: dafanas@mail.ru

The aim of the study was the spatial distribution structure of phytobenthos communities of the Taman Bay in the modern period. Data on the structure of bottom soils, species composition and structure of macrophytobenthos of the Taman Bay in total are provided. The materials were obtained on the basis of observations in the waters of the bay during 2020–2024 at the established stations, as well as along the continuous observation transects. The inclusion of bathymetry materials, soil particle size distribution and underwater survey data in the analysis made it possible to identify bottom areas with similar parameters. This made it possible to identify uniform areas of the seabed (bottom natural complexes) confined to the same relief form, having bottom sediments similar in composition and dominant phytocenoses. In the landscape structure of the Taman and Dinskoy bays, 6 types of bottom natural complexes located within a gently sloping sandy-silty plain are described. The reserves of macrophyte communities are determined. A comparison of the quantitative characteristics of the communities is made. Phytobenthos communities of shallow coastal slopes with sandy-silty deposits characterized by maximum values of reserves are designated. Minimum indicators are established for natural bottom complexes confined to shallow shoals on sandy-silty soils with prevalence of charophytes. Possible geoecological reasons for the revealed patterns of community distribution are discussed.

Keywords: *Zostera marina*, *Nanozostera noltei*, soil structure, benthic natural complexes, macrophytobenthos, Taman Bay

Введение

Таманский залив расположен у восточного берега Керченского пролива Азовского моря и в силу своего географического поло-

жения характеризуется рядом особенностей. Он отличается разнообразием уникальных местообитаний донной растительности, где представлены сообщества как высших во-

дных растений, так и водорослей. При этом некоторые виды макрофитов охраняются как на федеральном, так и на региональном уровнях. Так, взморники морской и Нольта (*Zostera marina* L. и *Nanozostera noltei* Hornem.) включены в Красную книгу Республики Крым (2015). В настоящее время ввиду высокой природоохранной ценности создан государственный природный зоологический заказник регионального значения «Запорожско-Таманский», включающий акваторию Таманского залива.

Несмотря на природоохранный статус акватории, Таманский залив испытывает усиливающееся антропогенное воздействие. Наряду с активной эксплуатацией береговой зоны отмечаются долговременные эффекты от хозяйственной деятельности в предыдущие годы, что приводит к существенному сокращению площадей произрастания и обеднению видового состава донных биоценозов, что было зафиксировано рядом исследований не только в Таманском заливе, но также в Черном и Азовском морях и Мировом океане [1].

Первые данные о водной растительности Азовского моря приводятся в трудах А. Остроумова в 1896 г. Начиная с 1904 г. и далее в течение нескольких десятилетий в Азовском море вела постоянную работу научно-промысловая экспедиция под руководством Н.М. Книповича. Дополнительные сведения о водорослях-макрофитах Азовского моря в этот период освещались в работах Мейера в 1925 г. Впервые макрофиты Таманского залива и их экология изучались с применением легководолазной техники в 1960-х гг. К.М. Петровым. В 1965 г. вышла обширная сводка по водной растительности морей СССР М.С. Киреевой «Растительные богатства морей СССР», в которой большое внимание уделялось водной растительности Азовского моря. Систематическое изучение фитобентоса Таманского залива в 80-е годы проводили В.В. Громов совместно с сотрудниками Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (В.П. Закутским, Е.И. Студеникиной, В.Н. Шевченко). Результаты работы легли в основу подробного геоботанического описания Азовского моря и Таманского залива. Обобщенные материалы по итогам перечисленных исследований были опубликованы в труде Л.И. Волкова [2].

В 2005 г. в ходе работ Южного научного центра РАН в акватории залива, проведенных через 1,5 года после строительства Туз-

линской дамбы, выполнено описание донных сообществ и общих закономерностей их распределения в прибрежной зоне Таманского полуострова. По результатам экспедиций было отмечено сокращение площадей ассоциаций *Zostera marina*, *Zostera marina* – *Nanozostera noltei* [3].

Активная портовая деятельность в Керченском проливе (обслуживание крупных терминалов и портов, дноуглубительные работы, постройка Тузлинской дамбы) рассматривается как один из основных факторов, влияющих на структуру сообществ фитобентоса, в том числе и на прилегающих акваториях [3].

Целью исследования является анализ пространственной структуры фитобентосных сообществ Таманского залива в современный период.

Природные условия

Таманский залив расположен между косой Чушка и Тузлинской косой и вдается в материк на 16 км. Ширина у входа – 8 км, глубина – до 5 м. Он разделяет Таманский полуостров на северную и южную лопасти. Причем его северная часть, ограниченная косой Чушка и Динским полуостровом, носит название Динского залива. Южный район залива условно разделяется на кутювую – восточную – часть и открытую к Керченскому проливу западную часть. Режим солености залива колеблется от 13 до 19 ‰. Берега сложены рыхлыми породами глинисто-песчаного строения.

Донные ландшафты сложены твердыми грунтами как естественного (глинистые илы, известняк, ракушечник), так и искусственного (каменная, известняковая отсыпка) происхождения. Искусственные субстраты в основном встречаются в открытых частях побережья Таманского полуострова (мыс Ахиллеон, косы Тузла и Чушка) и располагаются узкими полосами вдоль отдельных берегов [3]. Рыхлые грунты (глинистые илы, пески, обогащенные детритом и раковинным материалом) занимают большую часть площадей дна [3]. Распределение типов донных осадков подчиняется правилам вертикальной и циркумконтинентальной зональности [4].

Материалы и методы исследования

Для изучения распределения макрофитобентоса с учетом ландшафтной структуры дна были использованы материалы исследований, проведенных в Таманском и Динском заливах в период 2020–2024 гг.

Таблица 1

Координаты трансект ландшафтных профилей Таманского полуострова

№ п/п	Координаты начального пункта	Координаты конечного пункта
1	п. Сенной (45°28'70" с.ш.; 36°98'87" в.д.)	п. Юбилейный (45°32'47" с.ш.; 36°97'92" в.д.)
2	п. Сенной (45°28'15" с.ш.; 36°97'90" в.д.)	п. Волна Революции (45°32'83" с.ш.; 36°95'02" в.д.)
3	п. Приморский (45°27'10" с.ш.; 36°91'22" в.д.)	п. Гаркуша (45°31'65" с.ш.; 36°85'14" в.д.)
4	п. Батарейка (45°38'74" с.ш.; 36°81'25" в.д.)	п. Береговой (45°35'82" с.ш.; 36°81'38" в.д.)
5	п. Приморский (45°30'63" с.ш.; 36°81'28" в.д.)	отель Антик (45°38'74" с.ш.; 36°81'25" в.д.)
6	п. Тамань (45°21'91" с.ш.; 36°73'71" в.д.)	коса Рубанова (45°23'08" с.ш.; 36°72'53" в.д.)
7	п. Тамань (45°21'88" с.ш.; 36°72'78" в.д.)	до 45°28'71" с.ш, 36°71'90" в.д.

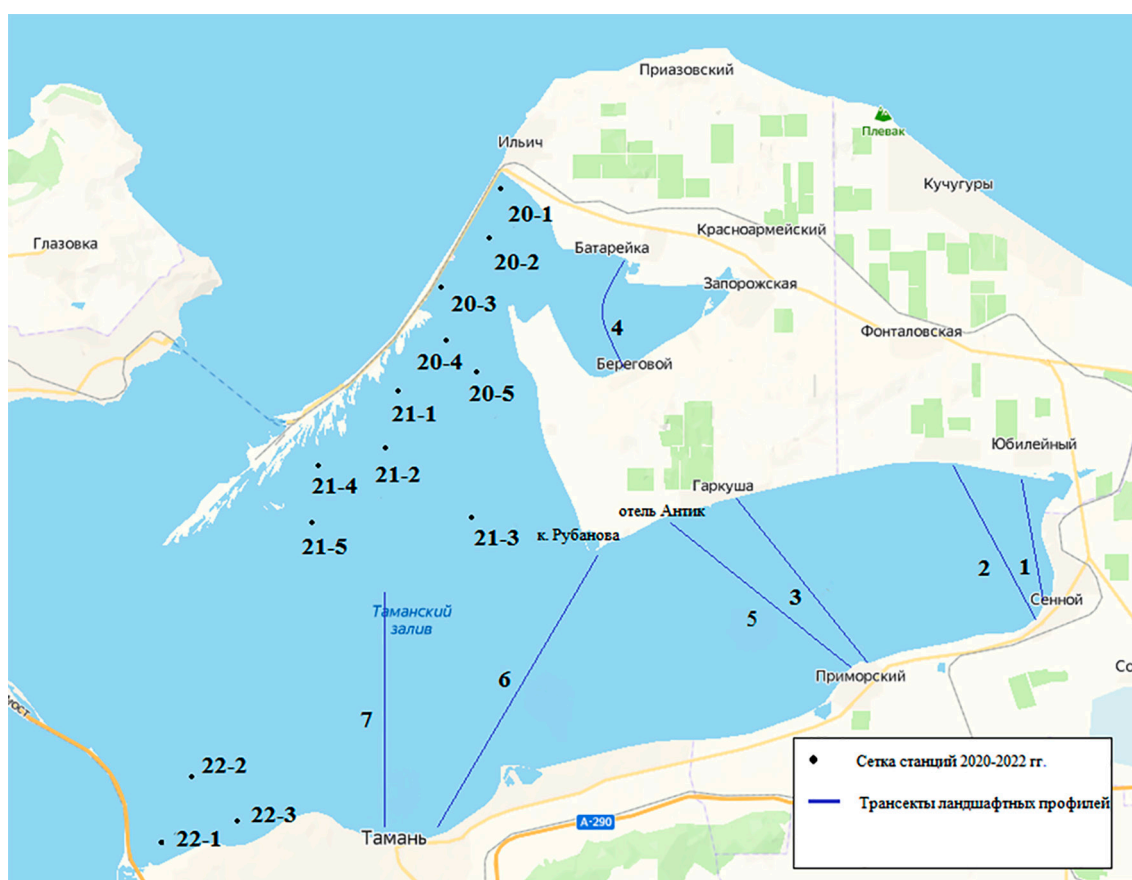


Рис. 1. Карта-схема работ в Таманском и Динском заливах

Работы в Таманском и Динском заливах проводились на основе методов подводных ландшафтных исследований с использованием легководолазной техники [5, 6].

Координаты трансект ландшафтных профилей (пересекающие залив от берега к берегу и охватывающие все типы ландшафтов) приведены в таблице 1.

В течение 2020–2022 гг. были заложены станции отбора проб № 20-1-20-5,

21-1-21-5 и 22-1-22-3. Карта-схема работ представлена на рисунке 1.

Координаты трансект и станций были определены с помощью портативного GPS-приемника. Начиная от берега, на каждой трансекте велось сплошное визуальное наблюдение. Общее проективное покрытие (ОПП) определяли при водолажном обследовании площадки дна размером 100 м².

Отбор проб макрофитобентоса на глубинах от 0,5 до 4,5 м осуществляли с помощью квадратных рамок площадью 0,25 м² на основе фиксации высоты полога. Пробы макрофитов были определены в лабораторных условиях, при этом определяли их биомассу и видовой состав [7]. Выделение фитоценозов проводили согласно доминантной классификации [7, с. 55].

Донные отложения были описаны визуально на основе классификации морских обломочных осадков по гранулометрическому составу, разработанной П.Л. Безруковым и А.П. Лисицыным [5, 6]. Параллельно на каждой станции выполняли отбор проб грунтов мерным металлическим стаканом емкостью 1 дм³. Грунты обрабатывали согласно ГОСТ 12536-79 ситовым методом. В работе также были приняты во внимание материалы о гранулометрическом составе грунтов, опубликованные в работах И.В. Любимова с соавт. [4].

Всего за период экспедиционных исследований было заложено 68 станций, собрано и обработано 232 пробы.

Для создания ландшафтной карты были использованы программный пакет QGIS версии 3.32.3 и электронная основа карты Таманского и Динского заливов. Географическую привязку границ фитоценозов и определение их площади осуществляли с помощью ресурса kosmosnimki.ru.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа состава донных отложений было выделено три группы станций (далее – зоны).

Первая зона включает в себя станции на глубинах от 3,5 до 5,5 м, локализованных в центральных частях Таманского залива, где преобладающими грунтами выступают тонкие илы (0,01 мм).

Вторая зона содержит группу станций на глубинах от 2,0 до 3,2 м с донными отложениями песчано-илистой фракции (1–0,5 мм) с незначительной долей ракуши.

Третья зона мелководья с глубинами порядка 0,5–1,7 м включает в себя станции с высоким содержанием крупных фракций песка со значительной долей ракуши.

В сообществах фитобентоса Таманского залива в качестве основных доминирующих видов выделены *Zostera marina*, *Nanozostera noltei*, *Chara baltica* и *Antitamnion plumula*. Отмечен поясной характер распределения сообществ. Полог фитоценозов имеет сплошной характер

в мелководной части и мозаичный, начиная с глубин более 2,5 м.

На основе полученных данных была построена ландшафтная карта типов донных природных комплексов (ДПК) с указанием их границ (рис. 2).

Ландшафтная структура Таманского и Динского заливов состоит из 6 типов ДПК, расположенных в пределах слабонаклоненной песчано-илистой равнины. Донные ландшафты имеют поясное простирание с размытыми границами, смена донных природных комплексов наблюдается с ростом глубины, по мере ослабления волновой активности и снижения световой обеспеченности.

К области мелководной отмели, пролегающей вдоль всей береговой линии Таманского залива на глубинах до 2,0 м, с отложениями в виде крупнозернистых песков со значительной долей ракуши, приурочен пояс с фитоценозами *Nanozostera noltei* + *Cladophora siwaschensis*– *Ulva intestinalis*–*Chaetomorpha linum* (ДПК 1. ОПП 80–100%).

В западной части акватории Динского залива, прилегающей к косе Чушка на песчано-илистых отложениях, на глубинах до 1,2 м преобладают фитоценозы *Nanozostera noltei* + *Cladophora siwaschensis* (ДПК 2. ОПП 60–70%). На лежащей южнее части акватории вдоль к. Чушка на отмелях до 1,3 м с преобладанием песчано-илистых отложений в виде битой ракуши доминирует смешанное сообщество *Nanozostera noltei* + *Zostera marina* с отдельными погруженными куртинами тростника (ДПК 3. ОПП 80–90%).

На площадях мелководного берегового склона с глубинами 1,7–3,0 м с песчано-илистыми отложениями выделен доминирующий фитоценоз *Zostera marina* (ДПК 4. ОПП 70–100%). В Динском заливе, в центральной части, с глубинами до 2,0 м, на песчано-илистых грунтах с высокой долей ракуши преобладает фитоценоз *Chara baltica*, в качестве субдоминантов выступают *Chondria tenuissimum*, *Zannichellia major*, *Ceramium tenuissima* (ДПК 5. ОПП 40–50%).

В центральной части Таманского залива с преобладающими глубина от 3,0 до 5,0 м, на участках дна, сложенных тонкодисперсными илами с включением раковинного материала, доминирует моновидовое сообщество *Antitamnion plumula*, которое образует сплошные заросли с толщиной слоя до 20–30 см (ДПК 6. ОПП 60–100%).

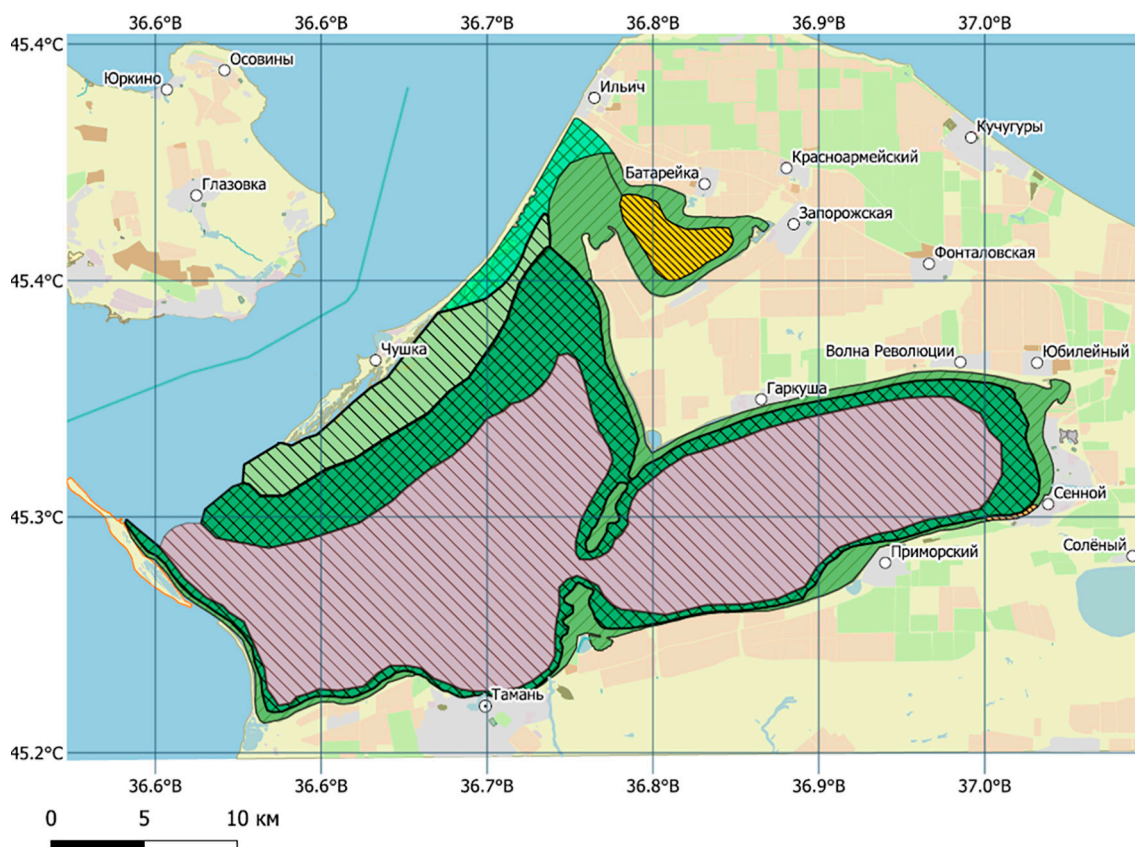


Рис. 2. Ландшафтная карта акватории Таманского и Динского заливов

Условные обозначения







-  мелководная отмель, сложенная песками с примесью ракушки с доминирующими фитоценозами *Nanozostera noltei* + *Cladophora siwaschensis* – *Ulva intestinalis*-*Chaetomorpha linum* (ОПП 80–100%)
-  мелководная отмель с песчано-илистыми грунтами и доминирующим фитоценозом *Zostera noltii* + *Cladophora siwaschensis* (ОПП 60–70%)
-  мелководная отмель с песчано-илистыми отложениями с незначительной долей ракушки с доминирующим фитоценозом *Nanozostera noltei* + *Zostera marina* (ОПП 80–90%)
-  мелководный береговой склон песчано-илистого сложения с включением раковинного материала и фитоценозом *Zostera marina* (ОПП 70–100%)
-  слабонаклонная подводная равнина, сложенная песчано-илистыми грунтами с фитоценозами *Chara baltica* + *Chondria tenuissimum* + *Zannichellia major* + *Ceramium tenuissima* (ОПП 40–50%)
-  слабонаклонная подводная равнина, сложенная тонкодисперсными илами с доминирующим фитоценозом *Antitamnion plumula*

Таблица 2

Общие запасы массовых видов макрофитов донных ассоциаций Таманского полуострова

№ ДПК	Площадь, га	Биомасса на г/м ²	Биомасса, кг/га	Запасы, т
1	3800	498,75	4 987,5	18 952,5
2	800	591,59	5 915,9	4 732,72
3	2300	386,12	3 861,2	8 880,76
4	7500	725,27	7 252,7	54 395,25
5	732,3	101,82	1 018,2	745,628
6	18200	678,15	6 781,5	123 423,3

В настоящее время в акватории Таманского полуострова выделено 6 донных ассоциаций, из которых наиболее обширные площади занимают следующие биоценозы: моновидовое сообщество *Antitamnion plumula* и смешанный фитоценоз *Zostera marina* + *Nanozostera noltei*. Для каждого донного природного комплекса были рассчитаны общие запасы массовых видов макрофитов (*Zostera marina*, *Nanozostera noltei* и *Antitamnion plumula*) в пересчете на 1 га (табл. 2).

