

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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

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

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 30.09.2022

Дата выхода номера – 14.10.2022

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

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

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 13,5

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/9-2022

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03))

СТАТЬИ

- ПОЛЕВОЕ ЭТАЛОНИРОВАНИЕ КОСМОСНИМКОВ
АГРОЛАНДШАФТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ
МЕСОПОТАМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ
Аль-Чаабави М.Р.А., Иванцова Е.А. 7
- ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЕВ (ПРИЗНАКОВ)
ПО ВЫДЕЛЕНИЮ И СОХРАНЕНИЮ МАЛОНАРУШЕННЫХ
ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ
Дружинин Ф.Н., Хорошун Н.А., Аверина В.В. 14

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

СТАТЬИ

- МОНИТОРИНГ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛИГОНОВ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО) С УЧЕТОМ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ
Аишхмина Т.В., Жидова М.В. 21
- МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЛЕОЛАНДШАФТОВ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ
УНИКАЛЬНЫХ ЗАБАЙКАЛЬСКИХ ДИНОЗАВРОВ
Биксалиев А.А., Василенко Е.А., Новиков А.Н. 28
- ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЗЕРА КАРА-КЕЛЬ
КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденов У.Б. 33
- ХАРАКТЕРИСТИКА МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА
ЭСТУАРИЯ РЕКИ ИНДИГА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ
Котова Е.И., Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Чульцова А.Л. 39
- ОЦЕНКА ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ
ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ)
Ушакова В.Л., Сидоркина З.И. 45

Геолого-минералогические науки (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

СТАТЬИ

- ПРИЧИНЫ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ
СОЛЕННЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ
Борзенко С.В. 51
- ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ДОННЫХ ОСАДКАХ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА
Чечко В.А., Топчая В.Ю. 61

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)
СТАТЬИ

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПОЛИФРАКЦИОННОГО ПЛОТНОГО СЛОЯ РУДНОГО СЫРЬЯ <i>Бобков В.И., Орехов В.А.</i>	67
ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕСЕЧЕННОЙ И ОГРАНИЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ <i>Куляндин Г.А.</i>	73
АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОХОДКИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕТРУБОПРОВОДА В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ <i>Ланге И.Ю., Лебедева Я.А., Котюков П.В.</i>	79
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТИОНИТА СФ-5 В ПРАКТИКЕ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ОТ ИОНОВ ЦИНКА И КАДМИЯ <i>Пимнева Л.А., Загорская А.А.</i>	87

Физико-математические науки (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)
СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ И УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ИЗ WGS84 В КЛАРК1880 В СИРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЛАМБЕРТА <i>Абаас Гафаар</i>	92
ЗАДАЧИ ПЛАНА АДАПТАЦИИ АПК К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА: ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ <i>Ашабоков Б.А., Ашабокова М.Б., Темирханова Х.М.</i>	99

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03)

ARTICLES

FIELD ETCHING OF SATELLITE IMAGES OF AGRICULTURAL
LANDSCAPES ON THE TERRITORY OF THE SOUTHERN PART
OF THE MESOPOTAMIAN LOWLAND

Al-Chaabavi M.R.A., Ivantsova E.A. 7

SUBSTANTIATION OF THE BASIC COMPLEX CRITERIA (SIGNS)
FOR THE ALLOCATION AND PRESERVATION
OF INTACT FORESTS IN THE VOLOGDA REGION

Druzhinin F.N., Khoroshun N.A., Averina V.V. 14

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

ARTICLES

MONITORING OF FIRE HAZARDS IN LANDFILLS
OF SOLID MUNICIPAL WASTE (MSW) CONSIDERING
GEO-ENVIRONMENTAL AND MEDICAL-ENVIRONMENTAL ASPECTS

Ashikhmina T.V., Zhidova M.V. 21

MODELING OF PALEOLANDSCAPES OF THE LOCALITY
OF UNIQUE TRANSBAIKALIAN DINOSAURS

Biksaleev A.A., Vasilenko E.A., Novikov A.N. 28

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF LAKE KARA-KEL
OF THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC

Dega N.S., Onischenko V.V., Uzdenov U.B. 33

CHARACTERISTICS OF THE MARGINAL FILTER
IN THE INDIGA ESTUARY (BARENTS SEA)

Kotova E.I., Miskevich I.V., Moseev D.S., Chultsova A.L. 39

ASSESMENT OF INTRAREGIONAL DIFFERENTIATION
OF THE DEMOGRAPHIC SITUATION (AS EXEMPLIFIED
BY MUNICIPALITIES OF THE PRIMORSKY KRAI)

Ushakova V.L., Sidorkina Z.I. 45

Geological and mineralogical sciences (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

ARTICLES

THE REASONS FOR THE HYDROGEOCHEMICAL DIVERSITY
OF THE SALT LAKES OF EASTERN TRANSBAIKAL

Borzenko S.V. 51

SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS
IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE KALININGRAD BAY

Chechko V.A., Topchaya V.Yu. 61

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)
ARTICLES
**AERODYNAMICS STUDY OF POLYFRACTION DENSE LAYER
OF ORE RAW MATERIAL**

Bobkov V.I., Orekhov V.A.67

**STUDYING THE STRUCTURE OF ROCK MASSIFS IN ALLOWER DEPOSITS
IN CONDITIONS OF ROUGH AND LIMITED TERRAIN BY GPR**

Kulyandin G.A.73

**ANALYSIS OF THE SAFETY OF DRIVING THE MAIN PIPELINE
IN DIFFICULT ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS
ON THE TERRITORY OF THE KRASNODAR REGION**

Lange I.Yu., Lebedeva Ya.A., Kotyukov P.V.79

**THE USE OF CATIONEXCHANGERSF-5 IN THE PRACTICE
OF INDUSTRIAL WASTEWATER PURIFICATION
FROM ZINC AND CADMIUM IONS**

Pimneva L.A., Zagorskaya A.A.87

Physical and mathematical sciences (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)
ARTICLES
**FEATURES OF CALCULATING TRANSFORMATION PARAMETERS
AND REGRESSION EQUATION FROM WGS84 TO CLARKE 1880
IN THE SYRIAN LAMBERT COORDINATE SYSTEM**

Abaas Gafaar92

**CHALLENGES OF THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION
PLAN FOR THE AGRICULTURE SECTOR:
INFORMATION SUPPORT AND SOLUTION METHODS**

Ashabokov B.A., Ashabokova M.B., Temirhanova Kh.M.99

СТАТЬИ

УДК 631.111.3:624.131.4.7:528.77:528.72

**ПОЛЕВОЕ ЭТАЛОНИРОВАНИЕ КОСМОСНИМКОВ
АГРОЛАНДШАФТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ
МЕСОПОТАМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

Аль-Чаабави М.Р.А., Иванцова Е.А.

*ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», Волгоград,
e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru*

Необходимость исследований агроландшафтов как объектов исследований на территории юга Ирака, которые являются основными источниками сельскохозяйственной продукции, обусловлена нарастающими процессами вывода земель сельскохозяйственного назначения из использования по причине потери их плодородия в результате деградации. Полевые исследования были проведены в 2020–2021 гг. на территории тестового полигона «Амара». Цель исследований – разработка фотоэталонов участков поверхности и определение основных характеристик агроландшафтов, включая тип почвы, степень ее деградации, определение вида и пространственного распределения деградации, состава фитоценозов для верификации космоснимков. Предмет исследований – вид и степень деградации сельскохозяйственных угодий. Дешифрирование космоснимков с космических аппаратов Sentinel 2, Landsat 8, а также сверхвысокого разрешения со спутников WorldView-3,4 являлось основой для геоинформационного картографирования и выявления состояния сельскохозяйственных ландшафтов и их оценки. С использованием данных полевых исследований совместно с результатом геоинформационного анализа рельефа территории полевого участка построен опытный профиль и для каждой его точки проведено пространственное позиционирование при помощи GPS-системы, фотоэталонирование территории, отбор образцов почв и ботаническое описание растительности. Установлено, что на исследуемой территории присутствуют плодородные аллювиальные почвы, которые в основном подвержены различной степени засоления. Главными результатами исследований является верификация данных спутниковой съемки сверхвысокого разрешения на основе данных эталонирования территории тестового полигона для оценки состояния агроландшафтов и возможности агролесомелиорации сельскохозяйственных земель. В результате проведенных исследований с использованием геоинформационных технологий по космоснимкам установлено, что наибольшую часть тестового участка «Амара» занимают угодья с очень сильным и сильным засолением. Такие площади выводятся из использования и в настоящее время зарастают рудеральной растительностью. Угодья со средним уровнем засоления занимают поля сельскохозяйственных культур, где проводится выращивание сельскохозяйственных культур. Для предотвращения дефляции необходимы лесомелиоративные мероприятия с использованием трехрядных лесных полос из двух рядов кустарника тамариска (*Tamarix aphylla* L.) с включением среднего ряда ряда пальмы (*Phoenix dactylifera* L.) по берегам оросительных каналов.

Ключевые слова: агроландшафт, пашня, деградация, засоление, эталонирование, космоснимки, Республика Ирак

**FIELD ETCHING OF SATELLITE IMAGES
OF AGRICULTURAL LANDSCAPES ON THE TERRITORY
OF THE SOUTHERN PART OF THE MESOPOTAMIAN LOWLAND**

Al-Chaabavi M.R.A., Ivantsova E.A.

Volgograd State University, Volgograd, e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru

The need to study agricultural landscapes as research objects in the territory of southern Iraq, which are the main sources of agricultural products, is due to the increasing processes of withdrawal of agricultural land from use due to the loss of their fertility as a result of degradation. Field studies were conducted in 2020–2021 on the territory of the test site “Amara”. The purpose of the research is to develop photo etalons of surface areas and determine the main characteristics of agricultural landscapes, including the type of soil, the degree of its degradation, determining the type and spatial distribution of degradation, the composition of phytocenoses for the verification of satellite images. The subject of research is the type and degree of degradation of agricultural land. Decryption of satellite images from Sentinel 2, Landsat 8 spacecraft, as well as ultra-high resolution from WorldView-3.4 satellites was the basis for geoinformation mapping and identification of the state of agricultural landscapes and their assessment. Using field research data, together with the result of geoinformation analysis of the terrain of the field site, an experimental profile was built and spatial positioning using a GPS system, photo-etalonization of the territory, soil sampling and a botanical description of vegetation were carried out for each of its points. It has been established that fertile alluvial soils are present in the study area, which are mainly subject to varying degrees of salinization. The main results of the research are the verification of ultra-high-resolution satellite imagery data based on the data of the reference area of the test site to assess the state of agricultural landscapes and the possibility of agroforestry of agricultural land. As a result of the conducted research using geoinformation technologies based on satellite images, it was found that the largest part of the test site “Amara” is occupied by land with very strong and strong salinity. Such areas are being decommissioned and are currently overgrown with ruderal vegetation. The lands with an average level of salinity occupy the fields of agricultural crops, where the cultivation of agricultural crops is carried out. To prevent deflation, forest reclamation measures are necessary using three-row forest strips of two rows of amaryx shrub (*Tamarix aphylla* L.) with the inclusion of a middle row and a row of palm (*Phoenix dactylifera* L.) along the banks of irrigation channels.

Keywords: agrolandscape, arable land, degradation, salinization, etalization, satellite images, Republic of Iraq

Деградация земель, используемых для производства сельскохозяйственной продукции, влияет в первую очередь на состояние почв [1, 2]. Для сохранения плодородия аграрных угодий имеется необходимость применения мер защиты полей от дефляции, засоления и водной эрозии, основными из которых являются меры биологической защиты, лесомелиоративное обустройство сельскохозяйственных угодий, а также применение почвозащитных агротехнологий возделывания почв. При антропогенной деградации возможно применение ограничений, например замена сельскохозяйственных культур, создание и установление наличия защитных лесных насаждений и др. [3, 4]. Существует прямая зависимость структуры сельскохозяйственных угодий от пространственного размещения, крутизны склонов, почвенных особенностей территории [5, 6]. При этом высокие риски хозяйственного использования земель сельскохозяйственного назначения обусловлены природными факторами; сезонным характером выпадения осадков, наличием паводков и засушливых периодов, природной засоленностью почв и др.