Наибольшие удельные запасы макрофитов (7,2 т/га) отмечены для ДПК 4 на глубинах 1,7–3,0 м с грунтами песчано-илистого состава, где доминирует сообщество *Zostera marina*, формирующее практически полностью сомкнутый покров с ОПП до 100%.

При достижении глубин порядка 3,0–3,2 м в структуре донных отложений отмечается снижение доли песков в сторону увеличения фракции тонкодисперсных илов. В то же время зафиксирована смена фитобентосных сообществ высших растений на моновидовое сообщество красных водорослей *Antitamnion plumula*, однако биомасса при этом остается на довольно высоком уровне и составляет порядка 6,8 т/га (ДПК 6).

Мелководные участки (0,5–1,7 м) (ДПК 1–3), характеризующиеся преобладанием песчано-ракушечных и песчано-илистых грунтов с включение ракуши, занимают промежуточное положение по биомассе сообществ – порядка 5,9–3,8 т/га. Фитоценозы мелководной части представлены в основном взморниками с доминированием *Nanozostera noltei* с высокой долей зеленых водорослей.

Незначительные по биомассе сообщества с доминированием харовых водорослей выявлены в Динском заливе в виде узкой полосы вдоль мелководной части Таманского залива между поселками Сенной и Приморский, на глубинах от 0,2 до 1,0 м (1,0 т/га) (ДПК 5).

Ландшафтная структура слабонаклонной подводной равнины Таманского и Динского заливов включает в себя 6 донных природных комплексов. Донные комплексы в основном имеют поясную структуру, сложение типов ДПК связано с особенностями круговых течений разной направленности в кутовой и основной части Таманского залива.

Совокупный анализ карт глубин, granulометрического распределения грунтов и данных подводных съемок позволил про-

вести обобщение участков дна с близкими параметрами для выделения однотипных участков морского дна (донных природных комплексов), приуроченных к одной форме рельефа, имеющих характерные фитоценозы (рис. 2).

Результаты наших исследований демонстрируют, что не только ландшафтная структура дна, тип донных отложений, но и глубина водной толщи существенно влияют на распределение и запасы донной растительности в акватории Таманского залива. Приуроченные к песчано-илистым грунтам на глубинах более 1,7 м заросли *Zostera marina* характеризуются наивысшими величинами запасов, тогда как на мелководье от 0,5 до 1,7 м песчано-ракушечных и песчано-илистых грунтов с включением ракуши запасы взморников существенно меньше (5,9–3,8 т/га).

Моновидовое сообщество *Antitamnion plumula* характеризуется высокими показателями биомассы, лишь незначительно уступая сообществам с доминированием *Zostera marina*.

Заключение

Акватория Таманского залива характеризуется активным взаимодействием суши и моря, динамичностью и неустойчивостью к внешним воздействиям. На протяжении длительного времени залив подвергался интенсивному хозяйственному воздействию (дноуглубительные работы, строительство дамбы, рекреация, сельскохозяйственное освоение прибрежных зон и т.д.).

Комплексный геоэкологический подход к выделению донных природных комплексов Таманского залива позволил обнаружить закономерности пространственного распределения доминирующих фитоценозов. Картирование сообществ с привязкой к координатам GPS позволило оценить их запасы. Донная растительность Таманского залива имеет поясную структуру и представлена zostеровыми областями, которые располагаются на глубинах от 0,5 до 3,0 м. В растительном покрове залива взморники занимают доминирующее положение практически во всех выделенных ДПК. Наиболее высокими запасами макрофитов характеризуются фитобентосные сообщества мелководного берегового склона (ДПК 4), с песчано-илистыми отложениями с незначительным содержанием ракушки 1,7–3,0 м (сообщества *Zostera marina*) (7,2 т/га), наименьшими – комплексы, приуроченные к мелководной отмели, на глубинах от

0,2 до 1,0 м, с песчано-илистыми грунтами на глубинах (1 т/га), с доминированием сообществ харовых водорослей (ДПК 5).

Авторы считают, что необходимо разработать научно обоснованный план сохранения природно-ландшафтной среды, зонирование в структуре кадастра акватории и территории Таманского залива с выделением как охраняемых участков, так и зон рекреации, с обязательным определением ценности фитобентосных сообществ.

Список литературы

1. Brodersen M.M., Pantazi M., Kokkali A., Panayotidis P., Gerakaris V., Maina I., Kavadas S., Kaberi H., Vassilopoulou V. Cumulative impacts from multiple human activities on seagrass meadows in eastern Mediterranean waters: the case of Saronikos Gulf (Aegean Sea, Greece) // *Environ Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. Vol. 25(27). P. 26809-26822. DOI: 10.1007/s11356-017-0848-7.
2. Громов В.В. Водная и прибрежно-водная растительность северного и западного побережья Азовского моря // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2012. Т. 5, № 2. С. 121-137.
3. Бирюкова С.В., Семин В.Л., Громов В.В. Состояние донных сообществ Таманского залива после постройки дамбы Тузла в Керченском проливе // *Наука Юга России.* 2016. Т. 12, № 2. С. 53-67.
4. Любимов И.В., Колочкина Г.А., Симакова У.В., Басин А.Б. Донные биоценозы Таманского залива Азовского моря // *Океанология.* 2023. Т. 63, № 6. С. 936-949.
5. Миронова Н.В., Панкеева Т.В. Ландшафтный подход к оценке запасов макрофитов юго-западной части Гераклейского полуострова (Черное море, регион Севастополя) // *Вопросы современной альгологии.* 2018. № 3(18). URL: <http://algology.ru/1375> (дата обращения: 15.09.2024).
6. Панкеева Т.В. Пространственно-временные изменения макрофитобентоса акватории бухты Ласпи (Крым, Черное море) // *Океанология.* 2019. Т. 59, № 1. С. 93-107. DOI 10.31857/S0030-157459193-107.
7. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наук. думка, 1975. 247 с.
8. Веб-геоинформационная платформа. [Электронный ресурс]. URL: <https://kosmosnimki.ru>. (дата обращения: 15.09.2024).

УДК 911.3:314:910.27
DOI 10.17513/use.38337

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕСТАХ ПРОЖИВАНИЯ КОРЕННЫХ МАЛОЧИСЛЕННЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Федорова А.С., Саввинова А.Н.

*ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Якутск, e-mail: fedas78@mail.ru, sava_73@mail.ru*

Целью исследования является пространственно-временной анализ трансформации демографической ситуации в местах проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера Якутии. В статье представлены результаты изучения неравномерности социально-демографической устойчивости населения, которая накладывает отпечаток на социально-экономическое развитие как Республики Саха (Якутии) в целом, так и муниципальных районов, низовых административных единиц – наслегов. В данном исследовании были использованы различные методы: сравнительный, статистический анализ и картографический метод с применением геоинформационной системы. Проанализированы демографические показатели за межпереписной период с 2010 по 2020 г. и современное состояние за 2021–2023 гг. на разных административно-территориальных уровнях. С использованием метода балльной оценки были выделены четыре типа демографической ситуации: благополучная, относительно благополучная, относительно неблагоприятная, неблагоприятная. С использованием геоинформационных систем была разработана серия тематических карт, отражающих региональные особенности демографической ситуации, и выявлены тенденции развития демографической ситуации как в регионе в целом, так и в местах проживания коренных малочисленных народов Севера. Было определено, что места проживания коренных малочисленных народов Севера характеризуются неравномерностью демографического развития, что усугубляет внутрорегиональные различия и требует учета региональной специфики при разработке и реализации планов социально-экономического развития территорий.

Ключевые слова: коренные малочисленные народы Севера, картографирование, демографическая ситуация, перепись населения, Республика Саха (Якутия)

MAPPING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE PLACES OF RESIDENCE OF THE INDIGENOUS PEOPLES OF THE NORTH OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Fedorova A.S., Savvinova A.N.

*North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk,
e-mail: fedas78@mail.ru, sava_73@mail.ru*

The purpose of the study is a spatial and temporal analysis of the transformation of the demographic situation in the places of residence and traditional economic activities of the Indigenous peoples of the North of Yakutia. The article presents the results of studying the uneven socio-demographic stability of the population, which affects the socio-economic development of the Republic of Sakha (Yakutia) as a whole, as well as municipal districts and grassroots administrative units – naslegs. In this study various methods were used: comparative, statistical analysis and cartographic method using geographic information system. Demographic indicators for the inter-census period from 2010 to 2020 and the current state for 2021–2023 at different administrative and territorial levels were analyzed. Using the scoring method, four types of demographic situation were identified: prosperous, relatively prosperous, relatively disadvantaged, and disadvantaged. Using geoinformation systems, a series of thematic maps was developed reflecting the regional peculiarities of the demographic situation. Also were identified the trends in its development – both in the region as a whole and in the places of residence of the Indigenous peoples of the North. It was revealed that the places of residence of the Indigenous peoples of the North are characterized by uneven demographic development, which exacerbates intraregional differences and requires taking into account regional specifics when developing and implementing plans for the socio-economic development of territories.

Keywords: indigenous peoples of the North, mapping, demographic situation, population census, Republic of Sakha (Yakutia)

Введение

В последние годы изучение демографической ситуации на региональном уровне приобретает все большую социальную значимость. Эти исследования имеют особую актуальность для изучения расселения и устойчивого развития коренных малочисленных народов Севера (КМНС), где демографические показатели являются индикаторами социально-демографической

устойчивости территории и могут быть использованы для выявления тенденций, понимания и решения социальных проблем и разработки мер по их решению.

По данным переписи населения Российской Федерации 2020 г., в Республике Саха (Якутия) проживали 41933 представителя коренных малочисленных народов Севера, что составляло 16% от их общей численности в России [1].

Численность коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия)

Коренные малочисленные народы Севера РС(Я)	По данным переписи, человек				Прирост в % 2010 г. к 2020 г.	Прирост в % 1989 г. к 2020 г.
	1989 г.	2002 г.	2010 г.	2020 г.		
Эвенки	15 859	18 232	21 008	24 334	115,9	153,4
Эвены	10 561	11 657	15 071	13 233	87,8	125,3
Юкагиры	762	1 097	1 281	1 510	117,9	198,2
Чукчи	532	602	670	709	105,8	133,3
Долганы	525	1 272	1 906	2 147	112,6	309,0
ИТОГО	28 239	32 860	39 936	41 933	105,0	148,5

Примечание: составлено по данным Федеральной службы по государственной статистике по Республике Саха (Якутия) [1].

К коренным малочисленным народам Севера Республики Саха (Якутия) относятся 24334 эвенка (58% от общей численности КМНС РС(Я)), 13233 эвена (31,6%), 2147 долган (5,1%), 1510 юкагиров (3,6%), 709 чукчей (1,7%). В межпереписной период 1989–2020 гг. численность эвенков увеличилась в 1,5 раза, эвенов – в 1,3 раза, юкагиров – в 2 раза, чукчей – в 1,3 раза и долган – в 4 раза (таблица).

Расселение коренных малочисленных народов Севера на обширной территории Республики носит крайне рассредоточенный характер. На момент переписи населения 2020 г. наибольший удельный вес их численности отмечался в местах их традиционного проживания. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 08.05.2009 № 631-р (ред. от 11.02.2021) «Об утверждении перечня мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Российской Федерации и перечня видов традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Российской Федерации», в Якутии 21 улус (район) с 70 сельскими поселениями (населениями) включены в перечень мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Российской Федерации [2].

Исследования по расселению, динамике численности и особенностям воспроизводства коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока проводятся как на федеральном уровне [3], так и на региональном уровне [4, 5]. В рассмотренных работах большое внимание уделяется как характеристике и динамике основных демографических показателей КМНС

(численность, воспроизводство, половозрастная структура), так и медико-демографическим показателям. В Республике Саха (Якутия) вопросы изучения современных трендов в изменении воспроизводства населения [6] и демографической безопасности [7] в местах проживания КМНС широко освещены в работах экономистов, экономико-географов, результаты которых вносят существенный вклад в разработку мер поддержки социального развития КМНС и улучшения демографической политики.

Для проведения демографических исследований также широко используется картографический метод, который позволяет получать актуальную информацию о населении и отображает взаимосвязи и динамику демографических процессов. Сегодня картографирование тесно связано с использованием геоинформационных систем (ГИС), дающих возможность собрать, обработать и визуализировать большой объем статистических данных. В последние годы в России и за рубежом были созданы картографические произведения и ГИС-проекты на территориях проживания и традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера. Однако приходится констатировать, что вопросы картографирования и использования ГИС-технологий для уточнения этнических ареалов КМНС в основном рассматриваются на уровне регионов [8] и природно-ландшафтных выделов [9].

Целью данного исследования является анализ трансформации демографической ситуации на территориях проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия).

Материалы и методы исследования

Территорией исследования являются места традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности КМНС в Республике Саха (Якутия) на низовом административном уровне – наслеге. Исследование направлено на выявление основных демографических тенденций, имевших место на этих территориях в межпереписной период 2010 и 2020 г. и на 2021–2023 гг., на разных административно-территориальных уровнях и проведено с использованием сравнительного, статистического анализа и систематизации данных с применением картографического метода.

Основными источниками для создания тематических карт послужили официальная статистическая информация Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) и данные переписей населения 2010 и 2020 г. В ходе сбора статистических данных по демографическим показателям КМНС РС(Я) была выявлена проблема отсутствия некоторых показателей.

При создании базы данных были сформированы связанные таблицы атрибутов, содержащие информацию об объекте, его геометрии, названии и различных демографических показателях. На разных административно-территориальных уровнях (муниципальных районах и наслеггах) рассмотрены следующие демографические показатели: рождаемость, смертность, естественный и миграционный прирост, браки и разводы, возрастная и гендерная структура. Были выполнены количественные расчеты их доли в общих показателях населения субъектов, и, поскольку эти данные зависят от численности населения, они приведены в расчете на 1000 человек, то есть в промилле (‰), что позволяет нивелировать различия в численности населения и дает возможность сравнить демографические показатели в разных административных единицах.

На основе собранных данных была составлена серия карт, отражающих региональные особенности демографической ситуации в местах проживания коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия). Карты были созданы с использованием открытой ГИС программы QGIS (Quantum GIS). Тематическое содержание карт, особенности территории и масштаб карт определили выбранный способ отображения – картограмму. Использование ГИС-технологий позволяет наполнять и хранить созданную базу географических

данных, анализировать, обновлять и корректировать обширную статистическую информацию.

Результаты исследования и их обсуждение

Для сравнительного пространственного анализа и выявления территориальных диспропорций социально-демографической устойчивости территории авторами были изучены места традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности КМНС на низовом административном уровне – наслеге. Эти диспропорции имеют как схожие черты (преобладает сельское население, наблюдаются миграционный отток и убыль населения по причине отъезда молодежи в центры районов и г. Якутск для получения среднего профессионального и высшего образования, в структуре хозяйства преобладает преимущественно сельское хозяйство, в том числе оленеводство, охотничий промысел, наблюдаются одинаково низкие показатели социально-экономического развития наслегов), так и отличия в физико-географических условиях вследствие разного географического положения и обширности региона.

Несмотря на то что подавляющее большинство представителей коренных малочисленных народов Севера проживают в сельской местности, наблюдается тенденция миграции сельского населения из мест постоянного проживания в города. На момент переписи населения 2020 г. наибольшая доля коренных малочисленных народов Севера отмечается не только в районах их традиционного проживания, но и в городе Якутске. Так, эвенки проживали в г. Якутске (19,8% от общего числа эвенков Якутии), в Оленекском (14,7%), Жиганском (10,8%), Алданском, Усть-Майском и Булунском (8,6%), Нерюнгринском (5,1%), Олекминском (4,9%), Анабарском (4,4%) районах. Доля эвенов в Эвено-Бытантайском районе составляет 12,9% от общего числа эвенов Республики, в г. Якутске – 11,3%, Усть-Янском районе – 10%, Томпонском и Момском – 8,6%, Булунском – 7,7%, Кобяйском – 6,8%. Долганы преобладают в Анабарском районе (71,2% от общего числа долган Республики) и в г. Якутске (14,9%). Юкагиры проживают в Верхнеколымском районе (20,4% от общего числа юкагиров Республики), в Якутске (17,6%) и в Усть-Янском районе (12%). Чукчи преобладают в Нижнеколымском районе (72,4% от общего числа чукчей Республики), в г. Якутске (9,7%).

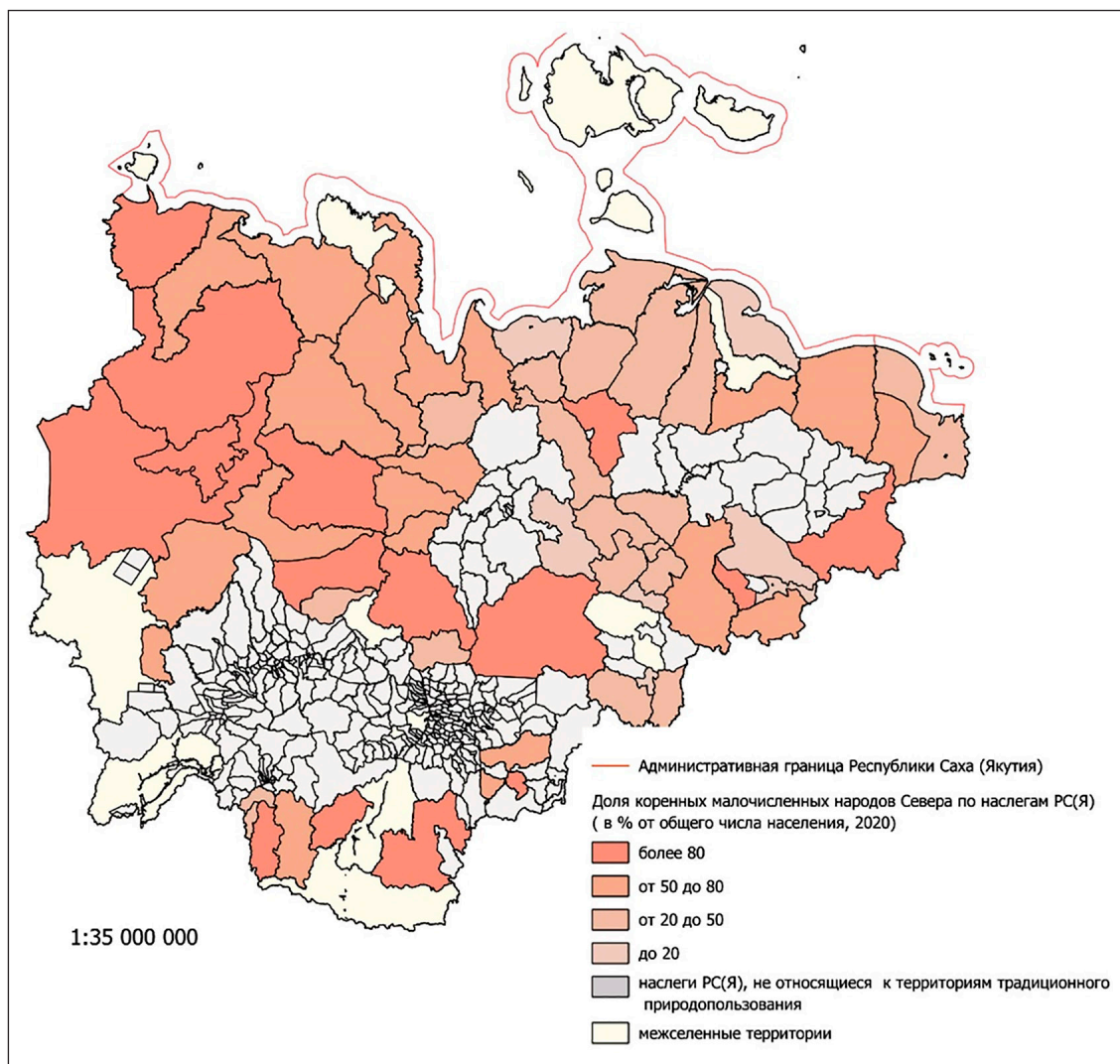


Рис. 1. Удельный вес коренных малочисленных народов Севера по наслегам РС(Я)
(в % от общего числа населения в наслеге, 2020 г.)

Источник: составлено авторами по данным переписи населения 2020 г. [1]

На низовом административном уровне на большей части изученных территорий доля КМНС составляет более 50% от общей численности населения (рис. 1). Более 80% КМНС от общего числа населения в наслеге проживают на территориях Жилиндинского и Кирбейского (Оленекский район), Ламынхинского (Кобяйский район), а также Утаинского (Верхнеколымский район) наслегов. Менее 50% КМНС от общей численности населения наслеге проживают в районах, расположенных в северо-восточной части Республики. Самые низкие показатели КМНС от общего числа населения в наслеге были зафиксированы в Русско-Устьинском (Аллаиховский район) (7,07%) и Табалахском (Верхоянский район) (9,15%).

Места проживания коренных малочисленных народов Севера характеризуются неравномерностью демографического развития, что усугубляет внутрирегиональные различия. Численность населения в местах проживания КМНС снизилась незначительно – на 0,3% (с 42251 человека в 2020 г. до 42120 человек в 2023 г.). Максимальное увеличение численности отмечалось на уровне 15,6% в Баянгнырском наслеге Аллаиховского района. Наибольшее сокращение населения было отмечено в Берелехском и Юкагирском наслеге Аллаиховского района (на 21,2% и 39,6% соответственно) и в Кировском наслеге Кобяйского района (на 16,5%). В абсолютном выражении наибольший прирост в 2023 г. зафиксирован

в Оленекском наслеге Оленекского района (+149 человек) и Иенгринском наслеге Нерюнгринского района (+100 человек). Особенностью воспроизводства народностей Севера является более высокий уровень рождаемости и смертности. В большинстве мест проживания КМНС сохраняется высокий уровень рождаемости, в 2023 г. наиболее высокие значения наблюдались в Киндигирском наслеге Олекминского района и Бьягнырском наслеге Аллаиховского района. В ряде наслегов рождаемость отсутствует – это Русско-Устьинский (Аллаиховский район), Утайнский (Верхнеколымский район) и др. В среднем за 2021–2023 гг. наиболее высокая рождаемость отмечена в Киндигирском наслеге Олекминского района и национальном наслеге Анамы Алданского района. Наиболее низкая рождаемость за три года отмечена в Иенгринском наслеге Нерюнгринского района и Верхнеколымском наслеге Верхнеколымского района.

Уровень смертности на большей части территории проживания КМНС ниже общереспубликанских значений. Самые высокие показатели смертности были отмечены в районах, расположенных в северо-восточной части Республики. Самые высокие показатели смертности в 2023 г. отмечены в Русско-Устьинском наслеге Аллаиховского района. В среднем за 2021–2023 гг. наиболее высокие показатели смертности были отмечены в Берелехском и Русско-Устьинском наслеге Аллаиховского района. Самая низкая смертность была отмечена в Уяндинском и Усть-Янском наслеге Усть-Янского района, Березовском наслеге Среднеколымского района, Соболахском наслеге Момского района.

Естественный прирост на большей части исследуемых территорий сохраняет положительное значение, что характерно в целом для большинства сельских районов Республики. Показатель в среднем по Республике составляет 3,4%, тогда как на территориях проживания КМНС естественный прирост составляет в среднем 5,2%. Наибольший естественный прирост – 36,4% в 2023 г. – отмечался в Киндигирском наслеге Олекминского района, где наблюдаются высокие коэффициенты рождаемости и относительно низкие коэффициенты смертности. Относительно высокие значения имели место в Уяндинском (Усть-Янский район), Верхне-Бытанатайском (Эвено-Бытанатайский район) и Березовском (Среднеколымский район) наслеге. Естественная убыль была зафиксирована только в 14 на-

слеге, что составляет 22% от общего количества наслегов. Наибольшая естественная убыль наблюдается в Русско-Устьинском (Аллаиховский район) (–35,4%) и в Утайнском (Верхнеколымский район) наслеге (–20,6 %). В этих наслеге в 2023 г. отмечаются высокие коэффициенты смертности населения и самые низкие коэффициенты рождаемости. За 2021–2023 гг. высокий положительный естественный прирост наблюдался в Оленекском наслеге Оленекского района, Саскылахском и Юрюнг-Хаинском наслеге Анабарского района. Наиболее низкие показатели – в Петропавловском наслеге Усть-Майского района, Майорском наслеге Абыйского района, Русско-Устьинском наслеге Аллаиховского района.

Анализ коэффициентов миграционного прироста показал, что одна треть наслегов в 2023 г. имеют положительное значение (прирост до 3 человек на 100 человек населения). Наибольший прирост был отмечен в Чыбагалахском наслеге Момского района, где было зарегистрировано +6,6 человека на 100 человек населения наслеге. Отрицательные значения данного коэффициента отмечены на большей части исследуемой территории. Здесь играет большую роль внутрирегиональная миграция, когда наблюдается переезд молодежи из села в город. Миграционная убыль в 2023 г. была отмечена в 12 наслеге и составила более 3 человек на 100 человек населения. Наибольшее снижение произошло в Берелехском (Аллаиховский район) (–61,73%), Киндигирском (Олекминский район) (–57,6%), Садынском (Мирнинский район) наслеге (–57,3%). Наибольшее миграционное снижение за три года отмечено в Утайнском (Верхнеколымский район) (–48,1 на 1000 человек) и Киндигирском (Олекминский район) наслеге (–51,5 на 1000 человек).

Показатели брачности влияют на показатели рождаемости. За период с 2010 по 2020 гг. численность женщин фертильного возраста в местах проживания КМНС уменьшилась на 7%. Из них число женщин, состоящих в браке, увеличилось на 3%, при этом численность женщин в незарегистрированном супружеском союзе незначительно снизилась. В 2023 г. в 1/3 наслегов приходится более 5 браков на 1000 населения. Наибольшее значение показателя – в Чаринском, Киндигирском, Ламынхинском, Чабалахском, Садынском наслеге (более 10 браков на 1000 населения). В 16 наслеге браки не были зафиксированы. Если посмотреть статистику за последние три года

(с 2021 по 2023 г.), средний коэффициент брачности наиболее высок в Киндигирском и Чаринском наслегах Олекминского района, а также в национальном наслеге Анамы Алданского района. В четырех наслегах не было зафиксировано браков за последние три года: Русско-Устьинском (Аллаиховского района), Линдинском (Жиганского района), Походском (Нижнеколымского района), Березовском (Среднеколымского района) наслегах. На большей части территории в 2023 г. количество разводов незначительно. Наибольшее количество разводов в 2023 г. (41,2 на 1000 человек) было отмечено в Утаинском наслеге Верхнеколымского района. В 15 наслегах разводы не были зафиксированы. За 2021–2023 гг. коэффициент разводов наиболее высок в Утаинском наслеге Верхнеколымского района. За последние три года разводы отсутствуют в Уяндинском наслеге (Усть-Янский район),

Чаринском (Олекминский район), Походском (Нижнеколымский район) и Соболюском (Момский район) наслегах.

Средний возраст жителя Якутии составляет 35,2 года, тогда как на местах проживания КМНС он составляет в среднем 33 года. Изменения в возрастной структуре сильно влияют на демографическую нагрузку на людей трудоспособного возраста. По Республике Саха (Якутия) в 2023 г. этот показатель составил 664 на 1000 человек трудоспособного возраста, а в местах проживания КМНС – 748 на 1000 человек. Нагрузка детьми и подростками по местам проживания КМНС составила 440 на 1000 трудоспособного населения (что выше аналогичного показателя по РС(Я) – 401). Нагрузка людьми старше трудоспособного возраста – 309 на 1000 человек трудоспособного населения, а по Республике – 263 соответственно.

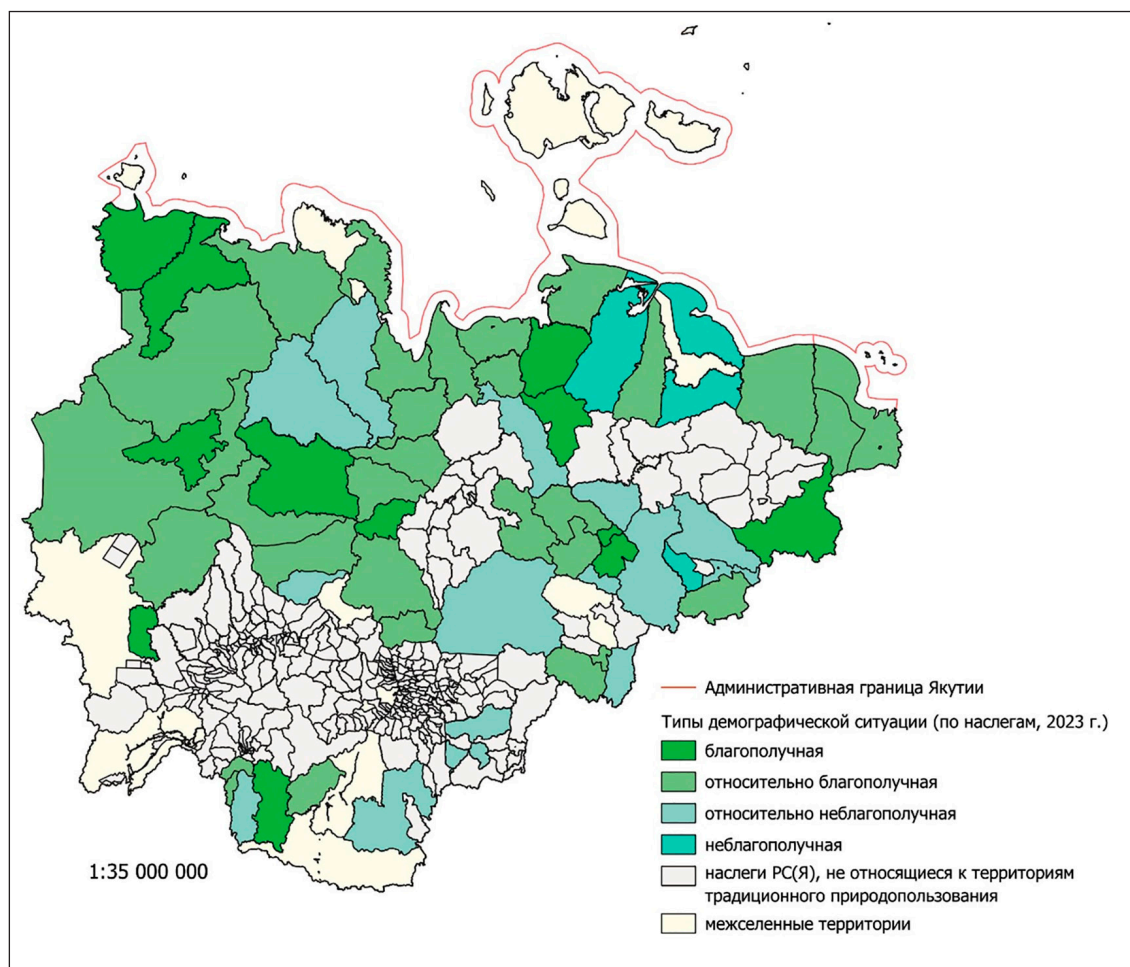


Рис. 2. Типы демографической ситуации по местам проживания КМНС Якутии, 2023 г.
 Источник: составлена авторами по данным Федеральной службы по государственной статистике по Республике Саха (Якутия) [1]

Для изучения демографической ситуации, сложившейся в местах проживания КМНС, был использован метод балльной оценки, при этом показатель был либо стимулятором, либо дестимулятором. Оценивались относительные демографические показатели в среднем за 2021–2023 гг.: динамика численности населения, рождаемость, смертность, естественный и миграционный прирост, количество браков и разводов, возрастная и гендерная структура. На основе оценки были выделены типы демографической ситуации в наслегах проживания КМНС: благополучная, относительно благополучная, относительно неблагополучная, неблагополучная (рис. 2).

Благополучная демографическая ситуация сложилась в 11 наслегах проживания КМНС, а наиболее благополучная ситуация наблюдалась в Киндигирском наслеге (Олекминского района). Для нее характерны: повышенные значения общего коэффициента рождаемости и сниженные показатели смертности, положительный естественный прирост, число зарегистрированных браков выше, чем в среднем по Республике, а число разводов невелико. Однако наблюдается миграционная подвижность населения из сельских поселений в районные центры и столицу региона.

Половина наслегов проживания КМНС относятся к группе с относительно благополучной демографической ситуацией. Они характеризуются средним уровнем рождаемости и относительно низким уровнем смертности, темпы естественного прироста выше, чем в среднем по Республике, но в то же время в большинстве наслегов наблюдаются миграционная убыль, заметное снижение числа браков и низкий процент разводов.

Относительно неблагополучная демографическая ситуация сложилась в 16 наслегах проживания КМНС. Для нее характерны низкий уровень рождаемости и средний уровень смертности населения, высокая естественная и миграционная убыль, низкий процент браков и разводов.

Неблагополучная демографическая ситуация сложилась в 4 наслегах проживания КМНС: Юкагирском, Берелехском и Русско-Устьинском (Аллаиховский район), Утайнском (Верхнеколымский район). Для нее характерны наиболее низкие значения коэффициента рождаемости и высокий уровень коэффициента смертности населения. Коэффициент естественной убыли выше, чем в среднем по Республике, также

отмечаются значительная миграционная убыль населения с 2020 по 2023 г., низкий процент браков и высокий процент разводов.

Заключение

Выполненное исследование позволило выявить особенности территориальной дифференциации наслегов проживания КМНС с разным уровнем социально-демографического развития и разработать типологию с выделением четырех типов демографической ситуации: благополучная, относительно благополучная, относительно неблагополучная, неблагополучная. Для пространственной визуализации данных была разработана серия тематических карт с использованием ГИС-технологий, которые позволили выявить и оценить пространственные различия в современных демографических процессах, происходивших на низовом административном уровне в период с 2021 по 2023 г. Проведенная оценка демографической ситуации не может всецело и точно отобразить пространственные различия демографического состояния на территориях проживания КМНС в РС(Я), однако полученные результаты могут быть использованы для определения пространственных особенностей развития геодемографических процессов, выявления причинно-следственных связей и показа разновременных предпосылок трансформации на уровне региона и его низовых административных единиц.

Выявленные особенности пространственной дифференциации наслегов проживания КМНС РС(Я) по демографическим показателям будут полезны при обосновании региональной социально-демографической политики, разработке различных региональных и федеральных программ и мероприятий, связанных со стимулированием рождаемости, снижением смертности и регулированием внутрирегиональной и межрегиональной миграции в целях планирования устойчивого развития муниципальных образований.

Список литературы

1. Официальный сайт Федеральной службы по государственной статистике по Республике Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://14.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 28.08.2024).
2. Распоряжение Правительства РФ от 8 мая 2009 г. N 631-р «Перечень мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/68192/> (дата обращения: 15.08.2024).

3. Логинов В.Г. Коренные малочисленные народы Севера: динамика и особенности воспроизводства // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2019. № 1. С. 136-149.
4. Копцева Н.П., Шишацкий Н.Г., Брюханова Е.А. Динамика численности и особенности современной системы расселения коренных малочисленных народов Севера в арктической зоне Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2023. № 16. С. 164-183.
5. Ростовская Т.К., Плеханова Л.В., Ситковский А.М. Особенности демографического развития коренных малочисленных народов Севера ХМАО в период 2002-2022 гг. // Вопросы истории. 2023. № 9-1. С. 172-187.
6. Сукнёва С.А. Современные тренды рождаемости в Республике Саха (Якутия) // Уровень жизни населения регионов России. 2017. № 2. С. 51-57.
7. Мостахова Т.С. Демографическая безопасность региона: подходы к оценке и индикаторы угроз в Республике Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Экономика. Социология. Культурология. 2018. № 2. С. 15-22.
8. Филиппова В.В. Коренные малочисленные народы Севера в Арктическом пространстве Якутии: геоинформационное исследование расселения в XX веке // Арктика и Север. 2012. № 9. С. 112-117.
9. Бочарников В.А., Егидарев Е.Г. Геоинформационное картографирование ареалов жизнедеятельности коренных малочисленных народов в природных ландшафтах Дальневосточного федерального округа // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2021. № 3 (58). С. 8-23.

УДК 504.064.2:911.6:574.633
DOI 10.17513/use.38338

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ЗОНИРОВАНИЕ ВОД ДОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1 ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Шойдоков А.Б.

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии»
Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: shdkvlv.sc@yandex.ru

Цель исследования – оценить состояние и выполнить зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон по классам их качества на основе показателей макрозообентоса. В октябре 2022 г. и в марте 2023 и 2024 гг. на оз. Кенон проведены исследования состояния вод его донной подсистемы по показателям зообентоса. Современный состав донных беспозвоночных представлен хириномидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* и *Tanipus punctipennis*, олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri* и хаоборидами *Chaoborus flavicans*. Преобладающими по площади классами качества воды в донной подсистеме оз. Кенон в октябре 2022 г. являлись третий и четвертый классы – загрязненные и грязные воды. Остальную часть от площади водоема составили воды пятого (экстремально загрязненные) и второго (слабо загрязненные) классов. В среднем современное состояние вод донной подсистемы оз. Кенон соответствует третьему классу качества (загрязненным водам). В марте 2023 и 2024 гг. качество вод донной подсистемы оз. Кенон в значительной степени не изменилось. Полученные результаты дают представление о состоянии вод в донной подсистеме озера и могут быть использованы для создания геомодели природно-технической системы водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1.

Ключевые слова: оценка состояния вод, донная подсистема, водоем-охладитель, геоинформационные технологии, зонирование, зообентос, озеро Кенон

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований Сибирского отделения Российской академии наук «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов» (№ государственной регистрации 121032200070-2).

ASSESSMENT OF THE CONDITION AND ZONING OF THE WATERS OF THE BOTTOM SUBSYSTEM OF THE CHITA TPP-1 COOLING RESERVOIR ACCORDING TO THE INDICATORS OF ZOOBENTHOS

Shoydokov A.B.

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

The purpose of the study is to assess the condition and perform zoning of the waters of the bottom subsystem of Lake Kenon by their quality classes based on macrozoobenthos indicators. In October 2022 and in March 2023 and 2024, studies of the state of the waters of its bottom subsystem according to zoobenthos indicators were conducted at Kenon Lake. The modern composition of benthic invertebrates is represented by the chironomids *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* and *Tanipus punctipennis*, oligochaetes *Limnodrilus hoffmeisteri* and chaoborides *Chaoborus flavicans*. The predominant water quality classes in the bottom subsystem of Kenon Lake in October 2022 were the third and fourth classes – polluted and dirty waters. The rest of the reservoir area was made up of waters of the fifth (extremely polluted) and second (slightly polluted) classes. On average, the current state of the waters of the bottom subsystem of Kenon Lake corresponds to the third quality class (polluted waters). In March 2023 and 2024, the water quality of the bottom subsystem of Kenon Lake remained largely unchanged. The results obtained give an idea of the state of the waters in the bottom subsystem of the lake and can be used to create a geomodel of the natural-technical system of the Chita TPP-1 cooling reservoir.

Keywords: assessment of the state of waters, bottom subsystem, cooling reservoir, geoinformation technologies, zoning, zoobenthos, Kenon Lake

The work was carried out under the fundamental scientific research program of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences “Geoecology of aquatic ecosystems of Transbaikalia in the conditions of modern climate and technogenesis, basic approaches to the rational use of waters and their biological resources” (state registration number 121032200070-2).

Введение

Использование озер в качестве охладителей тепловых агрегатов угольных электростанций обуславливает сложный и комплексный характер антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды,

что влечет за собой нарушение естественного режима функционирования водоемов. Результат такого воздействия способствует появлению природно-технических геоэкосистем водоемов-охладителей, изучение которых необходимо для рационального

использования водных ресурсов. Исследование таких геоэкосистем имеет перспективу с использованием геоинформационных технологий (ГИС). Применение ГИС-технологий широко отражено в работах ученых [1, 2]. Сбор данных об изучаемом объекте, их анализ и дальнейшая визуализация с применением ГИС позволяют создать пространственную геоделу [3], которая отражает состояние геоэкосистемы. При изучении геоэкосистем водоемов-охладителей в качестве геоданных выступают любые пространственные элементы природного и техногенного характера.

Озеро Кенон – важнейший объект обеспечения краевого центра Забайкальского края г. Читы тепло- и электроэнергией; водоем, использующийся в качестве охладителя тепловых агрегатов Читинской ТЭЦ-1 уже более 50 лет [4, с. 3]. До настоящего времени была попытка АНО «Центр исследований и разработок» [5] изучить состояние оз. Кенон с использованием геоинформационных технологий. Однако схема станций исследования, представленная в отчете [5], не дает полного представления о качестве воды в озере. Мониторинг за качеством вод оз. Кенон с использованием организмов – биоиндикаторов (зообентос, зоопланктон и т.д.) выполняет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Росгидромет» [6]. Росгидромет проводит наблюдения за качеством вод водоема на двух створах [6]: в районе ТЭЦ и в центре озера. Ограниченное количество станций мониторинга не позволяет выполнить зонирование вод оз. Кенон по классам качества с использованием ГИС-технологий.