Полевые исследования агроландшафтов проводятся для эталонирования космоснимков с целью повышения точности интерпретации данных дистанционного зондирования о состоянии агроландшафтов и степени их агролесомелиоративного обустройства. При эталонировании определяются объективные характеристики участков агроландшафтов и лесных насаждений, которые можно идентифицировать по космоснимкам, причем как для аграрных площадей (пашня, кормовые угодья, полезащитные, приканальные, противоэрозионные лесные насаждения), так и естественных ландшафтов, проведение эталонирования растительности с определением состава древостоев и фитоценозов, количественной и качественной оценки травянистой растительности пастбищ и лесных насаждений при их наличии, исследование состояния почв и ландшафтное профилирование. Дистанционное зондирование поверхности обеспечивает возможность установить состояние агроландшафтов на значительной площади, обеспечивая уменьшение объема наземных исследований, экономическую эффективность и научную достоверность исследований [7]. Применение геоинформационных технологий для картографирования пространственных данных [8] обеспечивает разработку картографических слоев,

отражающих информацию, привязанную к географическим координатам, что обеспечивает новый научный уровень исследований. Дешифрирование космоснимков с космических аппаратов Sentinel 2, Landsat 8, а также сверхвысокого разрешения со спутников WorldView –3, 4 является основой для геоинформационного картографирования и выявления состояния сельскохозяйственных ландшафтов, защитных лесных насаждений и их оценки.

Цель исследования – разработка фотоэталонов участков поверхности и определение основных характеристик агроландшафтов, включая тип почвы, степень ее деградации, определение вида и пространственного распределения деградации, степени агролесомелиоративного обустройства сельскохозяйственных угодий, состава фитоценозов для верификации космоснимков.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования были проведены в 2020–2021 гг. на территории тестового полигона «Амара». В ходе исследований был заложен полевой ландшафтный профиль, был проведен отбор образцов почвы и оценка растительного покрова с использованием специализированных сервисов, например «Плантариум» (<https://www.planтариум.ru/>). После проведения полевых исследований с использованием геоинформационных технологий была разработана космокарта полевого участка (рис. 1), с использованием данных спутниковой съемки сверхвысокого разрешения (спутники WorldView – 2, 3, 4, GeoEye 1 провайдер снимков компания Digital Globe), на который нанесена линия полевого профиля и выделены точки проведения исследований (<https://discover.digitalglobe.com/>). Анализ образцов почв в точках по профилю полевого участка проведен в сертифицированной лаборатории U-Scines. Достоверность результатов, полученных при полевых исследованиях, подтверждена их статистической обработкой, встроенной в программу QGIS (<https://gis4design.wordpress.com/2016/03/14/qgis-basic-statistics/>).

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием данных полевых исследований совместно с результатом геоинформационного анализа рельефа территории полевого участка построен опытный профиль, представленный на рис. 2.

Геоморфологические данные по линии профиля следующие: начало построения линии профиля находилось в точке с координатами $31^{\circ}53'46''$ северной широты, $47^{\circ}05'12''$ восточной долготы. Высота рельефа в начальной точке – 9 м. Окончание линии профиля – в точке с координатами $31^{\circ}54'15''$ северной широты, $47^{\circ}04'48''$ восточной долготы. Высота рельефа в конце профиля – 7 м, протяженность профиля – 1109 м. Дифференциация высот между начальной и конечной точкой – 2 м, максимальная высота по профилю – 10 м, минимальная высота – 6,5 м. Крутизна субгоризонтальной поверхности средняя – $0,1^{\circ}$. Крутизна склона максимальная – $2,62^{\circ}$.

Рельеф равнинный, с преимущественно аллювиальными песчаными слабогумусированными почвами. Отмечается наличие локальных повышений высотой до 2 м над средней высотой рельефа и локальных понижений, глубиной до 1 м, округлой формы диаметром до 50 м.

В табл. 1 приведены данные полевого позиционирования и общее описание территории вокруг точки профиля.

Результаты анализа образцов почв в точках по профилю полевого участка показали чрезвычайный уровень засоления территории; засолены слабо только два образца почв в точках 6 и 8, образцы почв в точках 5, 7 и 8 засолены в средней степени (табл. 2).