При изучении природных водоемов Забайкальского края зонирование с использованием ГИС выполнялось на основе равномерно распределенных по озеру станций исследования [7]. В отношении водоемов-охладителей в Забайкальском крае исследования с целью выполнения зонирования не проводились. При мониторинге за состоянием оз. Кенон не уделяется достаточное внимание донной подсистеме водоема. В ней осуществляются процессы взаимодействия между компонентами: подстилающие породы – донные отложения – вода – биота, которые определяют состояние всей геоэкосистемы водоема-охладителя [8]. **Цель исследования** – оценить состояние и выполнить зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон по классам их качества на основе показателей макрозообентоса.

Материалы и методы исследования

Озеро Кенон (52°02.349' N, 113°23.068' E) (рис. 1) – один из крупных водоемов, относящихся к Верхнеамурскому бассейну, который находится на северо-западной окраине г. Читы в пределах Читинской котловины на высоте 650 м. Водоем окружен городскими жилыми застройками, промышленными и технологическими предприятиями, к которым относятся: Читинская ТЭЦ-1, городская нефтебаза, Транссибирская железнодорожная магистраль, авторемонтные предприятия и т.д. [4, с. 3]. В 1,4 км к западу от водоема располагается Международный аэропорт Чита. Озеро является популярным местом отдыха жителей и гостей краевого центра Забайкальского края.

Водоем бессточный, однако при высоком стоянии уровня вод озера может наблюдаться поверхностный сток из него в р. Ингода. В оз. Кенон впадают р. Застепенский (Ивановский) и р. Кадалинка. В связи с использованием водоема в качестве охладителя Читинской ТЭЦ-1 для регулирования его уровня и восполнения потерь воды осуществляется подкачка вод из р. Ингода [4, с. 8].

Озеро Кенон относится к мелководным водоемам с значительными изменениями степени зарастания, зависящими от уровня режима озера, климатических факторов и т.д.

Преобладающим типом грунтов в озере являются илы. Наибольшее загрязнение донных отложений тяжелыми металлами отмечается в районе ТЭЦ [9]. При оценке токсического загрязнения водоема методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид установлено, что в районе ТЭЦ-1 сложились условия сильного токсического загрязнения [10].

По данным на 2022 г. площадь озера составляет 15,2 км², длина – 5,6 км, ширина (средняя) – 2,9 км. Средняя глубина – 4,8 м, максимальная – 6,2 м.

Отбор проб зообентоса выполнен в октябре 2022 г. на 32 станциях исследования, равномерно распределенных по оз. Кенон. В марте 2023 и 2024 гг. отбор проб зообентоса выполнен на семи постоянных мониторинговых станциях для оценки изменения качества вод (рис. 2). Пробы зообентоса отобраны с использованием дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0,025 м². Далее пробы были отмыты от грунта через мельничное сито с размером ячеек 0,3 мм и зафиксированы 4%-ным раствором формальдегида.



Рис. 1. Местоположение оз. Кенон

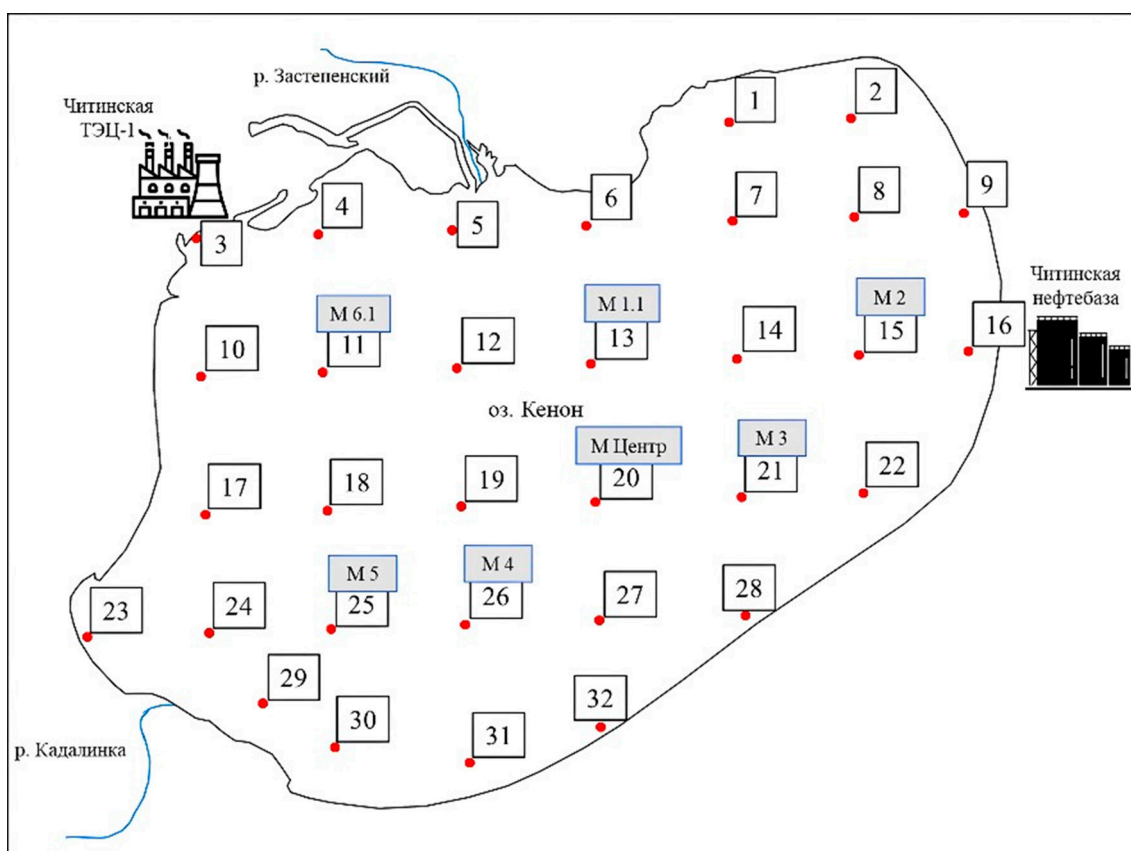


Рис. 2. Карта-схема отбора проб зообентоса на оз. Кенон, где 1–32 – станции отбора проб в октябре 2022 г., а станции с приставкой «М» – станции отбора проб в марте 2023 и 2024 гг.

Оценка качества воды оз. Кенон выполнена с использованием индекса Вудивисса [11]. Дополнительно по материалам 2022 и 2023 гг. посчитан индекс видового разнообразия Шеннона и индекс Гуднайта – Уитлея (соотношение численности олигохет к общей численности организмов зообентоса в пробе).

Расчет индекса Вудивисса был модифицирован. В качестве одной из индикаторных групп автором использовалась байкальская литоральная эндемичная амфипода *Gmelinoides fasciatus*. Известно, что этот вид избегает местообитаний с гипоксией и воздействием подогретых вод электростанций [12]. Помимо этого, имеются данные об использовании *Gm. fasciatus* в качестве тест-объекта при оценке загрязненности донных отложений [12].

Зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон выполнено в программе ArcGIS 10.8 с использованием инструментов Spatial Analyst по результатам расчета индекса Вудивисса.

Результаты исследования и их обсуждение

В материалах исследования 2022, 2023 и 2024 гг. зообентос представлен 53 видами, из которых 58% – хирономиды, 11% – олигохеты, 5% – ручейники, 26% – прочие таксоны: *Amphipoda*, *Mollusca*, *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Coleoptera*, *Diptera*, *Hirudinea*, *Lepidoptera* и *Arachnida*. Из показательных организмов, учитываемых при определении биотического индекса Вудивисса [13, с. 90], отмечены: поденки *Caenis horaria* и *Ephemera orientalis*; ручейники *Cyrtus fennicus*, *Phryganea bipunctata* и *Leptoceridae* sp.; амфиподы *Gammarus lacustris* и *Gmelinoides fasciatus*; хирономиды *Chironomus plumosus* (*cyngulatus*?), олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Aulodrilus pigueti*. При расчете индекса Гуднайта – Уитлея [13, с. 87] в литоральной зоне юго-западной и северо-восточной частях озера встречались *Stylaria fossularis*, *Nais variabilis*, *Nais pseudobtusa* и *Nais communis*. В глубинной зоне в центре озера встречался *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Aulodrilus pigueti*.

Таксономическое обилие зообентоса в пробах изменялось от 3 до 17 видов. Максимальное число таксонов зообентоса (17) отмечалось в литоральной зоне оз. Кенон на глубине 3,5 м в зарослях *Stuckenia pectinata*. Минимальное число таксонов (три) отмечено в центральной части водоема

на глубине 6 м. Количественные показатели зообентоса ($M \pm SE$) в озере составили 5503 ± 1058 экз./м² и $11,2 \pm 1,6$ г/м². Максимальные значения достигали 32960 экз./м² и $43,6$ г/м² в литоральной зоне северо-восточной части озера. Минимальные значения составили 1000 экз./м² и $3,16$ г/м² в центральной части водоема.

Станции исследования многолетней динамики зообентоса оз. Кенон охватывают глубинную (диапазон глубин от 5,6 м до 6,2 м) часть водоема-охладителя, представляющую собой илистый биотоп с отсутствием макрофитов. В октябре 2022 г. количество таксонов этой зоны изменялось от 4 до 9. Зообентос был представлен хирономидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus*, *Tanipus punctipennis*, хаоборидами *Chaoborus flavicans* и олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri*. Количественные показатели ($M \pm SE$) на станциях в октябре составили 2663 ± 531 экз./м² и $6,3 \pm 1,2$ г/м². Максимальные значения достигали 4720 экз./м² и 11 г/м², а минимальные – 1000 экз./м² и $3,32$ г/м². В марте 2023 г. зообентос был представлен теми же видами. Количество таксонов в пробах изменялось от 6 до 9. Количественные показатели ($M \pm SE$) в марте 2023 г. увеличились в два раза и составили 5377 ± 1826 экз./м² и $11,7 \pm 1,9$ г/м². Максимальные значения достигали 12880 экз./м² и $19,1$ г/м², а минимальные – 1560 экз./м² и $5,6$ г/м².

Индекс видового разнообразия Шеннона в октябре 2022 г. в оз. Кенон составил $2,24 \pm 0,08$ бит/г, что соответствует умеренно загрязненным водам [14]. Индекс Вудивисса составил $2,91 \pm 0,24$ балла. Это свидетельствует о том, что вода в оз. Кенон загрязненная, местами грязная и экстремально грязная [11]. Локально в северной и южной частях водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 воды степени слабого загрязнения. Условно чистых вод не было. Индекс Гуднайта – Уитлея составил $9,71 \pm 3,11\%$, что по степени загрязненности соответствует условно чистым водам и первому классу качества воды [11].

Индекс видового разнообразия Шеннона по многолетним станциям исследования динамики зообентоса в октябре 2022 г. составил $2,12 \pm 0,16$ бит/г, а в марте 2023 г. – $2,19 \pm 0,07$ бит/г (таблица). Значения индексов соответствуют умеренно загрязненным водам. Индекс Вудивисса с 2022 по 2024 г. стал немного выше. В октябре 2022 г. он составил $2,0 \pm 0,38$ балла, в марте 2023 г. – $2,14 \pm 0,34$ балла, а в марте 2024 г. – $2,29 \pm 0,18$ балла. Класс качества

воды четвертый, степень ее загрязненности соответствует грязным водам. Индекс Гуднайта – Уитлея снизился. В октябре 2022 г. соотношение численности олиго-

хет к организмам зообентоса в пробе было $13,1 \pm 5,96\%$, а в марте 2023 г. – $6,19 \pm 4,44\%$. Класс качества воды первый, степень загрязненности условно чистая.

Индексы качества вод по многолетним станциям исследования зообентоса оз. Кенон

№ станции	Октябрь 2022 г.			Март 2023 г.			Март 2024 г.
	Индекс Шеннона, бит/г	Индекс Вудивисса, балл	Индекс Гуднайта – Уитлея, %	Индекс Шеннона, бит/г	Индекс Вудивисса, балл	Индекс Гуднайта – Уитлея, %	Индекс Вудивисса, балл
М 1.1 (13)*	2,69	2	2,7	2,35	2	0	2
М 2.1 (15)*	1,48	4	0	2,01	2	0	4
М 3 (21)*	2,06	2	0	2,21	2	0	4
М 4 (26)*	2,06	1	29,6	2,11	4	0	2
М 5 (25)*	2,25	2	24,6	2,43	2	30,5	2
М Центр (20)*	1,78	1	0	2,24	1	0	2
М 6.1 (11)*	2,51	2	34,7	1,96	2	12,8	2
Среднее значение	$2,12 \pm 0,16$	$2,0 \pm 0,38$	$13,1 \pm 5,96$	$2,19 \pm 0,07$	$2,14 \pm 0,34$	$6,19 \pm 4,44$	$2,29 \pm 0,18$

*Станции отбора проб в октябре 2022 г., аналогичные станциям мониторинга в марте 2023 и 2024 гг.

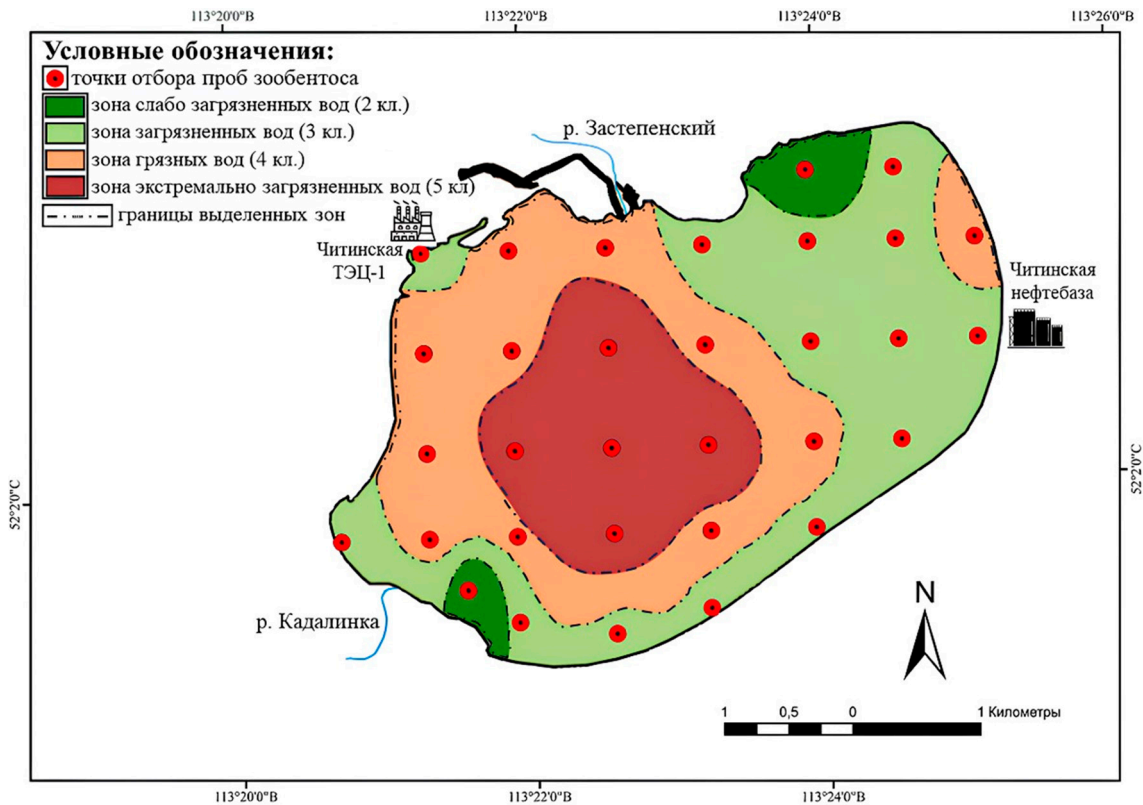


Рис. 3. Зонирование вод оз. Кенон по классам их качества, октябрь 2022 г.

Увеличение индекса Шеннона в марте 2023 г. на 0,07 бит/г, увеличение индекса Вудивисса с 2 (2022 г.) до 2,14 (2023 г.) и до 2,29 (2024 г.) балла, и снижение % индекса Гуднайта – Уитлея с 13,1 до 6,19 (таблица) свидетельствует о возможной тенденции к повышению качества воды в донной подсистеме оз. Кенон.

Преобладающим по площади классом качества вод в донной подсистеме оз. Кенон в октябре 2022 г. являлся третий класс – загрязненные воды (36,5%) (рис. 3). Остальную часть площади водоема составили воды четвертого класса качества – грязные (35,8%); воды пятого класса качества – экстремально загрязненные (22,4%); и воды второго класса качества – слабо загрязненные (5,3%).

Сравнение полученных материалов по составу зообентоса оз. Кенон 2022, 2023 и 2024 гг. с данными периода исследований 1985–1991 гг. свидетельствуют о изменениях его структуры. В 1985–1991 гг. основными представителями донных беспозвоночных были хирономиды *Chironomus* gr. и *Procladius ferrugineus*, моллюски *Sphaerium corneum* и *Pisidium inflatum*, олигохеты *Tubidex tubifex* и хаобориды *Chaoborus crystallinus* [4, с. 149]. В современных условиях зообентос представлен хирономидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* и *Tanypus punctipennis*, олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri* и хаоборидами *Chaoborus flavicans*. Моллюски *Sphaerium corneum* и *Pisidium inflatum* не обнаружены. Отсутствовали и олигохеты *Tubidex tubifex*.

В литоральной зоне водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 отмечены максимальные показатели численности (3400 экз./м²) и биомассы (18,8 г/м²) вида-вселенца из оз. Байкал – литоральной амфиподы *Gmelinoides fasciatus*, не обнаруженной в водоеме в период исследований 1985–1991 гг. *Gm. fasciatus* встречался в юго-западной, южной, юго-восточной, восточной и северо-восточной частях оз. Кенон, что сказалось на выделении зоны загрязненных вод третьего класса качества (рис. 3).

Индекс видового разнообразия Шеннона по результатам исследований 1985–1991 гг. в целом по оз. Кенон составлял 2,8 бит/г [4, с. 152]. В литоральной части озера индексы Шеннона 2,9–3,0 бит/г. В зоне влияния сбросных вод с ТЭЦ-1 индекс Шеннона составлял 2,96 бит/г, что свидетельствует о высоком видовом разнообразии зообентоса. В центральной части отмечено снижение индекса видового разнообразия до 2,5 бит/г

[4, с. 152]. Значения соответствуют умеренному загрязнению вод. В 2010–2011 гг. индекс Шеннона в районе ТЭЦ-1 составлял 3,24 бит/г [15], что соответствует чистым водам. В 2022 г. отмечено снижение индекса видового разнообразия Шеннона. По озеру он составил 2,24±0,08 бит/г. В прибрежной зоне озера максимальный индекс видового разнообразия составил 2,7 бит/г, как и в центральной части водоема. Возле Читинской ТЭЦ-1 индекс видового разнообразия Шеннона также составил 2,7 бит/г. Степень загрязнения вод оценивается как умеренно загрязненная.

Заключение

По состоянию на октябрь 2022 г. в донной подсистеме оз. Кенон выделено четыре зоны вод по классам качества. В целом современное состояние вод донной подсистемы оз. Кенон соответствует третьему классу качества (загрязненные воды). Полученные геоданные впервые дают представление о состоянии вод в донной (бентической) подсистеме оз. Кенон и могут использоваться для создания геомодели природно-технической системы водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1.

Автор статьи выражает благодарность научному сотруднику лаборатории водных экосистем ИПРЭК СО РАН, канд. биол. наук П.В. Матафонову за оказанные консультации по теме исследования.

Список литературы

1. Bychkov I.V., Gagarinova O.V., Orlova I.I., Bogdanov V.N. Water Protection Zoning as an Instrument of Preservation for Lake Baikal // Water. 2018. Vol. 10. P. 1474. DOI: 10.3390/W10101474.
2. Tian F., Fan Y., Gao J., Huang J. A novel lake-zoning framework for large lakes based on numeral modelling // Ecological Informatics. 2022. Vol. 69. P. 101595. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2022.101595.
3. Шаннаа А.А., Кулик Е.А. Современные средства пространственного моделирования территории в ГИС // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 6, № 2. С. 208–214. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-6-2-208-214.
4. Экология городского водоема / Под ред. О.М. Кожовой, М.Ц. Итигиловой. Н.: Издательство СО РАН, 1998. 260 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка программы по сохранению экосистемы озера Кенон (II этап)» // АНО «Центр исследований и разработок». 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://media.75.ru/minprir/documents/53876/o-nauchno-issledovatel-skoy-rabote.pdf> (дата обращения: 24.10.2024).
6. Потютко О.М., Буйолов Ю.А., Лазарева Г.А., Бывкова И.В., Лукиных А.И., Чамкина А.В., Корщенко А.Н. Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России по гидробиологическим показателям в 2022 г. // Росгидромет. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/> (дата обращения: 21.10.2024).

7. Matafonov P.V., Bazarova B.B. Spatial distribution of zoobenthos in the shallow saline lake Zun-Torey in the low-water phase // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9 (6). P. 120–128.
8. Шойдоков А.Б., Матафонов П.В. Геоэкологические условия донной подсистемы озера Кенон // *Геология, география и глобальная энергия*. 2023. № 4 (91). С. 103–107. DOI: 10.54398/20776322_2023_4_103.
9. Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Tsyganok V.I. Heavy Metals in Bottom Sediments of Lake Kenon (The Trans-Baikal Territory, Russia) // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019. № 103 (1). P. 286–291. DOI: 10.1007/s00128-019-02645-7.
10. Матафонов П.В., Шойдоков А.Б. Оценка токсического загрязнения водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид // *Амурский зоологический журнал*. 2020. Т. 12, № 2. С. 201–210. DOI: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-201-210.
11. РД 52.24.309 – 2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши // Росгидромет. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/495872993> (дата обращения: 27.10.2024).
12. Березина Н.А., Голубков С.М., Максимов А.А. Опыт использования нового биоиндикатора (*Gmelinoides fasciatus*) для оценки состояния донных местообитаний в Финском заливе // *Вода: химия и экология*. 2016. № 4 (94). С. 40–47.
13. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 297 с.
14. Деревенская О.Ю. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям: учебно-методическая разработка по курсу «Гидробиология» // Казань: КФУ, 2015. [Электронный источник]. URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F231377577/MethodichkaGidrobiologiya.pdf> (дата обращения: 22.10.2024).
15. Шойдоков А.Б., Матафонов П.В. Оценка качества воды в сообществах донных растений озера Кенон по показателям зообентоса // *Шаг в науку. Секция: Науки о Земле и смежные экологические науки 2020*. № 1. С. 109–113.

СТАТЬИ

УДК 622.013

DOI 10.17513/use.38339

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШЕСЫРСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ MICROMINE**Кисляков В.Е., Федотов А.С., Снетков Д.С., Шварцкопф А.В.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск,**e-mail: ar.fedotow@yandex.ru*

Цель работы – создание достоверного цифрового двойника месторождения для дальнейшего его использования в исследовании особенности строения месторождения и поиска зависимостей пространственного распределения качественных характеристик пласта. В работе приведен порядок моделирования угольных месторождений в горно-геологической информационной системе Micromine на основе данных геологоразведки Большесырского бурогоугольного месторождения. Для достижения поставленной цели произведено поэтапное моделирование, включающее в себя подготовку и импорт данных, создание базы данных, визуализацию траекторий скважин, создание поверхностей пластов и блочной модели с наполнением данными о качестве полезного ископаемого. Результат исследования показал высокую сходимость с исходными данными, что позволяет заявлять о достоверности блочной модели и дальнейшем ее использовании в исследованиях. Несмотря на то, что государственные органы при экспертизе и постановке запасов на баланс требуют предоставления графических материалов, выполненных традиционным способом, создание цифровой модели остается для исследователей полезным результатом. Наличие достоверного цифрового двойника позволит подробно и с большей точностью исследовать месторождение и увеличивать количество оцениваемых вариантов с меньшими трудозатратами в сравнении с исследованием геологической информации, представленной в классическом виде.

Ключевые слова: уголь, бурогоугольное месторождение, моделирование, стратиграфическое моделирование, Micromine, блочное моделирование

MODELING OF THE BOLSHESYRSKOYE LIGNITE DEPOSIT IN THE MINING AND GEOLOGICAL INFORMATION SYSTEM MICROMINE**Kislyakov V.E., Fedotov A.S., Snetkov D.S., Shvartskopf A.V.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: ar.fedotow@yandex.ru*

The objective of the work is to create a reliable digital twin of the deposit for its further use in the study of the structural features of the deposit and the search for dependencies of the spatial distribution of the qualitative characteristics of the seam. The work presents the procedure for modeling coal deposits in the mining and geological information system Micromine based on the geological exploration data of the Bolshesyrskoye lignite deposit. To achieve this goal, step-by-step modeling was performed, including the preparation and import of data, the creation of a database, the visualization of well trajectories, the creation of seam surfaces and a block model filled with data on the quality of the mineral. The result of the study showed high convergence with the original data, which allows us to declare the reliability of the block model and its further use in research. Despite the fact that government agencies require the provision of graphic materials made in the traditional way during the examination and putting of reserves on the balance sheet, the creation of a digital model remains a useful result for researchers. The presence of a reliable digital twin will allow for a detailed and more accurate study of the deposit and an increase in the number of options being assessed with less labor costs compared to the study of geological information presented in a classical form.

Keywords: coal, lignite deposit, modeling, Micromine, stratigraphic modeling, block modeling

Введение

Цифровизация с течением времени проникает во все отрасли жизни, где применяются различные цифровые технологии на протяжении многих лет. Горное дело не осталось в стороне, и там, как и во многих других сферах, происходит активное внедрение новых цифровых технологий. В современном мире уже невозможно представить проектирование без применения цифровых технологий и специализированных программ. Кроме того, цифровые технологии активно проникают и непосредственно в производственные процессы, где дают возможность

получать актуальную информацию о положении техники, ее состоянии и прочих характеристиках, а также вести статистику работы без постоянного участия человека.

Повышение требований к точности определения границ рудных тел, границ пластов, границ горных работ, а также снижение трудоемкости и ускорение процесса обработки и представления горно-геологической информации без потери качества привели к необходимости внедрения во все этапы горного дела различных систем автоматизированного проектирования (САПР). Для 2D-проектирования распространены

такие программы, как AutoCAD, NanoCAD. Исследователями достигнуты положительные результаты при создании 3D-моделей в AutoCAD Civil [1], но упомянутые программы полноценно не предназначены для горного дела, и функционал программ не позволяет решать все возникающие задачи. Такие программы, как Surpac [2] или Carlson Software, не нашли широкого применения в исследованиях и проектировании месторождений, хотя имеют ряд полезных функций, которых нет в аналогичных программах или есть, но они могут быть реализованы более сложным путем. На момент исследования наиболее широко применим в моделировании месторождений и решении задач с использованием полученных моделей программный комплекс Micromine [3; 4], а прямую конкуренцию ему составляют такие программы аналоги Leapfrog, Datamine, MineFrame. Учитывая активное развитие и внедрение нейронных сетей в различные сферы, достижения в этой области проникли и в построение цифровых моделей месторождений [5; 6].

В настоящее время с целью повышения точности и повышения скорости обработки информации при разведке и эксплуатации рудных месторождений широко применяют методы цифрового моделирования с использованием возможностей программного комплекса Micromine. Упомянутый комплекс наиболее часто применяют в проектировании, а постоянно пополняемый набор функций дает больше возможностей исследователям, проектировщикам и техническим специалистам на производстве. Micromine применяют на всех этапах исследований и проектирования месторождений, от статистической обработки геологических данных и создания цифровой модели месторождения (в том числе блочной модели) до планирования и построения проектных положений горных работ и отвалов требуемой конфигурации.

Программа также производит расчеты объемов, что позволяет оперативно оценивать проектные решения, а использование блочных моделей позволяет определить качество полезного ископаемого в любой оцениваемой точке или заданном контуре. Такие возможности ускоряют процесс исследований, а в некоторых случаях позволяют оперативно получать требуемую информацию без привлечения дополнительных трудовых ресурсов.

Необходимо отметить, что применение описываемого комплекса не исключает тра-

диционные методы обработки геологических данных. В настоящее время, при постановке геологических запасов на баланс, в Государственную комиссию по запасам (ГКЗ) необходимо в дополнение к предоставляемой блочной модели предоставлять графические материалы, выполненные традиционным методом, для сопоставления и проверки достоверности предоставляемой информации [7].

Тем не менее, несмотря на неполное использование программ как недропользователями, так и государственными органами, их применение в проектировании значительно облегчает труд проектировщиков и исследователей, позволяет повысить качество и точность результатов.

В настоящей работе рассмотрен способ моделирования угольных месторождений с использованием горно-геологической информационной системы (ГГИС) Micromine, используя данные разведки Большесырского бурогоугольного месторождения.

Цель работы – создание цифровой модели месторождения на основе имеющейся геологической информации, для дальнейшего его использования в исследовании особенности строения месторождения и зависимостей пространственного распределения качественных характеристик пласта.

Материалы и методы исследования

Основным методом настоящего исследования является моделирование, а также дальнейший анализ полученной модели. Модель месторождения – это «цифровой двойник» существующего объекта исследования [8; 9]. Моделирование включает в себя метод создания поверхностей с использованием триангуляционных нерегулярных сетей [10]. Также для построения сеток платов, присвоения качественных характеристик блочной модели могут быть использованы различные методы интерполяции данных (метод обратных взвешенных расстояния, кригинг [11, с. 113], кокригинг и другие методы [12; 13]).

Моделирование пластовых месторождений можно разделить на следующие этапы:

- подготовка табличных данных, включающих в себя информацию, описывающую каждую скважину;
- импорт подготовленных данных в программный комплекс и их последующее объединение в единую базу данных (БД) по скважинам;
- проверка БД и исправление ошибок;

- настройка визуализации БД (траектория скважин, штриховка интервалов) для визуального контроля дальнейших результатов;
- моделирование поверхностей почвы, кровли пласта (-ов) и сеток мощностей;
- блочное моделирование и присвоение блочной модели качественных характеристик на основании результатов опробования;
- анализ полученных результатов.

Исходными данными для моделирования служат данные геологоразведки с результатами анализов по каждой пробе и результаты маркшейдерской съемки. Основная информация, без которой невозможно начать моделирование, следующая:

- координаты устьев скважин (x, y, z);
- данные геофизических исследований по каждой скважине с указанием литотипов пород, их интервалов по глубине в формате «от» и «до», а также описание инклинометрии скважин при ее наличии;
- результаты анализов отобранных проб (определение зольности, влажности, выхода летучих веществ, теплоты сгорания);
- прочая информация, описывающая керн;
- результаты маркшейдерской съемки;
- описание тектонических нарушений (при наличии).

Указанный перечень представляет фундамент для дальнейшего процесса моделирования.

При моделировании были использованы данные по 360 разведочным скважинам, более 1500 результатов анализов угольных проб.

Последовательность создания модели

Используя подготовленные заранее табличные материалы, формируют два, а при наличии данных об инклинометрии скважин – три файла с данными. Информацию импортируют в ГИС и осуществляют ее проверку с помощью встроенных функ-

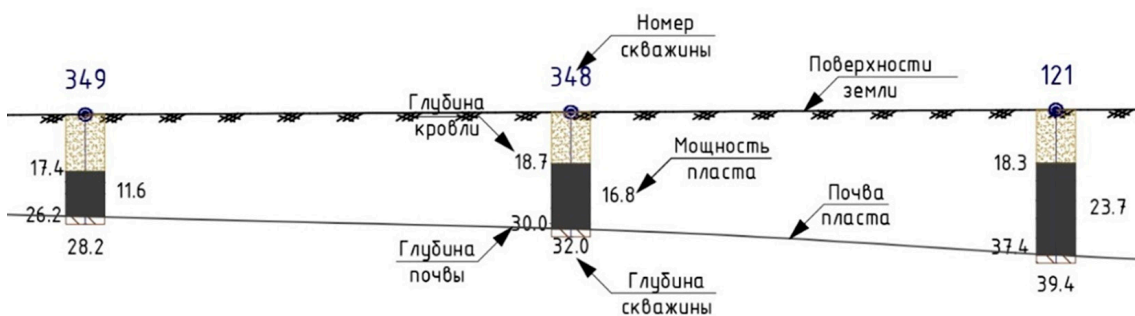
ций программы, которые позволяют найти ошибки, не позволяющие вести дальнейшую корректную работу. Наиболее распространенные ошибки: наличие пустых строк, интервалы с мощностью 0 метров, наличие дублирующих записей, разница между общей глубиной скважины и глубиной опробования. После проверки файлы объединяют в единую базу данных скважин.

Для наглядного отображения и возможности визуального анализа геологической информации настраивают визуализацию скважин. Процесс визуализации включает выбор информации, которую необходимо отобразить (устье скважины и ее траектория, название скважины, ее глубина). Для отображения литологических разностей задают штриховки и цвета интервалам вдоль траектории скважин в зависимости от типа пород.

Также возможно добавлять дополнительную информацию вдоль осей скважин для определенных литотипов или для каждого интервала (мощность, глубину, абсолютную отметку, зольность или другие характеристики). Пример визуализации представлен на рис. 1.

Визуальный анализ вынесенных скважин позволяет оценить сложность строения месторождения, а также выявить некорректно внесенные данные по скважинам и осуществить их дальнейшую оперативную корректировку.

На следующем этапе моделирования необходимо создать стратиграфическую иерархию. Процесс задания стратиграфической иерархии имеет ключевое значение и определяет последовательность пластов, а также наличие зон слияния и расщепления пластов (при их наличии). Исследуемое месторождение имеет простое строение, поэтому описание процесса стратиграфического моделирования не приведено. Описание процесса упомянуто в работе [14].



**выноски добавлены авторами самостоятельно для пояснений
Рис. 1. Пример визуализации скважин*

На основании созданной стратиграфии, используя функционал программы, создают поверхности пластов и пустых пород, используя ранее загруженные данные по скважинам. Полученные поверхности используют для дальнейшего моделирования, а также для самостоятельного представления в виде изолиний почвы (кровли), мощности пластов. Поверхности пласта программа создает, не учитывая его границы в плане, поэтому заранее следует подготовить замкнутый контур выхода пласта под наносы для дальнейших корректных построений.

Следующий этап моделирования – блочное моделирование. Суть блочного моделирования заключается в создании множества параллелепипедов заданного размера, которые располагаются в пространстве, ограниченном дневной поверхностью и созданными поверхностями пластов, и повторяют форму залежи. Центры созданных 3D-блоков заданных размеров имеют уникальные ко-

ординаты x , y , z , а также принадлежность к тому или иному типу породы. Такую модель называют пустой блочной моделью, так как в ней отсутствуют характеристики полезного ископаемого и, используя ее, можно получить только объем пласта [15]. На рис. 2 представлен фрагмент блочной модели Большесырского месторождения.

Опытным путем определено, что размеры блоков в плане и по высоте стоит определять для каждого моделируемого месторождения. Высота не должна быть слишком большой, иначе участки пласта, имеющие мощность меньше высоты блока, не будут заполнены, что в дальнейшем приведет к некорректной оценке объема. А слишком большие размеры блоков в плане не отразят особенности гипсометрии пласта. Установка минимальных значений для всех трех параметров увеличит количество блоков и затруднит дальнейшую работу, а точности значительно не прибавится.

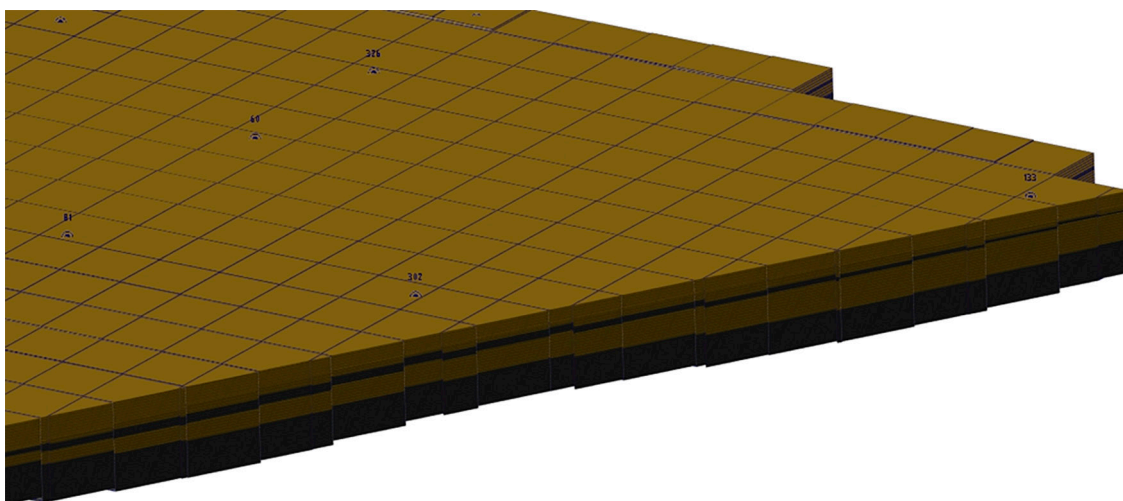


Рис. 2. Блочная модель

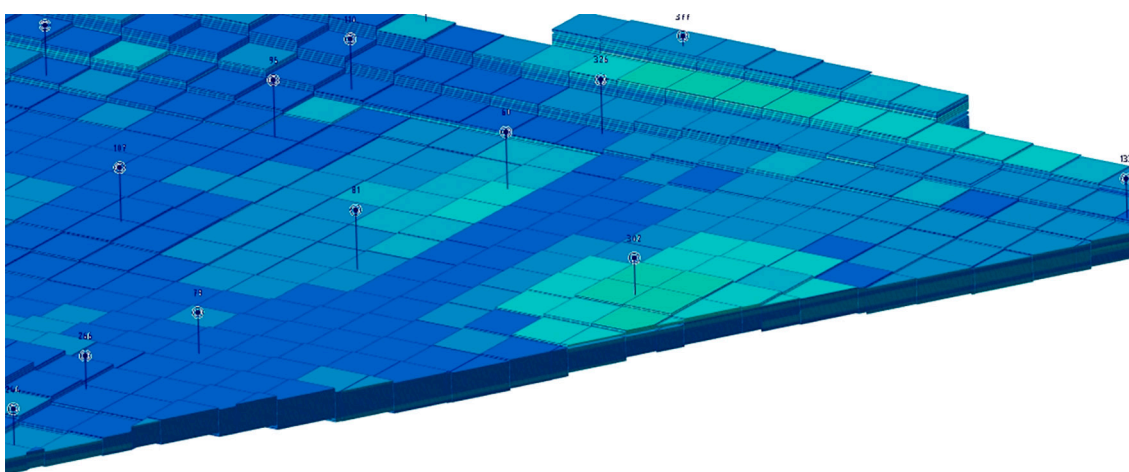


Рис. 3. Блочная модель пласта «Верхнесырский»

В дальнейшем, используя имеющиеся данные опробования по скважинам, созданным блокам присваивают качественные характеристики полезного ископаемого, которые ранее внесены в созданную базу данных. Программа позволяет использовать различные методы интерполяции, перечень которых приведен выше по тексту. В настоящем исследовании использован метод обратных взвешенных расстояний. Для анализа полученной модели пласта, используя инструменты фильтрации и визуализации, настраивают отображение блочной модели с учетом качественных характеристик (отключают отображение пустых пород и задают диапазоны штриховки по значениям зольности). Фрагмент блочной модели пласта с присвоенными качественными характеристиками (зольность) представлен на рис. 3. Цветами выделены интервалы с различными значениями зольности.

Созданная блочная модель позволяет всесторонне исследовать строение месторождения и проводить статистический анализ распределения качественных характеристик полезного ископаемого. Кроме того, функционал программы позволяет оценить объем, тоннаж, площадь полезного ископаемого, его качество в определенном контуре или на определенном горизонте.

Оценка результата моделирования

Используя полученную блочную модель, определен объем полезного ископаемого и произведено сопоставление с утвержденным количеством по месторождению, в результате сопоставления расхождение результатов составило 1%, что является допустимой погрешностью и не окажет существенного влияния на результаты дальнейших исследований. Таким образом, можно сделать вывод о высокой достоверности модели, а следовательно, правомерности дальнейшего использования модели для исследований.

Выводы

1. В процессе моделирования была создана база данных по скважинам, которая содержит информацию по каждой выработке и может быть пополнена с течением времени; получены поверхности почвы, кровли, мощности пластов; на основании поверхностей создана блочная модель месторождения и ей присвоены качественные характеристики (зольность).