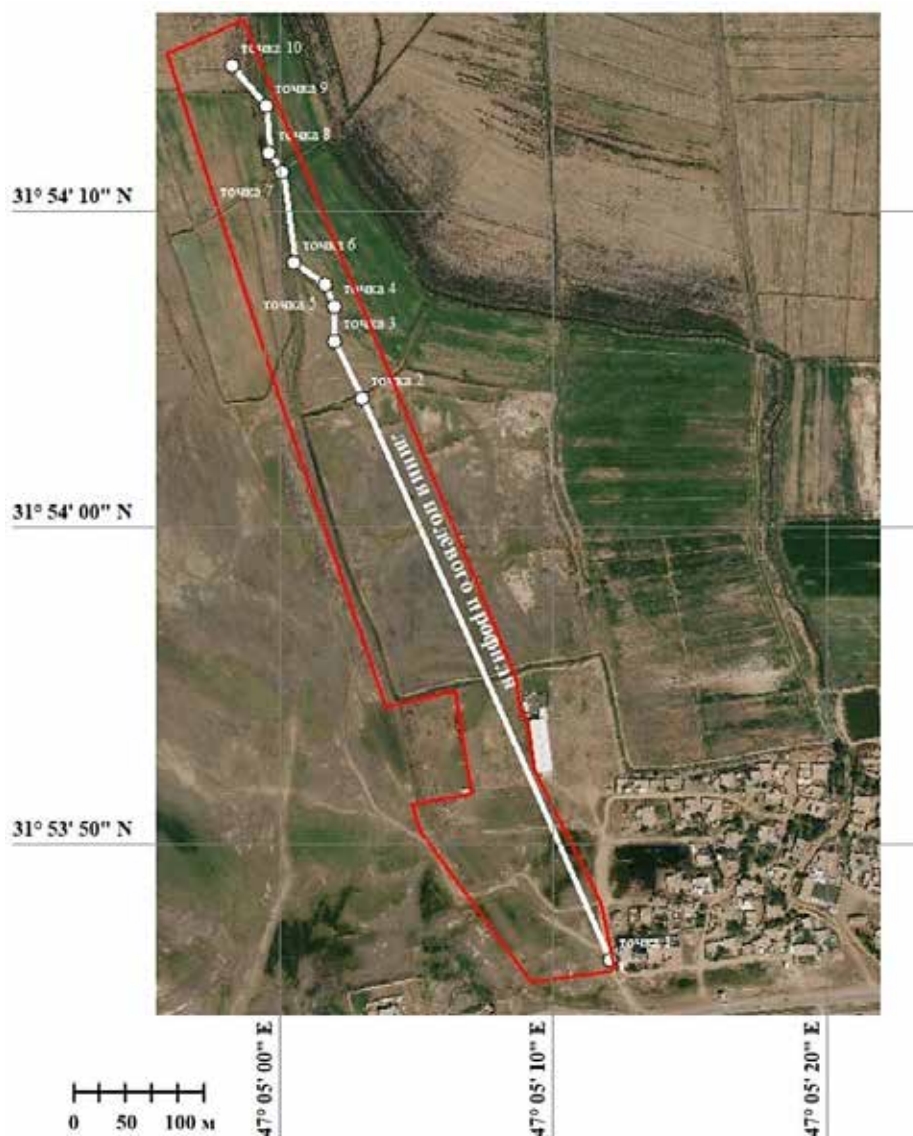


Рис. 1. Космокарта полевого участка на территории тестового полигона «Амара» с линией профиля и контрольными точками

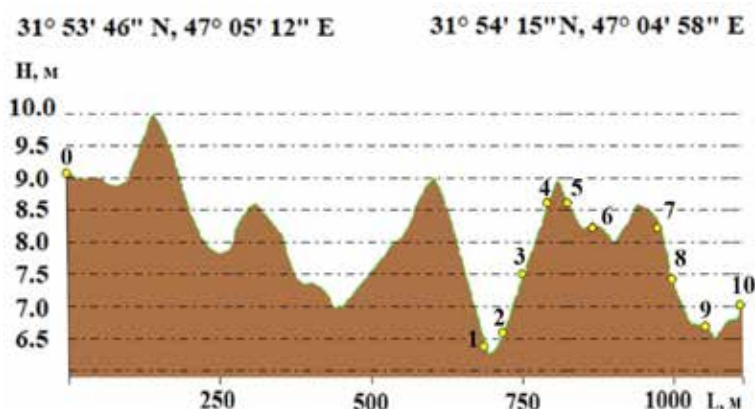


Рис. 2. Профиль полевого участка тестового полигона с контрольными точками (0–10)

Таблица 1

Характеристика точек полевого профиля

Точки профиля	Координаты	Высота, м	Тип почвы	Примечание
0	31°53'46.82" N 47°05'12.30" E	9,1	Аллювиальная легкосуглинистая	Начальная точка профиля. Понижение, где собирается влага
1	31°54'03.95" N 47°05'02.58" E	6,3	Аллювиальная легкосуглинистая	Характерно присутствие сезонных естественных растений. Локальное понижение
2	31°54'04.69" N 47°05'02.13" E	6,6	Аллювиальная легкосуглинистая	На засоленной территории в основном отсутствуют естественные растения, в каналах отмечены <i>Suaeda vera</i> , <i>Tamarix aphylla</i>
3	31°54'05.58" N 47°05'02.14" E	7,5	Аллювиальная легкосуглинистая	Территория засолена
4	31°54'06.69" N 47°05'01.86" E	8,5	Аллювиальная легкосуглинистая	Территория занята естественными пустынными кустарниками.
5	31°54'07.57" N 47°05'01.58" E	8,6	Аллювиальная легкосуглинистая	Сельскохозяйственные угодья. Присутствует древесная растительность и пастбища.
6	31°54'08.31" N 47°05'00.53" E	8,3	Аллювиальная суглинистая	
7	31°54'11.22" N 47°05'00.10" E	8,4	Аллювиальная легкосуглинистая	
8	31°54'11.61" N 47°04'59.46" E	7,4	Аллювиальная легкосуглинистая	Равнинный участок сельскохозяйственных угодий
9	31°54'13.16" N 47°04'59.34" E	6,7	Аллювиальная суглинистая	Берег большого оросительного канала. Отмечено присутствие однолетних и многолетних растений различных ботанических семейств
10	31°54'14.54" N 47°04'58.32" E	7,0	Аллювиальная легкосуглинистая	Окончание профиля. Зброшеные и засоленные сельскохозяйственные угодья

На рис. 3 представлен космоснимок территории вокруг точки 1 полевого профиля и фотоснимок территории вокруг точки 1. Здесь видно присутствие растительности, сосредоточенной по понижениям (высота рельефа 6,5 м) и по берегам оросительного канала. На возвышениях (высота рельефа 7 м) растительность сильно разрежена, а местами отсутствует. Необходимо отметить отсутствие мелиоративных насажде-

ний на этом участке профиля. Уровень засоленности и почвенные характеристики территории исследований свидетельствуют о том, что для предотвращения деградации земель на территории исследований имеется возможность лесомелиоративного обустройства с использованием трехрядных лесных полос из двух рядов, состоящих из *Tamarix aphylla* L. с включением среднего ряда *Phoenix dactylifera* L.