2. Модель может быть использована в различных направлениях, если наличие

имеющейся геологической информации не позволяет оперативно получить те или иные сведения. Например, геологический разрез между разведочными линиями, геологический разрез по произвольной линии, план изолиний зольности на определенном горизонте или в границах определенной заходки. Результаты приведенного моделирования позволяют оперативно решать эти вопросы и подобные задачи в кратчайшее время с высокой точностью, что не только снижает трудоемкость, но и позволяет рассматривать большее количество вариантов развития при исследованиях, а 3D-визуализация обеспечивает наиболее наглядное представление сложных участков месторождений.

3. Применение программного комплекса Micromine и описанной методики позволяет получить достоверную цифровую модель месторождения и всесторонне ее анализировать. Учитывая, что использование цифровых технологий снижает трудоемкость исследований, возникает возможность рассматривать большее количество различных вариантов исследуемого объекта, что, в свою очередь, повышает достоверность получаемых результатов.

4. Предложенный порядок моделирования может быть использован в обучении при ознакомлении студентов и технических специалистов с программным комплексом. Основным преимуществом является простота моделирования, что, в свою очередь, позволит освоить основной функционал программы для дальнейшего применения при моделировании более сложных месторождений.

5. Необходимо отметить, что авторы считают, что нет оснований безусловного доверия блочной модели и результаты решения какой-либо задачи с ее использованием требуют критической оценки, а в случаях, когда возникают сомнения в достоверности предоставляемой информации, необходимо обращаться к первичной геологической документации для сопоставления и в случае необходимости вносить корректировки.

Список литературы

1. Чижов М.Н., Лаптева М.И., Масляк В.Я., Сюняев Ш.И. 3D-моделирование, проектирование открытых горных работ в среде САПР AutoCAD Civil 3D с использованием геопространственных данных полученных по технологии ДЗЗ с применением беспилотных летательных аппаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S1–1. С. 339–355.

2. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья // Проблемы недропользования. 2016. № 4 (11). С. 170–176. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.170.

3. Наставко Е.В., Наставко А.В., Кайзер Ф.Ю., Соловьевский А.Н. О цифровой модели угольного месторождения в Кузбассе в ГИС Micromine // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023. № 1 (127). С. 1–4. DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.23.
4. Маниковский П.М., Васютин Л.А., Сидорова Г.П. Методика моделирования рудных месторождений в ГИС // *Вестник ЗабГУ*. 2021. № 2. С. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14.
5. Мельниченко И.А., Кожухов А.А., Омельченко Д.Р., Мосейкин В.В. Построение трехмерной модели месторождения с использованием принципов блочного моделирования и искусственных нейронных сетей // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 10. С. 5–19. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-0-5.
6. Sahoo S., Jha M.K. Pattern recognition in lithology classification: modeling using neural networks, self-organizing maps and genetic algorithms // *Hydrogeology Journal*. 2017. Vol. 25, Is. 2. P. 311–330. DOI: 10.1007/s10040-016-1478-8.
7. Агафонов И.А., Малофеев Д.В. Опыт защиты блочных моделей по угольным месторождениям в ГКЗ // *Уголь*. 2022. № 3 (1152). С. 90–94. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-90-94.
8. Захаров В.Н., Кубрин С.С. Цифровая трансформация и интеллектуализация горнотехнических систем // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 5–2. С. 31–46. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_31.
9. Keyan Xiao, Cheng Li, Mingjing Fan, Li Sun, Rui Tang, Nan Li, Xianglong Song, Quantitative prediction methods and applications of digital ore deposit models // *Ore Geology Reviews*. 2024. Vol. 168. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2024.106049.
10. Jia Q., Li W., Che D. A Triangulated Irregular Network Constrained Ordinary Kriging Method for Three-Dimensional Modeling of Faulted Geological Surfaces // *In IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 85179–85189. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2993050.
11. Демьянов В.В., Савельева Е.А. *Геостатистика: теория и практика* / под ред. Р.В. Арутюняна; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М.: Наука, 2010. 327 с.
12. Che D., Jia Q. Three-Dimensional Geological Modeling of Coal Seams Using Weighted Kriging Method and Multi-Source Data // *In IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 118037–118045. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936811.
13. Qingren Jia, Defu Che, Wenwen Li. Effective coal seam surface modeling with an improved anisotropy-based, multiscale interpolation method // *Computers & Geosciences*. 2019. Vol. 124. P. 72–84. DOI: 10.1016/j.cageo.2018.12.008.
14. Сидорова Г.П., Маниковский П.М. Прогнозирование качества угля с применением блочной модели пласта (на примере Кутинского бурогоугольного месторождения) // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 12. С. 55–66. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_55.
15. Лихман А.А. Геологическая блочная модель как главный актив горнодобывающего предприятия // *Недропользование XXI век*. 2020. № 4 (87). С. 170–175.

УДК 621.396.96:551.34:622.02(001.57)
DOI 10.17513/use.38340

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ РЫХЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Федорова Л.Л., Фёдоров М.П., Свинобоев А.С.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: mpfedoroff@gmail.com*

Целью работы являлось совершенствование методики георадиолокационного мониторинга свойств и состояния массива горных пород. Исследование особенностей распространения электромагнитных волн выполнено на примере георадиолокационных измерений физической модели массива рыхлых горных пород, включающего зоны пород различной влажности. Массив горных пород физической модели представлен песком из карьера Хатынг-Юрях г. Якутска. По результатам исследований установлено, что в период с февраля по апрель в диапазоне отрицательных температур воздуха скорость в мерзлой породе различной влажности (5–30%) характеризуется высокими значениями. С апреля по июнь, когда температура воздуха поднимается от 0°C до положительных значений, происходят интенсивное оттаивание мерзлых пород различной влажности и резкое снижение значений скоростей. В мае полностью оттаивает порода влажностью 5%, которая находится в талом состоянии до конца сентября. Порода влажностью 15% полностью оттаивает в июне и в талом состоянии сохраняется до октября. Породы влажностью 22% и 30% плавно оттаивают с июня по август и остаются в талом состоянии до октября. Установлено, что скорость в этих талых породах характеризуется низкими значениями. По установленным значениям скоростей в породах различной влажности в зимний период можно оценить примерную влажность, а также период полной оттайки. Полученная информация позволяет скорректировать план разносезонного георадиолокационного мониторинга динамики криогенного состояния рыхлых горных пород Центральной Якутии.

Ключевые слова: талые и мерзлые рыхлые горные породы, влажность рыхлых горных пород, физическое моделирование, георадиолокация, мониторинг

Исследования, представленные в Разделе «Материал и методы исследования» выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRS-2021-0020, ЕГИСУ НИОКТР № 122011800086-1). Результаты, представленные в Разделе «Результаты исследования и их обсуждение», получены в рамках Программы комплексных научных исследований в РС(Я), направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2021-2024 гг. (проект № 4, этап 2, № АААА-Б-17-217060520052-0).

PHYSICAL MODELING OF GPR MONITORING OF CRYOGENIC PROCESSES IN A LOOSE ROCK MASSIF

Fedorova L.L., Fedorov M.P., Svinoboev A.S.

*Mining Institute of the North Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Yakutsk,
e-mail: mpfedoroff@gmail.com*

The aim of the work was to improve the technique of GPR monitoring of the properties and condition of the rock massif. The study of the features of electromagnetic wave propagation is carried out using the example of GPR measurements of a physical model of a loose rock massif, including zones of rocks of various moisture. The rock massif of the physical model is represented by sand from the Khatyng-Yuryakh quarry in Yakutsk. According to the results of the research, it was found that in the period from February to April, in the range of negative air temperatures, the velocity in the frozen rock of various moisture of 5–30% is characterized by high values. From April to June, when the air temperature rises from zero to positive values, there is an intensive thawing of frozen rocks of various moisture and a sharp decrease in velocity values. In May, the rock thaws completely with a moisture of 5%, which is in a thawed state until the end of September. The rock with a moisture of 15% thaws completely in June, and remains in a thawed state until October. Rocks with a moisture of 22% and 30% thaw gradually from June to August, and remain in a thawed state until October. It has been established that the velocity in these meltwater rocks is characterized by low values. The information obtained allows us to adjust the plan for multi-season GPR monitoring of the dynamics of the cryogenic state of loose rocks in Central Yakutia.

Keywords: thawed and frozen loose rocks, moisture content of loose rocks, physical modeling, ground penetrating radar (GPR), monitoring

The studies presented in the Section «Material and Research Methods» were carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. FWRS-2021-0020, of the unified state information system for recording research, development and technological work for civil purposes No. 122011800086-1). The results presented in the Section «Research Results and Discussion» were obtained within the framework of the Program of Comprehensive Scientific Research in the Republic of Sakha (Yakutia) Aimed at the Development of Productive Forces and the Social Sphere for 2021-2024 (project No. 4, stage 2, No. АААА-Б-17-217060520052-0).

Введение

На территории Северо-Востока России в толще многолетнемерзлых горных пород нередко встречаются локальные участки талых пород. Эти участки затрудняют проведение открытых горных работ, требующих планирования и применения специализированных технологий для соблюдения требований безопасности труда. Известно, что талые, или немерзлые, горные породы – это те породы, у которых средняя годовая температура выше 0°C [1, с. 55]. Их пространственное положение может быть различным по отношению к мерзлым толщам. Возможно, что талые породы могут залегать с поверхности до кровли многолетнемерзлых пород. Также они могут быть ограничены мерзлыми толщами со всех сторон или находиться ниже мерзлой толщи. При этом существование талых пород непрерывно более одного года приводит к формированию различных типов таликов. Н.Н. Романовский предложил классификационную схему таликов, которая включает основные типы и подтипы таликов, а также дал описание их возможного распространения на исследуемой территории [2, с. 58].

В настоящее время для определения расположения и размеров талых зон в массиве мерзлых горных пород используется в основном электротомография [3–5]. Также применяются малоглубинная сейсмика и бесконтактное измерение электрического поля [6, 7]. Данные методы характеризуются значительными затратами времени и усилий при проведении исследований. Их применение зимой сопряжено с методическими сложностями. Оперативное исследование массива горных пород в широком диапазоне температур окружающего воздуха обеспечивает метод георадиолокации [8]. Методика исследования позволяет получать данные георадиолокации путем профилирования или зондирования в сложных условиях местности. Для контроля за изменением криогенного состояния и свойств массива горных пород требуется проводить периодические измерения.

Целью данных исследований является совершенствование методики георадиолокационного мониторинга свойств и состояния массива горных пород.

Материал и методы исследования

По материалам литературных источников [9, 10], в Центральной Якутии в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород выявлены локальные участки

талых пород различной мощности. Глубина сезонного оттаивания в зависимости от типов ландшафтов изменяется от 0,5 до 3,5–4 м, а температура многолетнемерзлых пород – от $-0,2^{\circ}\text{C}$ до -2°C . Геологический разрез Центральной Якутии представлен аллювиальными песчаными отложениями, залегающими на карбонатных породах [11, 12].

На основе геологической информации представлена схема физической модели массива горных пород с включением пород различной влажности (рис. 1а). Массив горных пород физической модели представлен песком из карьера Хатынг-Юрех г. Якутска. На специальном стенде с размерами 6 м * 1 м * 1,4 м была собрана модель с мощностью 1,4 м (рис. 1б). В массиве на глубине 0,5 м расположены три гидроизолированных локальных объекта мощностью 0,4 м на равном расстоянии 0,5 м друг от друга. Объекты представлены песком с расчетной влажностью 15%, 22% и 30% и перекрыты песком с влажностью 5% и мощностью 0,5 м. При расчете геометрических размеров физической модели учитывались характеристики высокочастотных антенн георадара. Пробы грунтов локальных объектов, определенные по ГОСТ 32768-2014, показали приблизительные значения, соответствующие расчетным значениям влажности. Также были установлены обсадные скважины, расположенные между стенкой короба и локальными объектами. Модель была покрыта пакетом для снижения влияния атмосферных осадков.

Исследование распространения электромагнитных волн в физической модели выполнено с помощью метода георадиолокации. Данный метод позволяет изучить характеристики волновых полей, связанных с геометрическими параметрами и электрофизическими свойствами объектов [13]. С февраля по ноябрь выполнены исследования модели антенным блоком АБ1200 георадара «ОКО-2». Измерения температуры массива пород проведены многозонным цифровым датчиком температур МЦДТ 0922. На каждой скважине опускалась термокаса с датчиками, расположенными до глубины 1,4 м с шагом 0,2 м. Данные измерений температуры в трех скважин оказались приблизительно одинаковыми. В таблице 1 приведены результаты измерений температуры в скважине 2 по месяцам на разных глубинах массива пород. С ноября по апрель породы находятся в мерзлом состоянии. В мае наблюдается их оттаивание. С июня до октября породы находятся в талом состоянии.

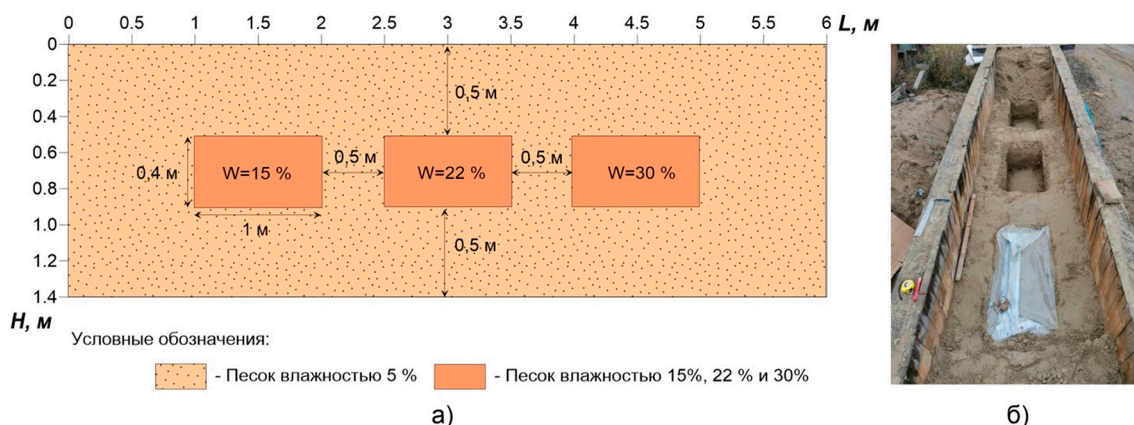


Рис. 1. Схема физической модели массива горных пород с включением пород различной влажности (а) со сборкой на специальном стенде (б)

Таблица 1

Температура в массиве горной породы на разных глубинах

H, м	Температура, °С									
	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.
0	-29,8	-19,2	0,6	4,8	29,1	30,1	21,2	11,8	1,8	-18,2
0,2	-28,3	-20,2	-3,6	2,6	20	22	18,5	7,3	0,3	-15,5
0,4	-26,2	-18,8	-4,3	0,5	15,6	19,2	17,3	7	0,03	-11,7
0,6	-23,7	-17,2	-4,6	-0,06	12,7	17,5	16,9	7,3	0,05	-8,2
0,8	-21,2	-15,8	-4,8	-0,2	9,9	15,7	15,9	7,2	0,1	-5,3
1	-18,4	-14,2	-4,9	-0,4	6,4	13,2	14,4	6,8	0,2	-2,3
1,2	-15,5	-12,6	-5,1	-0,8	2,7	10,2	12,4	6,2	0,24	-0,3

Результаты исследования и их обсуждение

Данные георадиолокации, полученные при исследовании физической модели, были обработаны в программе «GeoScan32». В процессе обработки были применены следующие процедуры: корректировка протяженности радарограмм по меткам; амплитудная коррекция волновой картины; полосовая фильтрация для подавления шумов с целью отображения отраженных волн; сглаживание сигналов от скачкообразных изменений. Каждая радарограмма была подвергнута индивидуальной обработке с применением вышеуказанных процедур. На рисунке 2 приведены результаты обработки радарограмм.

Радарограммы, полученные в феврале, демонстрирует волновую картину песка с включением песка влажностью 15% (рис. 2а), 22% (рис. 2г), 30% (рис. 2ж). Эти пески находятся в мерзлом состоянии. На радарограммах наблюдаются первая контрастная ось синфазности отраженных волн от кровли песка и вторая слабоконтрастная ось синфазности от подошвы песка. На рисун-

ках 2б, 2д, 2з представлены радарограммы, полученные в ходе начального процесса оттайки песка, на которых можно увидеть первую контрастную ось синфазности отраженных волн от кровли песка и вторую прерывающуюся ось синфазности от подошвы песка. На радарограммах (рис. 2в, 2е, 2и), полученных в результате полной оттайки песка, прослеживаются первая субгоризонтальная контрастная ось синфазности от верхней границы песка и вторая слабоконтрастная со смещениями ось синфазности от нижней границы песка.

По временным характеристикам волн, отраженных от верхней и нижней границы песка различной влажности, была получена информация о значительной вариации времени прихода отраженных волн. На основе этой информации о разности времени с учетом мощности песка были определены скорость распространения электромагнитных волн и диэлектрическая проницаемость. Полученные результаты расчета представлены в таблице 2. На рисунке 3 приведен график скорости распространения волн в песках различной влажности.

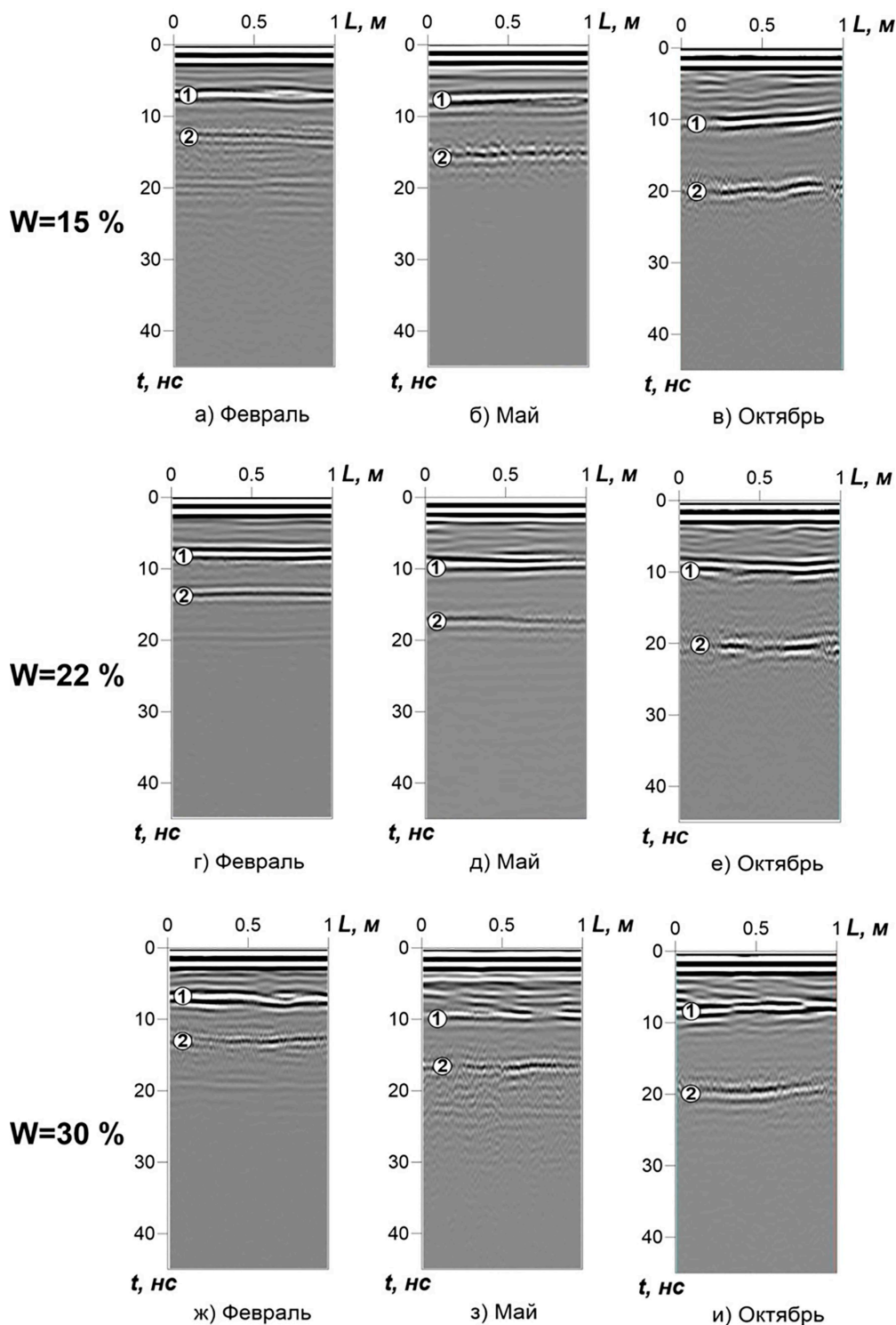


Рис. 2. Фрагменты радарограмм массива песка с включением песка влажностью 15% (а-в), 22% (г-е) и 30% (ж-и)

По данным таблицы 2 следует, что скорость в песке влажностью 5% в талом и мерзлом состоянии составляет 0,11 м/нс и 0,173 м/нс соответственно. В талом песке влажностью 15% скорость составляет 0,074 м/нс, а в мерзлом – 0,137 м/нс.

Скорость в талом и мерзлом песке влажностью 22% – 0,063 м/нс и 0,141 м/нс соответственно. Показатели скорости в песке влажностью 30% в талом и мерзлом состоянии – 0,062 м/нс и 0,125 м/нс соответственно.

Таблица 2

Результаты георадиолокационных измерений песка различной влажности

	W=5%		W=15%		W=22%		W=30%	
	V_{cp} , м/нс	ϵ_{cp}	V_{cp} , м/нс	ϵ_{cp}	V_{cp} , м/нс	ϵ_{cp}	V_{cp} , м/нс	ϵ_{cp}
Февраль	0,173	3	0,137	4,8	0,139	4,7	0,125	5,8
Март	0,172	3,1	0,139	4,7	0,139	4,6	0,121	6,1
Апрель	0,160	3,5	0,139	4,7	0,136	4,8	0,117	6,5
Май	0,115	6,8	0,099	9,1	0,104	8,4	0,110	7,4
Июнь	0,113	7,1	0,074	16,3	0,073	17	0,072	17,4
Июль	0,111	7,3	0,074	16,4	0,069	19,1	0,072	17,4
Август	0,110	7,5	0,075	16	0,064	21,7	0,063	23
Сентябрь	0,112	7,2	0,074	16,3	0,063	23	0,062	23,2
Октябрь	0,122	6,1	0,075	16,2	0,064	21,9	0,063	23,1
Ноябрь	0,173	3	0,134	5	0,141	4,5	0,12	6,2

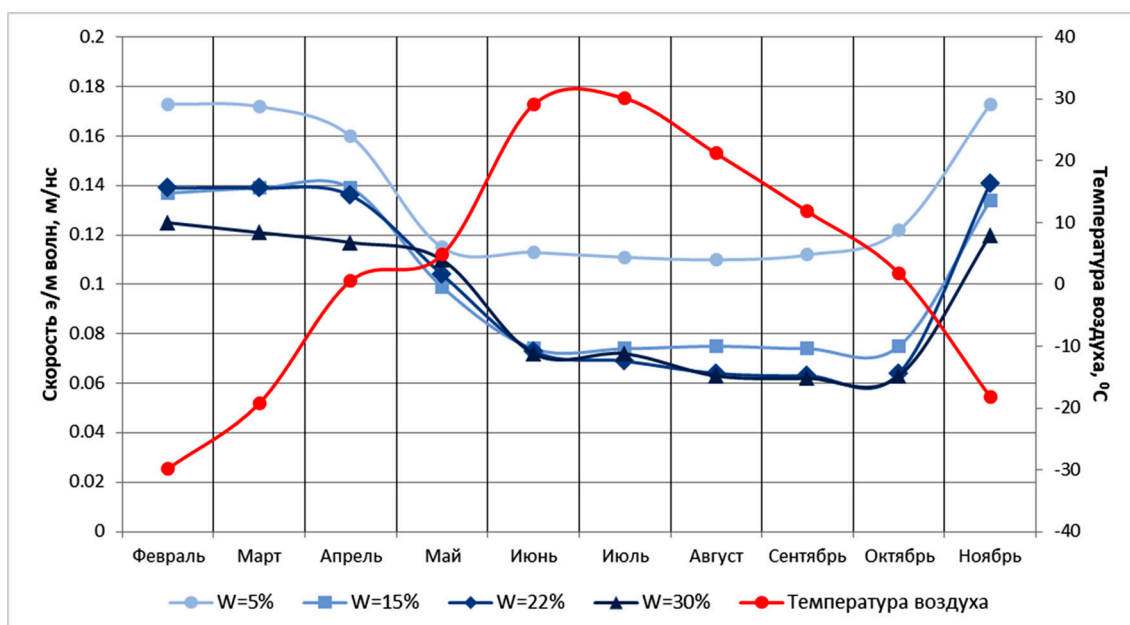


Рис. 3. Скорость распространения волн в песках различной влажности

Таблица 3

Скорость распространения волн в песках различной влажности в разные сезоны года

	W=5%	W=15%	W=22%	W=30%
Вср в мерзлом песке	0,168 м/нс с ноября по апрель	0,138 м/нс с ноября по апрель	0,138 м/нс с ноября по апрель	0,121 м/нс с ноября по апрель
Вср в период оттайки песка	0,16–0,113 м/нс с апреля по май	0,139–0,074 м/нс с апреля по июнь	0,136–0,063 м/нс с апреля по август	0,117–0,063 м/нс с апреля по август
Вср в талом песке	0,112 м/нс с мая по сентябрь	0,074 м/нс с июня по октябрь	0,064 м/нс с августа по октябрь	0,063 м/нс с августа по октябрь

Низкие скорости наблюдаются в талых песках различной влажности, а высокие скорости – в мерзлых песках, что согласуется с ранее установленными закономерностями [14]. Отмечается, что при повышении влажности до 5–30% в талом песке скорость уменьшается в 1,77 раза, а в мерзлом – в 1,4 раза.

Из графика на рисунке 3 следует, что скорости в мерзлом песке влажностью 5%, 15%, 22% и 30% в период с февраля по апрель в диапазоне температур от –30°C до 0°C характеризуются постоянными значениями, но отличаются друг от друга. В то же время значения скоростей в песках влажностью 15% и 22% почти совпадают. С апреля по июнь повышение температуры воздуха с 0°C до 25°C приводит к интенсивному оттаиванию мерзлых песков различной влажности. В этот период происходит резкое снижение значений скоростей в песках. Исключением является песок влажностью 5%, у которого процесс оттаивания завершается в мае. Данный песок в талом состоянии находится до конца сентября, при этом скорость характеризуется постоянной величиной. Песок влажностью 15% полностью оттаивает в июне и в талом состоянии сохраняется до октября. Скорость в талом песке влажностью 15% характеризуется постоянной величиной. Пески влажностью 22% и 30% плавно оттаивают с июня по август и остаются в талом состоянии до октября. Скорости в этих талых песках почти одинаковые. В октябре с переходом на отрицательные температуры воздуха начинается процесс замерзания песков различной влажности. Результаты анализа вариации скоростей в разные сезоны года по данным георадиолокации приведены в таблице 3.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований рыхлых горных пород различной влажности, проведенных с февраля по ноябрь, позволили определить временные интервалы, в течение которых породы находились в мерзлом, талом состоянии и в период оттаивания. Также установлено варьирование скорости распространения волн в породах различной влажности. Мерзлые породы влажностью 5–30% характеризуются высокими значениями скоростей – от 0,121 до 0,168 м/нс. В период оттайки этих пород наблюдается резкое снижение скоростей – с 0,16 м/нс до 0,063 м/нс. Скорости в талых породах характеризуются низкими значениями – 0,063–0,112 м/нс.

На практике по экспериментально установленным значениям скоростей в породах различной влажности в пределах глубины сезонно-талого слоя можно оценить влажность и криогенное состояние рыхлых горных пород по полевым данным георадиолокации в зависимости от месяца проведения измерений. Полученная информация позволяет скорректировать план разносезонного георадиолокационного мониторинга динамики криогенного состояния рыхлых горных пород Центральной Якутии.

Список литературы

1. Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 178 с.
2. Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны. М.: МГУ, 1983. 232 с.
3. Козак С. З. Выделение таликов при разведке на воду с применением геофизических методов // Разведка и охрана недр. 2014. № 5. С. 55-57.
4. Бажин К.И., Лебедева Л.С. Изучение надмерзлотных вод Центральной Якутии с использованием метода электротомографии // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (г. Новосибирск, 18–22 июня 2018 г.). Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. С. 63-67.
5. Гринченко В.А., Аксеновская А.А., Валеев Р.Р., Савельев Е.А. Динамика и режим межмерзлотных подземных вод радиационно-тепловых таликов при разработке Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения // Недрапользование XXI век. 2019. № 1 (77). С. 84-89.
6. Копылов Д.В., Садуртдинов М.Р. Изучение талика под малым водотоком методом бесконтактной электроразведки // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 6. С. 45-54. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-6(45-54).
7. Судакова М.С., Брушков А.В., Великин С.А., Владов М.Л., Зыков Ю.Д., Неклюдов В.В., Оленченко В.В., Пушкарев П.Ю., Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2022. № 6. С. 141-151.
8. Христофоров И.И., Данилов К.П., Лебедева Л.С., Горохов И.В. Изучение надмерзлотных таликов Центральной Якутии (Виллойская низменность) методом георадиолокации // Сборник тезисов научно-практической конференции ГЕОРАДАР-2021. Пенза: ИД «Академия Естествознания», 2022. С. 14-17.
9. Константинов П.Я., Федоров А.Н., Угаров И.С., Аргунов Р.Н., Суздалов Д.А., Йижима Й. Результаты исследований межгодовой изменчивости глубины сезонного протавивания около Якутска // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 4. С. 23-32.
10. Семерня А.А., Гагарин Л.А., Бажин К.И. Мерзлотно-гидрогеологические особенности участка распространения межмерзлотного водоносного комплекса в районе источника Ерюю (Центральная Якутия) // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 2. С. 29-38. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(29-38).
11. Аверкина Т.И., Андреева Т.В., Балыкова С.Д. Состав, строение и свойства многолетнемерзлых песков территории Восточной Сибири // Арктика и Антарктика. 2018. № 3. С. 84-94. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27019.
12. Смелов А.П., Сурнин А.А. Золото города Якутска // Наука из первых рук. 2010. № 4 (34). С. 16-19.
13. Судакова М.С., Владов М.Л. Современные направления георадиолокации // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2018. № 2. С. 3-12.
14. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Соколов К.О. Георадиолокационная оценка влажности горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 8. С. 153-158. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-152-158.

СТАТЬЯ

УДК 550.34.06(571.56)
DOI 10.17513/use.38341

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
НА ШЕЛЬФАХ МОРЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ
ПО ДАННЫМ СЕЙМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ИХ КЛАССИФИКАЦИИ**

¹Оболкин А.П., ²Оболкин А.А., ¹Слепцова М.И., ¹Севостьянова Р.Ф.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук,
Якутск, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²ПАО «Сургутнефтегаз», Сургут

Целью исследования является выявление в сейсмическом волновом поле методами сеймостратиграфического анализа характерных, типичных сейсмофаций, указывающих на происхождение антиклиналей в локальных структурно-тектонических зонах шельфов морей северо-востока Якутии для последующего изучения перспективных объектов и их классификации. По результатам сеймостратиграфического анализа структур шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, выявлены основные сейсмокомплексы, характеризующие антиклинальные структуры шельфов структурно-тектонического и магматического типов. Выделены пять типов антиклиналей. Первый тип – на примере Андриановского поднятия показано, что в нижнем структурном этаже присутствуют структуры горизонтально-сдвигового, рампового типа. Второй тип – на севере Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны показаны структуры ее внешней части в виде куполовидных линз выдавливания. Третий тип – центральная часть надвиговой зоны сложена рядом антиклиналей с эродированной поверхностью. Присутствуют склоновые образования. Четвертый тип структур связан с аллохтонами отдельных надвиговых пластин. Пятый тип – на западе Чукотско-Новосибирской надвиговой зоны выявлены антиклинали, образованные подошвенным вдвигом, внедрившимся на начальной стадии ее формирования. Арктический плюм проявляется на шельфе моря Лаптевых в краевых частях тектоно-магматической зоны хребта Гаккеля в виде краевых подошвенных вдвигов, образующих положительные структуры в осадочном чехле. В основании Менвильского прогиба присутствуют магматиты пластового типа. На основе выделения типовых сейсмофаций в каждой структурной зоне возможна их классификация и оценка перспектив их нефтегазоносности.

Ключевые слова: шельфы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, Андриановское поднятие, сейсмофации, типы антиклинальных структур, Новосибирско-Чукотская надвиговая зона, хребет Гаккеля

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 122011100158-2.

**FEATURES OF THE FORMATION OF ANTICLINAL STRUCTURES
ON THE SHELVES OF THE SEA OF NORTH-EASTERN YAKUTIA
ACCORDING TO SEISMOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS
AND PROPOSALS FOR THEIR CLASSIFICATION**

¹Obolkin A.P., ²Obolkin A.A., ¹Sleptsova M.I., ¹Sevostyanova R.F.

¹Federal Research Centre – The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²PJSC “Surgutneftegas”, Surgut

The purpose of the study is to identify characteristic, typical seismic facies in the seismic wave field using seismostratigraphic analysis methods, indicating the origin of anticlines in local structural-tectonic zones of the sea shelves of north-east Yakutia, for the subsequent study of promising objects and their classification. Based on the results of seismostratigraphic analysis of the shelf structures of the Laptev, East Siberian and Chukchi seas, the main seismic complexes were identified that characterize the anticlinal structures of the shelves of structural-tectonic and magmatic types. First type. Using the example of the Andrianovsky uplift, it is shown that in the lower structural floor there are structures of the horizontal-shear, ramp type. Second type. In the north of the Novosibirsk-Chukchi thrust zone, the structures of its outer part are shown in the form of dome-shaped extrusion lenses. Third type. The central part of the thrust zone is composed of a series of anticlines with an eroded surface. There are slope formations. The fourth type of structure is associated with allochthons of individual thrust sheets. Fifth type. In the west of the Chukotka-Novosibirsk thrust zone, anticlines have been identified formed by a footwall thrust that intruded at the initial stage of its formation. The Arctic plume appears on the shelf of the Laptev Sea in the marginal parts of the tectono-magmatic zone of the Gakkell Ridge in the form of marginal bottom thrusts forming positive structures in the sedimentary cover. At the base

of the Menville trough there are sheet-type magmatites. Based on the identification of typical seismic facies in each structural zone, it is possible to classify them and assess the prospects for their oil and gas potential.

Keywords: shelf of the Laptev, East Siberian and Chukchi seas, seismic facies, Andrianovo uplift, Novosibirsk-Chukchi thrust zone, Gakkel Ridge

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011100158-2.

Введение

В северо-восточной части Республики Саха (Якутия) на шельфах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морскими сейсморазведочными работами различных организаций выявлен ряд антиклинальных структур. Перспективные объекты оцениваются как потенциально нефтегазные с достаточно высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

Структурно-тектонические особенности региона, открытые и изученные предыдущими исследователями Северного Ледовитого океана (СЛО), заложили основу для его последующего изучения геологического строения [1, с. 27]. К таковым относятся исследования и выводы Ю.Е. Погребицкого, Л.П. Зоненшайна, В.Е. Хаина, А.Б. Кузьмичева, С.Д. Соколова, В.А. Верниковского, В.А. Виноградова и многих других, получивших подтверждение последующими работами [2; 3; 4, с. 6]. Дальнейшее изучение основных структурных элементов региона, выявленных по данным сейсморазведки, на данном этапе геологического изучения территории, на взгляд авторов, может базироваться на методах сейсмостратиграфии с опорой на малоглубинные стратиграфические скважины ПАО «НК «Роснефти» [5]. Изучение сейсмофаций и их геологическая интерпретация на всех стадиях изучения геологического разреза дает возможность получить данные о присутствии в разрезе литофациальных, магматических, метаморфических комплексов, распространении, этапов тектонического развития, истории формирования.

Целью исследования является выявление в сейсмическом волновом поле методами сейсмостратиграфического анализа характерных, типичных сейсмофаций, указывающих на происхождение антиклиналей в локальных структурно-тектонических зонах шельфов морей северо-востока Якутии, для последующего изучения перспективных объектов и их классификации.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются шельфы морей северо-востока Якутии: Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского.

Материалом исследования послужили результаты сейсмических работ, проведенных в разные годы в пределах шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского.

Методология исследования основана на обобщении и анализе имеющихся данных сейсморазведочных исследований на основе сейсмостратиграфии как актуального метода интерпретации временных и глубинных разрезов. Сейсмостратиграфия, как основной метод изучения сейсмических данных изучаемого региона, широко используется авторами статей о геологии шельфа, например О.Г. Эпштейном, А.М. Никишиным, В.Г. Заварзиной [6–8]. Авторы статьи в качестве примера для выявленных характерных типовых сейсмофаций основных структур шельфов северных морей использовали материалы ранее опубликованной статьи и отчета СВКНИИ ДВО РАН (рис. 1) [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемая территория характеризуется сложным строением, складывающимся из платформенного, межплатформенного (Гиперборея, Сибирь), прибрежно-морского, коллизионного (Южно-Ануйская сутура, Новосибирско-Чукотская надвиговая зона), океанического и тектоно-магматического (Северный Ледовитый океан, хребет Гаккеля, Арктический плюм) этапов развития [1, с. 496]. На каждом из названных этапов формировался свой тип структур, имеющих характерные особенности проявления в сейсмическом волновом поле. Из ряда структур, образованных в различных структурно-тектонических, магматических, литофациальных условиях, подобраны объекты, в которых, в сейсмическом волновом поле, наиболее отчетливо проявляется тот или иной структурообразующий фактор – структурно-тектонический, магматический и их комбинации. К типовым сейсмофациальным комплексам территории отнесены отражения в сейсмическом волновом поле (СВП) образований фундамента, осадочного чехла, проявлений магматизма и этапов тектонического развития.