Таблица 2

Степень засоления почв по точкам профиля

Точки профиля	Содержание солей, %	Степень засоления
0	3,26	Очень сильнозасолённые
1	3,26	Очень сильнозасолённые
2	4,34	Очень сильнозасолённые
3	4,34	Очень сильнозасолённые
4	3,26	Очень сильнозасолённые
5	1,25	Среднезасолённые
6	0,44	Слабозасолённые
7	1,25	Среднезасолённые
8	1,25	Среднезасолённые
9	0,44	Слабозасолённые
10	3,26	Очень сильнозасолённые

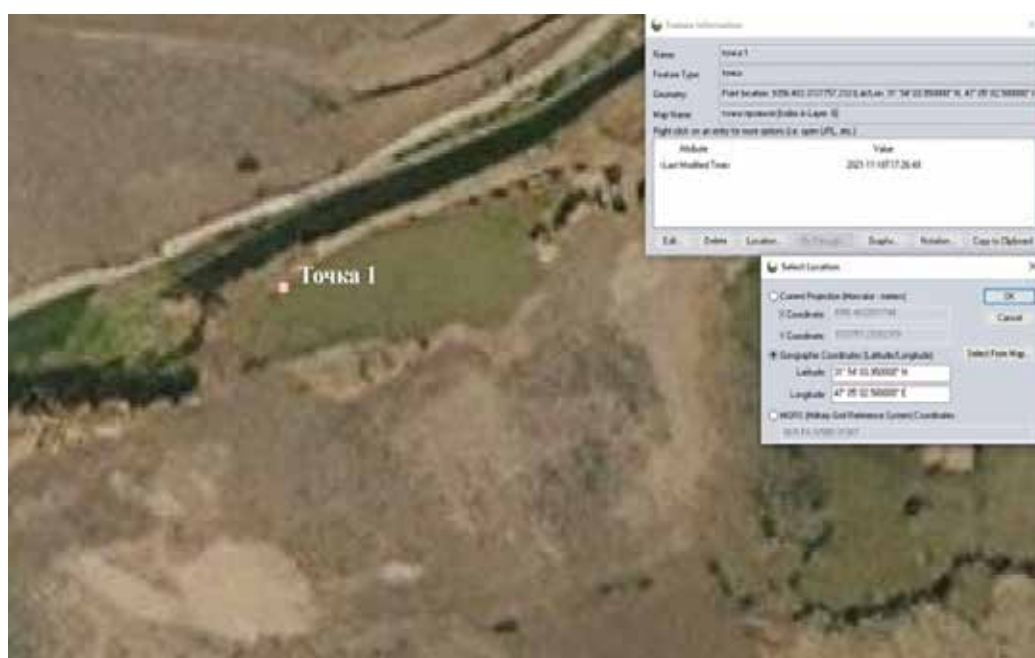


Рис. 3. Космоснимок территории вокруг точки 1 полевого профиля

Растительность на участке профиля представлена *Arundo donax* L. (рис. 4, а), *Tamarix aphylla* и галофитом *Suaeda vera* Forssk. (рис. 4, б). По берегам канала произрастают в основном *Tamarix aphylla* и *Spergularia rubra*.

Точка 4 имеет высоту рельефа 8,5 м, что на 1 м выше точки 3. Почва здесь сильно засолена, но в меньшей степени, чем в точке 3. Растительность представлена видами *Suaeda vera*, *Tamarix aphylla* и *Artemisia judaica*. Точка 5 расположена на сельскохозяйственном поле (рис. 1), используемом

для выращивания пшеницы; по периметру произрастают одиночно и группами пальмы *Phoenix dactylifera* L. Точка 6 имеет высоту рельефа 8,3 м. Почва засолена слабо. Здесь присутствует растительность, которая представлена *Suaeda vera* Forssk., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Beta vulgaris* L. Точка 6 имеет высоту рельефа 8,4 м. Почва засолена в средней степени. Здесь присутствует растительность, которая представлена *Suaeda vera* Forssk., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Beta vulgaris* L. и *Phoenix dactylifera* L. (рис. 5, а).



а



б

Рис. 4. Фотоснимки территории вокруг точки 1 полевого профиля:
а – *Arundo donax* L., б – *Suaeda vera* Forssk.



а



б

Рис. 5. Фотоснимки территории вокруг точки 6 (а), растительность *Suaeda vera* Forssk., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Beta vulgaris* L. и точки 7 (б), растительность *Suaeda vera* Forssk., *Cynodon dactylon* L., *Beta vulgaris* L. и *Phoenix dactylifera* L. На заднем плане поле *Triticum aestivum* L.

Точка 7 имеет высоту рельефа 8,4 м. Почва засолена средне. Здесь присутствует растительность, которая представлена *Suaeda vera* Forssk., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Beta vulgaris* L. и *Phoenix dactylifera* L. На заднем плане поле с *Triticum aestivum* L. (рис. 5, б). Точка 8 имеет высоту рельефа 7,4 м. Почва засолена средне. Здесь присутствует растительность, которая представлена видами *Suaeda vera* Forssk., *Spergularia rubra* (L.) Presl., и *Phoenix dactylifera* L. Точка 9 имеет высоту рельефа 7,4 м. Почва засолена средне. Здесь присутствует растительность, которая представлена *Arundo donax* L., *Phoenix dactylifera* L., *Tamarix aphylla* L. и поле *Triticum aestivum* L. Точка профиля 10 пространственно расположена на заброшенных орошаемых полях, засоление почвы на которых достигло критических значений (3,26%), в этом случае использование таких земель для выращивания культурных значений становится невозможным. Территория зарастает галофитами *Suaeda vera* Forssk.

Заключение

В результате полевых исследований на тестовом полигоне получены фотоэталонные участки поверхности, определены основные характеристики агроландшафтов, включая тип почвы, степень ее деградации, определены вид и пространственное распределение деградации, состав фитоценозов для верификации космоснимков. С использованием геоинформационных технологий по космоснимкам установлено, что наибольшую часть тестового участка занимают уголья с очень сильным и сильным засолением. Такие площади выводятся из использования и в настоящее время зарастают рудеральной растительностью. Уголья со средним уровнем засоления занимают поля сельскохозяйственных культур, где проводится выращивание сельскохозяйственных культур, преимущественно *Triticum aestivum* L.; потеря урожая в отдельные годы достигает 25%. Заброшенные поля медленно зарастают галофитами. Древесно-кустарниковая

растительность представлена *Arundo donax* L., *Phoenix dactylifera* L., *Tamarix aphylla* L., которые занимают заброшенные поля и берега каналов. В связи с этим целесообразно рекомендовать агролесомелиоративное обустройство сельскохозяйственных земель по берегам оросительных каналов путем создания трехрядных лесных полос, состоящих из двух рядов кустарника *Tamarix aphylla* L. и среднего ряда пальмы *Phoenix dactylifera* L. Получение фотоэталонов почв и растительности дает возможность ее идентификации на изображениях, полученных в результате космосъемки, и применения таких эталонов для дешифрирования агроландшафтов-аналогов.

Список литературы

1. Иванцова Е.А., Комарова И.А. Использование геоинформационных технологий и космических снимков для анализа агроландшафтов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 357–366.
2. Новочадов В.В., Рулев А.С., Юферев В.Г., Иванцова Е.А. Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. Т. 1. № 53. С. 151–158. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-19.
3. Авад В.Р. Динамика изменения ландшафтов в условиях опустынивания сельскохозяйственных земель (на примере юга Ирака): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 25.00.25. Москва, 2019. 25 с.
4. Desk Study on the Environment in Iraq. United Nations Environment Programme, 2003. 98 p.
5. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Mushaeva K.B., Koshelev A.V., Dorokhina Z.P., Berezovikova O.Yu. Geographic information technologies for protective afforestation. Volgograd: VNIALMI, 2010. 102 p.
6. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian. Arid ecosystems. 2020. Vol. 10. No. 2. P. 98–105.
7. Бакланов А.И. Новые горизонты космических систем оптико-электронного наблюдения Земли высокого разрешения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5. № 3. С. 17–28.
8. Юферев В.Г., Юферев М.В. Геоинформационные методы оценки параметров деградации земель // Степи Северной Евразии: материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов». Оренбург, 2012. С. 835–839.

УДК 63:574.42

ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЕВ (ПРИЗНАКОВ) ПО ВЫДЕЛЕНИЮ И СОХРАНЕНИЮ МАЛОНАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}Дружинин Ф.Н., ³Хорошун Н.А., ²Аверина В.В.

¹ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»,
Вологодская региональная лаборатория, Вологда, e-mail: drujinin@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина», Вологда, e-mail: ershova.vladislava@yandex.ru;

³АО Группа компаний «Вологодские лесопромышленники», Вологда,
e-mail: n.khoroshun@volwood.ru

Сохранение биологического разнообразия – актуальная проблема в современном мире. В статье рассматриваются вопросы по обоснованию и выделению лесных участков естественных лесов, не затронутых антропогенным воздействием. Методика выделения слоев малонарушенных лесных массивов (МЛМ) по космическим снимкам, разработанная АНО «Прозрачный лес» и FSC России, не позволяет в полной мере получать достоверную информацию. Следует отметить, что в декларируемом подходе применяются недопустимые выражения: «высока вероятность», «возможно», «формальные критерии МЛМ». В связи с этим проведено исследование по обоснованности и правильности их выделения в лесном фонде Бабаевского муниципального района Вологодской области. Обследование проводилось на предмет наличия в оцениваемых нами участках леса старовозрастных еловых (сосновых) малонарушенных лесных массивов, выявления наличия антропогенного и природного (пожарного, ветрового и биологического) воздействия (нарушенности). В ходе полевых изысканий в 80 % случаев обнаружены признаки антропогенного воздействия: пни, оставшиеся после рубки; заросшие и зарастающие волоки, дороги, карры на стволах сосны и барастовые воронки на ели, фаутная осина с долевым её участием в составе древостоя более двух единиц. В результате выполненных изысканий установлено и сделано заключение о нарушенности покрытых лесом земель, а насаждения по происхождению квалифицированы как вторичные. В ходе выполненного анализа дано обоснование и разработаны научно-методические основы, которые позволили выработать единую целостную систему оценочных критериев выделения малонарушенных массивов участков с целью их верификации и повышения (гарантированности) их устойчивости и сохранности.

Ключевые слова: малонарушенные лесные массивы, коренные и вторичные леса, качественные и количественные характеристики насаждений, методические подходы к выделению, базовые комплексные критерии

SUBSTANTIATION OF THE BASIC COMPLEX CRITERIA (SIGNS) FOR THE ALLOCATION AND PRESERVATION OF INTACT FORESTS IN THE VOLOGDA REGION

^{1,2}Druzhinin F.N., ³Khoroshun N.A., ²Averina V.V.

¹FBU "SevNIILKH" Vologda Regional Laboratory, Vologda, e-mail: drujinin@mail.ru;

²Vologda State Dairy Academy named N.V. Vereschagin, Vologda, e-mail: ershova.vladislava@yandex.ru;

³Company Group Vologodskiy Lesopromishlenniki, Vologda, e-mail: n.khoroshun@volwood.ru

Conservation of biological diversity is an urgent problem in the modern world. This article discusses the issues of justification and allocation of forest areas of natural forests that are not affected by anthropogenic impact. The technique of isolating layers of intact forests (MLM) from satellite images, developed by the ANO "Transparent Forest" and FSC of Russia, does not fully allow obtaining reliable information. It should be noted that the declared approach uses unacceptable expressions: "high probability", "possible", "formal MLM criteria". In this regard, a study was carried out on the validity and correctness of their allocation in the forest fund of the Babaevsky municipal district of the Vologda region. The survey was conducted for the presence of old-age spruce (pine) intact forests in the forest areas we evaluated, to identify the presence of anthropogenic and natural (fire, wind and biological) impacts (disturbance). In the course of field surveys, in 80 % of cases, signs of anthropogenic impact were found: stumps left after logging; overgrown and overgrown portages, roads, carps on pine trunks and barast funnels on spruce, fault aspen with its share in the composition of the stand of more than 2 units. As a result of the surveys carried out, a conclusion was established and made about the disturbance of the forested lands, and the plantings were qualified as secondary by origin. In the course of the analysis carried out, a justification was given and scientific and methodological foundations were developed, which made it possible to develop a single integral system of evaluation criteria for the allocation of intact land plots in order to verify them and increase (guarantee) their stability and safety.