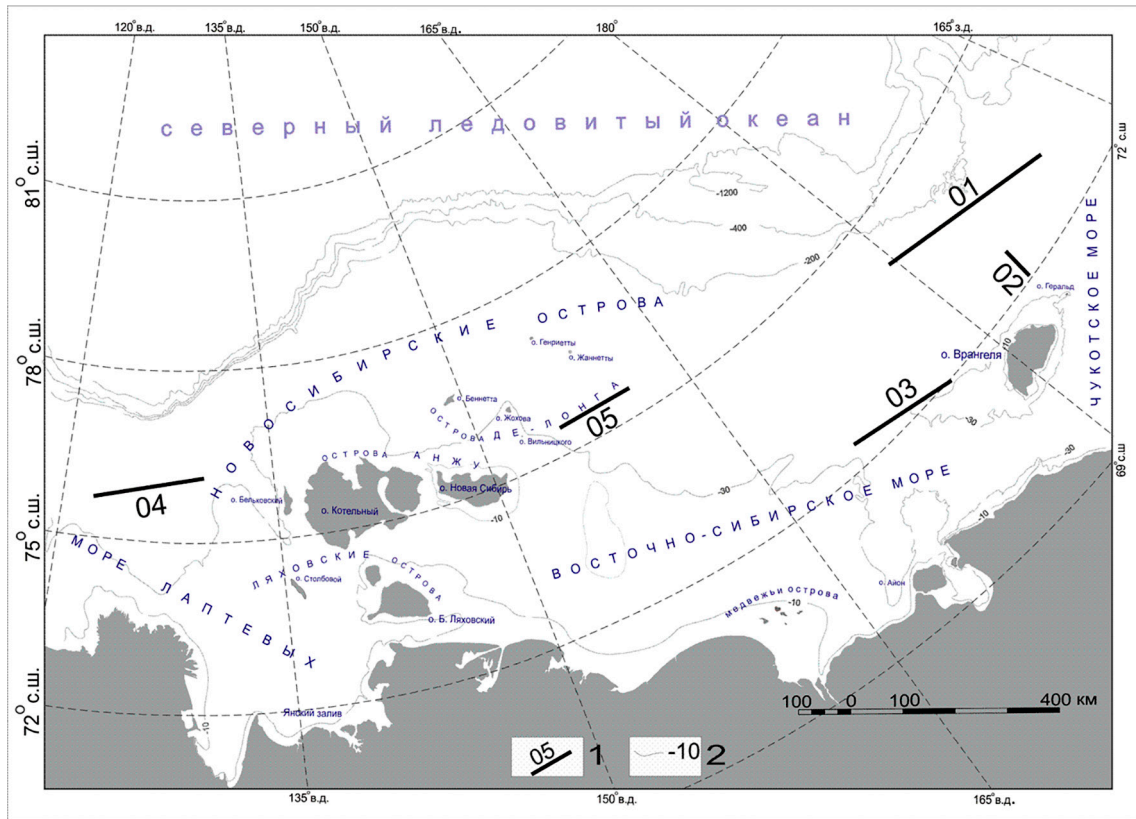


Рис. 1. Обзорная схема сейсмических профилей. Условные обозначения: 1 – глубинные и временные разрезы, использованные в статье; 2 – батиметрия

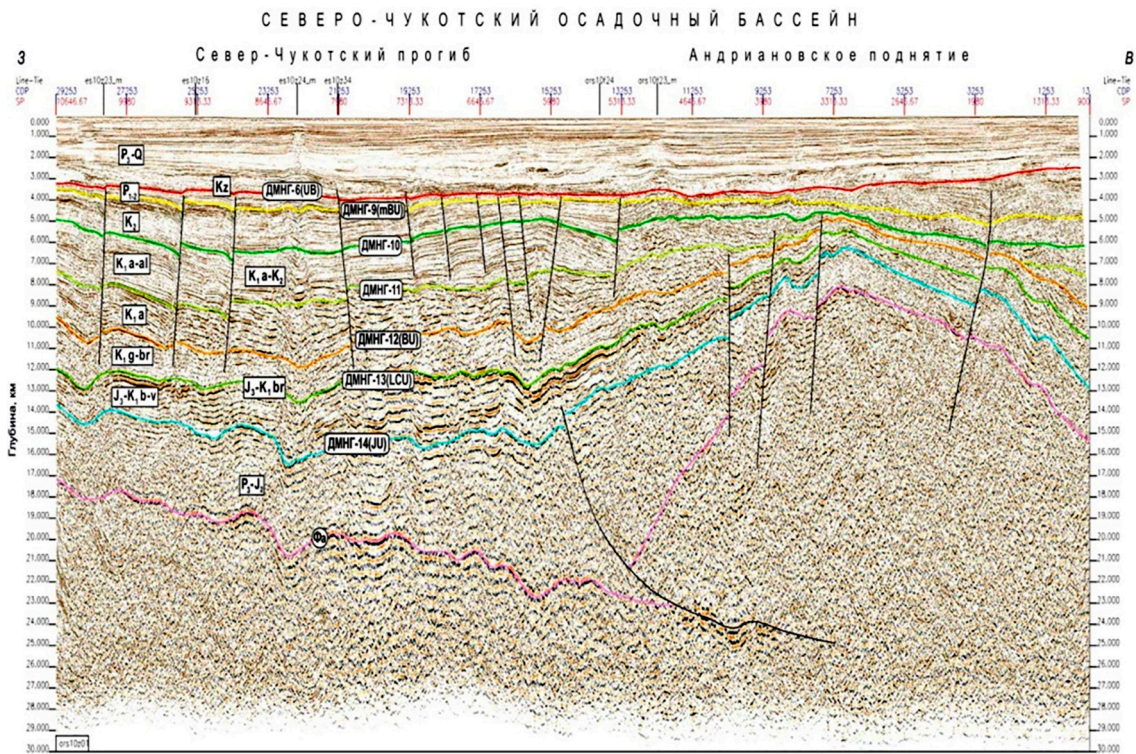


Рис. 2. Глубинный сейсмогеологический разрез по профилю 01 через западную часть Андреановского поднятия [8]

Результаты изучения сейсмофациальных особенностей ряда структур шельфа, особенности стратификации разреза, представлены в публикациях и докладах авторов настоящей статьи [10–12]. Авторы не ставят целью полное обобщение всех сейсмических данных рассматриваемого региона ввиду их большого объема и затрат на их приобретение.

Всего выявлено пять типов антиклинальных структур.

Первый тип – структурно-тектонический. К северо-востоку от острова Врангеля, на краевой части шельфа сейсморазведочными работами выявлено Андриановское поднятие (рис. 2) [2]. Поднятие полностью скрыто под верхним структурным этажом. Его изучение методами сейсмостратиграфии показало, что оно относится к надвиговым антиклиналям рампового типа [11]. Ее формирование обусловлено горизонтально-сдвиговыми, субширотными, межплитными дислокациями. Внутренняя структура поднятия отражается в сейсмическом волновом поле (СВП) до сейсмической границы «Фа» (СГФа), являющегося акустическим фундаментом моря Лаптевых, Восточно-Сибирского моря (ВСМ) (рис. 2) [2]. Структура конседментационного типа, присутствуют склоновые сейсмофации [11]. Индексация сейсмофаций, интерпретация волновой картины приведена по варианту авторов [9].

Второй тип антиклиналей отнесен к коллизионным антиклиналям тыловой части надвига. К югу от Андриановского поднятия выявлена сложно-построенная, деформированная зона, соответствующая, на взгляд авторов, структуре коллизионного типа в виде куполовидных зон выдавливания, тыловой части Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны (НЧНЗ) (рис. 3). Внутренняя часть структуры прослеживается до СГФа на глубине около 5 км, перекрыта верхним структурным этажом [4]. В отличие от Андриановского поднятия ее формирование проходило в относительно короткий этап, перед размывом и осушением территории в начале палеогена. Аналогичные структуры присутствуют в северной части НЧНЗ. Как показано в исследовании Роснефти, примыкающие склоновые структуры Мамонтовой ступени гряды Врангеля – Геральда, в пределах которой находится рассматриваемый разрез, являются аналогами элсмирского комплекса Аляски, являющегося одним из основных поисковых объектов Восточной Арктики [5].

Третий тип структур отнесен к денудированным антиклиналям центральной части Чукотско-Новосибирской надвиговой зоны. К югу и западу от острова Врангеля сейсморазведкой выявлен ряд структур нетипичного для осадочных пород типа. В сейсмическом волновом поле эти структуры в виде поднятий сложены породами с деформированной внутренней структурой, разбитой многочисленными тектоническими нарушениями. Эта толща соответствует акустическому фундаменту. Присутствуют склоновые сейсмофации. СГФа прослеживается вверх по поверхности размыва до донных отложений и дна моря (Шелагское, Барановское и другие поднятия) [2]. Кровля поднятий полностью размывта и находится в мелководной части шельфа. К югу, по всей шельфовой зоне, поднятия сменяются многокилометровой толщей, занимающей весь осадочный чехол, с пенепленизированной кровельной частью. Вся толща слагает Новосибирско-Чукотскую надвиговую зону (НЧНЗ) по всей мелководной части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского [4, 7, 10].

Четвертый тип структур связан с аллохтонами отдельных надвиговых пластин. В пределах надвиговой зоны геофизическими методами выявлены протяженные рифтовые и горстовые зоны долготного простирания [2]. Часть этих зон локализует и разделяет краевые поднятия, рассмотренные выше. Во внешней части НЧНЗ, где в ее толще в ряде сегментов присутствуют сейсмофации надвигов, видно, что дислокации являются ответвлениями от детачмента, по которым шли горизонтальные перемещения крупных покровных пластин в ходе формирования надвиговой зоны, приведших к образованию протяженных, узких рифтов. Аллохтоны пластин во внешней части НЧНЗ образуют антиклинальные структуры, где могут сформироваться ловушки углеводородов.

К пятому типу отнесены структуры подоживенного вдвига, разделяющиеся по времени образования и составу пород вдвиговых частей на два подтипа. На западной периклинали Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны, в центральной части моря Лаптевых, в полосе ее стыка с тектоно-магматической зоной хребта Гаккеля (ТМЗХГ), изучены антиклинальные структуры двух типов. Первый подтип (рис. 4, Б) примыкает с запада к Лазоревской дислокации (детачменту), контролирующей НЧНЗ (рис. 4, А). Второй подтип примыкает к тектоно-магматической зоне хребта Гаккеля (ТМЗХГ) с востока. Оба

подтипа структур образованы подошвенным вдвигом по СГФа. Различаются временем образования и внутренней структурой. Как видно на прилагаемом глубинном сейсмогеологическом разрезе, антиклиналь первого подтипа имеет ядро с одинаковой внутренней структурой с НЧНЗ. Антиклиналь второго подтипа (вал Минина) сформировалась позже первого, сложена ядром с контрастной внутренней структурой, вероятно, магматического состава (рис. 4).

Проявления магматических пород Арктического плюма океанического и континентального типов, кроме тектоно-магматической зоны хребта Гаккеля, установлены на островах СЛО и примыкающей суши [1, 3]. В северо-восточной части моря Лаптевых на островах установлено проявление

плюма в крупной тектоно-магматической купольной структуре Де Лонга. Состав базальтов характерен для континентальных извержений. Присутствие в разрезе осадочного чехла вулканитов хорошо идентифицируется высококонтрастными сейсмическими рефлекторами. На ряде профилей северной части купола выявлены сейсмофации вулканитов, в виде склоновых образований [4, 13]. К югу от островов Де Лонга в северной части Менвильского прогиба [11] на временном разрезе можно увидеть, что надвиговая зона залегает на мощной высококонтрастной толще. Она сложена магматическими породами однородного состава, не характерными для поверхностных и подводных излияний, соответствует интрузивным телам.

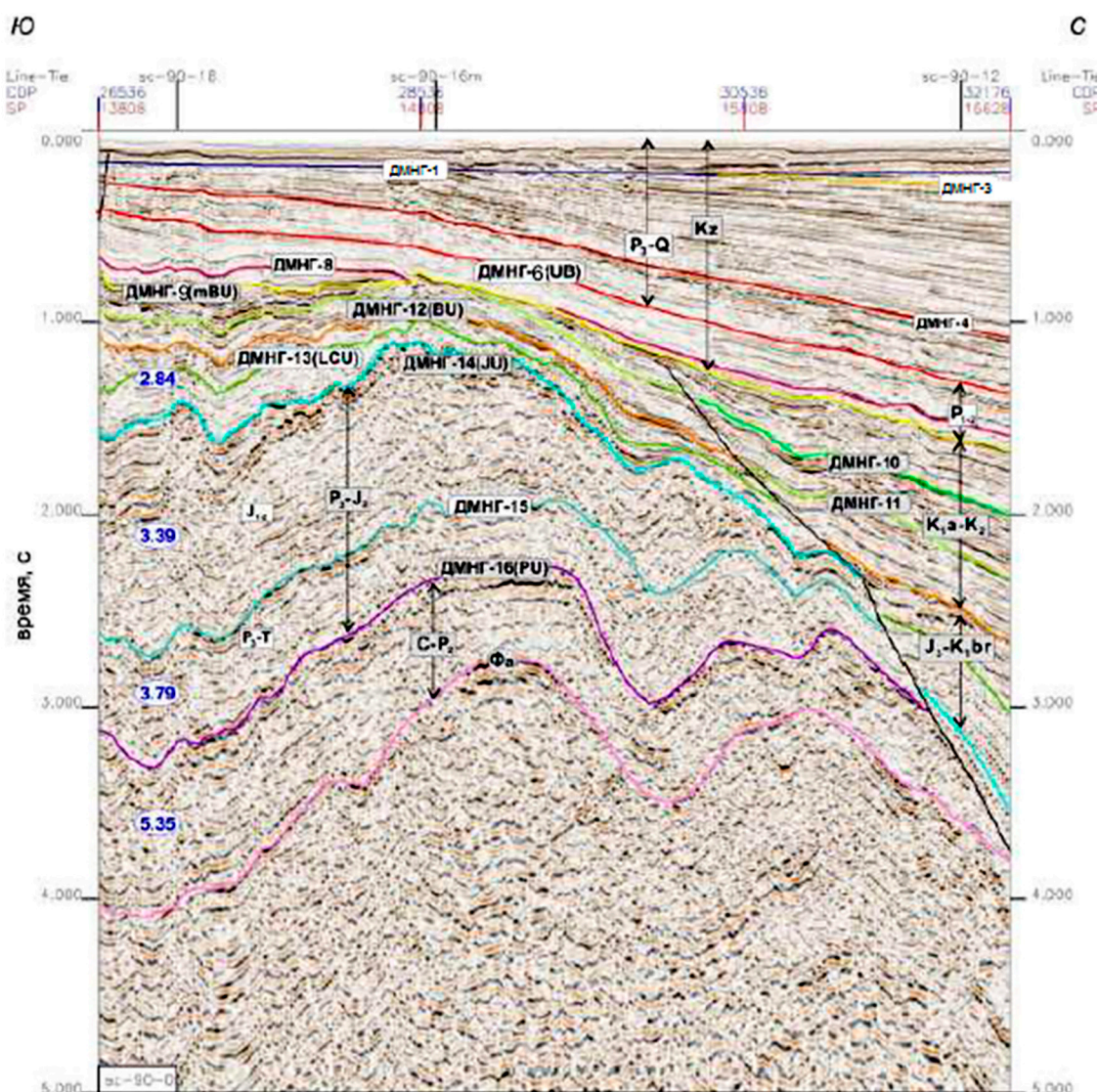


Рис. 3. Северо-Чукотский осадочный бассейн [9]

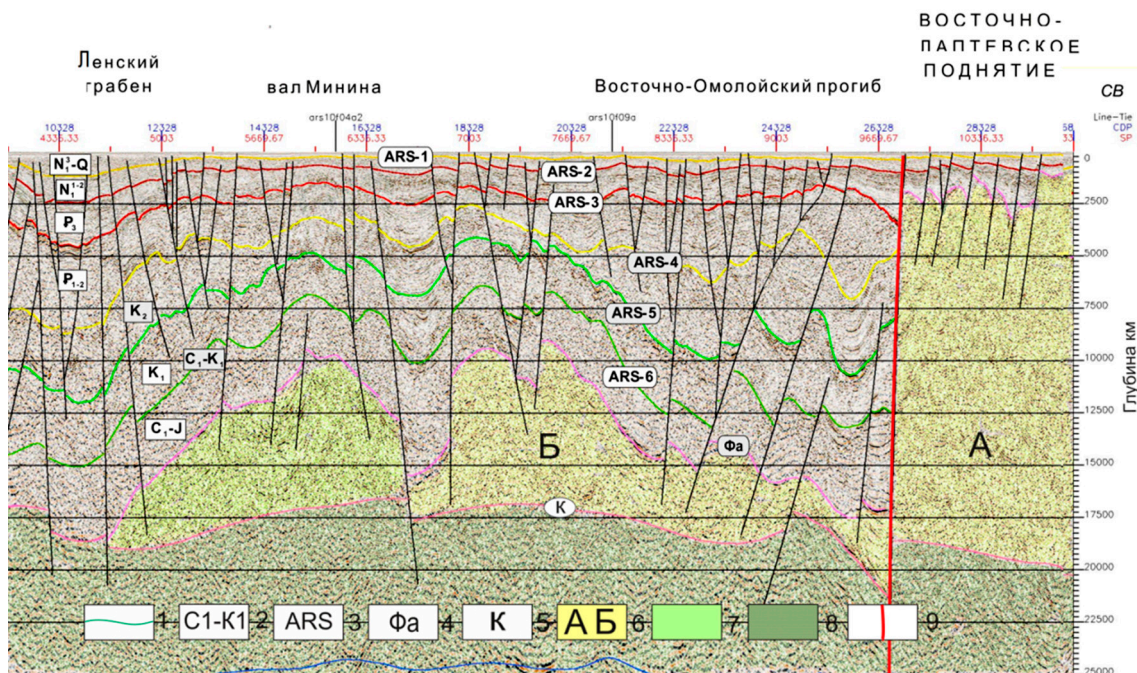


Рис. 4. Фрагмент глубинного сейсмогеологического разреза в центральной части моря Лаптевых по профилю 04 с дополнениями: 1 – отражающие горизонты; 2 – индексы отражающих горизонтов (несогласия ARS-5 и ARS-4 разделяют осадочный чехол на карбон-нижнемеловой (?), верхнемеловой и кайнозойский комплексы. Сейсмический горизонт ARS-6 приурочен к кровле карбон-юрского (?) подкомплекса ARS-3 приурочен к кровле палеоцен-эоценового, ARS-2 – олигоценного, ARS-1 – ниже-среднемиоценового подкомплекса); 3 – геологические индексы; 4 – акустический фундамент; 5 – отражающий горизонт K (1–5 по [9]); 6 – А) Новосибирско-Чукотская надвиговая зона, Б) локальная антиклинальная структура Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны; 7 – локальная антиклиналь; 8 – фундамент; 9 – Лазоревский глубинный разлом

В истории формирования магматического плюма Де Лонга выделяются два этапа – среднемиоценовый и верхнемиоценовый – плейстоценовый. Наблюдаемая интрузия в основании осадочного чехла Мальвийского прогиба соответствует, вероятнее всего, первому этапу.

Помимо рассмотренных антиклиналей, в верхнем и нижнем структурных этапах разреза известны проявления сейсмофаций, отражающих существование структур, с которыми связываются ловушки углеводородов неантиклинального типа, среди которых могут быть ловушки литологического и (или) тектонического ограничения на бортах впадин, прогибов. Примером объектов такого типа могут быть склоновые литофации размыва выше рассмотренных структур (рис. 2–4). Часть из них имеют тектонические ограничения вверх по склону.

В осадочном чехле части моря Лаптевых присутствуют перспективные структуры со сложным внутренним строением, сформированные в ходе внедрения Арктического плюма в нижний и верхний струк-

турные этажи, в том числе в основании Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны.

Заключение

Набор выявленных сейсмофаций характеризует отражение в сейсмическом волновом поле структурно-тектонических, магматических особенностей этапов формирования локальных структур в шельфовой части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Изучение материалов продолжается. Предлагаемые типы антиклиналей будут пополнены. Открывается возможность классификации изученных структур по времени образования с привязкой к этапам структурно-тектонического развития региона, опирающихся на стратиграфические скважины Роснефти, что представляется немаловажным для последующего районирования локальных объектов с точки зрения их перспективности на выявление в них залежей углеводородов.

Готовятся дальнейшие публикации по теме с учетом наработок, отраженных в статьях и анализе материалов прошлых лет,

где будут показаны представления авторов о перспективах нефтегазоносности бассейнов и локальных объектов рассматриваемой территории.

Авторы выражают искреннюю признательность авторам статей, отчета СВКНИИ ДВО РАН, материалы которых использованы в работе.

Список литературы

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республика Саха (Якутия). М.: Наука, 2001. 571 с.
2. Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А., Супруненко О.И. Осадочный чехол Восточно-Арктического шельфа России и условия его формирования в системе материк – океан // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане: сборник трудов ВНИИОкеангеология (Санкт-Петербург, 21 ноября 2008 г.). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 63–78.
3. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л. Геодинамическая эволюция Северного Ледовитого океана и современные проблемы в геологических исследованиях Арктики // Вестник РАН. 2015. Т. 85, № 5–6. С. 412–419.
4. Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно-Анхойской сuture (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.
5. Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Никишин А.М. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. 2024. № 3. С. 19–30.
6. Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В. Важнейшие особенности строения, литологического состава и мощности покрова четвертичных отложений в восточной части Баренцева моря // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 3. С. 331–334. DOI: 10.31857/S0869-56524853331-334.
7. Никишин А.М., Петров Е.И., Старцева К.Ф., Родина Е.А., Посаментьер Х., Фулджер Дж., Глубов И.Ф., Морозов А.Ф., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Фрейман С.И., Афанасенков А.П., Безьязиков А.В., Доронина М.С., Никишин В.А., Сколотнев С.Г., Черных А.А. Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российских шельфов. М.: ГИН РАН, 2022. 157 с.
8. Заварзина В.Г., Шапабаева Д.С., Захарова О.А. Новые данные о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности восточной части шельфа Восточно-Сибирского моря // Геология и геофизика. 2023. Т. 64, № 7. С. 1018–1032.
9. Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf (дата обращения: 01.09.2024).
10. Оболкин А.П., Ситников В.С., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. Изучение Андриановского поднятия на шельфе Северо-Востока методами сейсмостратиграфического и структурного анализов // Геология и нефтегазовый потенциал Республики Саха (Якутия): проблемы разведки и освоения: сборник тезисов Всероссийской научной конференции (Якутск, 11 августа 2022 г.). Киров: Изд-во МЦИТО, 2022. С. 72–74.
11. Оболкин А.П., Ситников В.С., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. Изучение возможного проявления в сейсмическом волновом поле Южно-Анхойской сuture в основании Тастахского прогиба северо-востока Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2022. № 1 (49). С. 57–62.
12. Оболкин А.П., Слепцова М.И. Особенности сейсмогеологических характеристик Анабаро-Оленекской структурной зоны, шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 54–62. DOI: 10.17513/use.38103.
13. Моисеев А.В., Лучицкая М.В., Соколов С.Д. Вулканы и гранитоиды мыса Святой Нос (Восточная Арктика) // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 2. С. 11–15. DOI: 10.31857/S2686739720060122.