Keywords: intact woodlands, indigenous and secondary forests, qualitative and quantitative characteristics of plantings, methodological approaches to allocation, basic complex criteria

Современная природная среда представляет собой природно-антропогенный комплекс, в пределах которого природные, антропогенные, географические, этнические и социокультурные факторы находятся в тесном взаимодействии, образуя однородную по условиям развития, единую, неразрывную, присущую данному региону или местности систему – геоэкосоциосистему, или природно-техногенную систему [1]. Каждый ландшафт по-своему уникален. Лес формирует неотъемлемую часть ландшафта. Тысячелетия совместной эволюции лесных экосистем в ландшафте формируют их уникальное биологическое разнообразие, которое, в свою очередь, обеспечивает их устойчивость по отношению к любым естественным катастрофам, например пожарам, засухам, наводнениям, различным региональным проявлениям глобального изменения климата [2, 3].

Устойчивое управление лесами невозможно без учёта и сохранения биологического разнообразия лесов, то есть разнообразия всех видов живых организмов, экосистем и ландшафтов [4]. Малонарушенные лесные массивы обладают высокой природоохранной ценностью. Приоритет сохранения естественных экосистем закреплён в российском законодательстве (закон «Об охране окружающей среды», статья 3), принципах и критериях наиболее широко распространённой в мире системы добровольной лесной сертификации – FSC [5–7].

Согласно определению (стандарт FSC – ВПЦ 2.2. Малонарушенные лесные массивы – с. 138) малонарушенными лесными массивами являются участки естественных лесов, не испытавшие заметного антропогенного воздействия, изменяющиеся на протяжении многих поколений (как минимум двух поколений) лесообразующих древесных пород преимущественно под влиянием природных процессов [8].

В связи с этим коренными лесами можно признать только насаждения, состоящие из хвойных древесных пород, с их долевым участием в составах древостоя не менее 8 единиц. Меньшее доленое участие хвойных пород в составах древостоя (7 и менее единиц) указывает на значительную нарушенность рассматриваемых лесных экосистем. Это связано либо с воздействием антропогенных (различного рода хозяйственные воздействия на лесные экосистемы) либо климатогенных (ветровалы и т.д.) экологических факторов. Присутствие в составах древостоя лиственных пород, особенно осины, свидетельствует о нарушенно-

сти этих лесных экосистем, так как возраст спелости лиственных пород и древостоев европейской тайги находится в диапазоне от 41 до 61 года, а это лишь менее половины периода жизнедеятельности одного поколения хвойных пород.

В методиках АНО «Прозрачный мир» и FSC России не отражены измеряемые (оценочные) показатели, не объяснено, по какой причине малонарушенный лесной массив для Вологодской области определён в размере от 100 га и более. В связи с этим лесные участки сложно верифицируются, а заявленные критерии весьма расплывчаты и могут толковаться заинтересованными и затронутыми сторонами по-разному. Кроме этого, имеется и ряд критических замечаний к подходу по выявлению таких лесных территорий:

1. Точность наложения космоснимка на квартальную сеть такова, что не позволяет объективно выверить выделенное наложение, сеть плывёт и не стыкуется, происходит смещение контуров выделяемых МЛМ.

2. По имеющимся в свободном доступе космоснимкам невозможно с требуемой точностью установить возраст древостоя. Ошибка в определении составляет более 1 класса возраста.

3. Все остальные количественные и качественные показатели (долевое участие древесных пород в составе древостоя, площадные характеристики состояния насаждений) определяются с ошибками более 30%.

На основании вышеизложенного, для объективной оценки, принятия выверенного управленческого решения необходимы научно обоснованные критерии (оценочные показатели), которые позволят выполнять комплексную оценку, направленную на верифицируемость выделения и сохранения МЛМ.

Цель исследования – разработка научно-практического обоснования базовых комплексных критериев (признаков) по выделению и сохранению малонарушенных лесных массивов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на территории лесного фонда Бабаевского муниципального района Вологодской области. Обследованию подлежали 28 малонарушенных лесных массивов (участков), которые были заявлены и выделены как старовозрастные еловые (сосновые) насаждения. Изыскания проводились в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

На первом этапе выполнены комплексная оценка и анализ лесных участков на соответствие критериям АНО «Прозрачный мир» для составления реестра лесотаксационных выделов малонарушенных лесных массивов. С этой целью прорабатывались сведения государственного лесного реестра, анализировались таксационные описания и картографические материалы. В ходе этих работ выявлялись явные несоответствия, что позволило исключить часть лесных участков из слоя малонарушенных лесных массивов и сформировать перечень лесотаксационных выделов, отвечающих всем базовым критериям, для включения их в натурное обследование.

Полевые работы начинались с рекогносцировки на местности с последующей прокладкой маршрутных ходов (трансект) с охватом наиболее типичных лесных участков по лесорастительным условиям. При этом до выполнения лесочетных работ использовались максимально актуальные космознимки лесных участков, позволяющие запланировать схему закладки временных пробных площадей, в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83 [2] в наиболее характерных по составу, густоте и однородных по живому напочвенному покрову, микрорельефу лесных участках (выделах).

Учётные работы на временных пробных площадях (лентах-трансектах) проводились по породам (элементам леса), ступеням толщины деревьев. Учет сухостойных и выпавших деревьев (отпада) вёлся отдельно. Для определения средней высоты каждого элемента леса на каждом лесном участке производился замер высот у трех-пяти деревьев. По главной породе для установления (уточнения) возраста отбиралось не менее пяти кернов.

Лесоводственная оценка лесовосстановительных процессов под пологом древостоя проводилась на 10 учётных площадках размером 10 м² каждая. Учётные работы выполнялись с подразделением подроста по породам, жизненному состоянию и категориям крупности.

При обследовании малонарушенных лесных массивов отдельно оценивали состояние и устойчивость насаждений в каждом лесотаксационном выделе, посредством выявления всех изменений в лесных экосистемах и анализа причин, которые вызвали эти изменения. Определение классов повреждения деревьев в ходе визуальной оценки осуществлялось по породам (элементам леса), ступеням толщины и классам повреждения деревьев (табл. 1).

Таблица 1

Ведомость перечета деревьев

Степень толщины	Класс повреждения					
	0	1	2	3	4	5
8						
12						
16						
и т.д.						

Продолжение табл. 1

Примечания [9]:

– Класс (балл) повреждения – 0. Здоровые деревья без признаков ощутимых повреждений, с густой зелёной кроной, с нормальными для данного вида, возраста, условий произрастания линейными приростами последних лет. Мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны. У хвойных пород продолжительность жизни хвои – типичная для данного региона. Любые повреждения листьев и хвои (насекомые, грибы и пр.) незначительны (до 5%) и не сказываются на состоянии дерева.

– Класс (балл) повреждения – 1. Поврежденные (ослабленные) деревья характеризуются слабо выраженной ажурностью кроны, повреждением насекомыми и болезнями до 30–40% листьев и хвои, несколько укороченным (в среднем на 15–20%) приростом в высоту, усыханием отдельных ветвей в нижней трети кроны, при этом отмечается наличие хлорозов и некрозов, занимающих до 10% общей площади ассимилирующей поверхности хвои и листьев. Характерно также снижение продолжительности жизни хвои на 1–2 года по сравнению с возрастом здоровых деревьев.

– Класс (балл) повреждения – 2. К сильно поврежденным (сильно ослабленным) относятся деревья, имеющие ажурность кроны с поврежденной на 60–70% и усыхающей хвоей (листвой), характеризующиеся сильно укороченными приростами вплоть до его отсутствия. Суховершинные деревья, сухие ветви появляются в средней части кроны, у ассимиляционного аппарата хлорозы и

некрозы занимают более 10% общей площади ассимилирующей поверхности, существенно снижается продолжительность жизни хвои (в 2–3 раза), происходит резкое подавление ростовых процессов у деревьев.

– Класс (балл) повреждения – 3. К усыхающим (гибнущим) деревьям следует отнести стволы с сильно изрезанной кроной или только отдельными живыми ветвями, с сильно поврежденной (более 70–80%) хвоей (листьями). Текущего прироста нет, деревья поражены ксилофагами. Оставшаяся хвоя (листья) – хлоротичные: бледно-зеленые или оранжевые. Некрозы имеют коричневый, оранжево-красный или черный цвет. Возраст хвои не более 1–2 лет, часто хвоя только текущего года.

– Класс (балл) повреждения – 4. Свежий сухостой – деревья, усохшие (погибшие) в последние 1–3 года.

– Класс (балл) повреждения – 5. Старый сухостой – деревья, погибшие более 3 лет назад.

Таблица 2

Категории состояния древостоев в соответствии
с принятыми общеевропейской программой лесного мониторинга [10]

Категория состояния древостоев	Значение индекса повреждения
Неповрежденные	менее 0,50
Слабо поврежденные	0,51–1,50
Средне (умеренно) поврежденные	1,51–2,50
Сильно поврежденные (гибнущие)	2,51–3,50
Погибшие	более 3,51

В камеральных условиях (3 этап) устанавливались категории состояния древостоя, рассчитывался индекс повреждения (табл. 2). Следует отметить, что положительные изменения (или сохранение в неизменном состоянии) в таксационных показателях древостоя, интенсивное протекание лесовосстановительных процессов, отсутствие трансформации по долевого участию коренных пород в составе древостоев, лесного разнотравья в живом напочвенном покрове свидетельствовало об удовлетворительном жизненном состоянии лесных насаждений. Это позволило нам обосновать и включать такие лесотаксационные выделения в реестр слоя малонарушенного лесного массива.

Выявление несоответствий (ошибок) в выделяемых слоях МЛМ велось по нескольким основным таксационным показателям:

- состав (7 и более единиц хвойных пород);
- возраст (121 и более лет, 141 и более лет);
- наличие признаков антропогенного воздействия, в том числе и природного характера (ветровалы, буреломы).

Площадные характеристики на первом этапе не учитывались. На следующем этапе во внимание уже принималось их пространственное размещение (формирование единого контура) и площадь.

В ходе камеральной обработки данных рассматривались еловые (сосновые) древостои с возрастом более 101 года и более 121 года. При этом эти насаждения подразделялись на хвойные (сосновые, еловые, сосново-еловые, елово-сосновые и с участием лиственных пород в составах древостоя не более двух единиц), где возможна непрерывная сукцессия без смены пород. На заключительном этапе выявлялись и исключались слои лесных массивов, суммарная площадь которых, даже с учетом других категорий лесных и нелесных земель, составляла менее 100 га.

В ходе реализации разработанного методического подхода нами установлено следующее. По участковым лесничествам на территории лесного фонда Бабаевского муниципального района Вологодской области старовозрастные хвойные древостои занимают площадь от 20 до 73% (табл. 3). Ошибка в определении возраста и хозяйственной группы возраста по космостикам составляла 65–80% случаев. Значительные площади занимали лиственно-хвойные и лиственные древостои.

По Никольскому, Колпинскому и Тимошинскому участковым лесничествам доля в структуре слоев МЛМ старовозрастных хвойных древостоев с возрастом более 121 года составляла от 20 до 35% от площади каждого слоя МЛМ. В других участковых лесничествах такие насаждения были представлены на 53–73% площади.

Таблица 3

Количественная и качественная структура МЛМ

№ п/п	Участковое лесничество	Количество лесных участков	Площадь МЛМ, га/%		
			Всего		
				7 единиц и более хвойных пород, возраст более 121 года	7 единиц и более хвойных пород, возраст более 101 года
1	Никольское	1	232,1	47,1/20	180,4/78
2	Тимошинское	1	41,7	14,6/35	14,6/35
3	Колпинское	7	1160,5	377,9/33	700,8/60
4	Куйское	1	836,2	440,8/53	451,2/54
5	Ножемское	5	1520,9	929,4/61	971,6/64
6	Ножемское-Колошемское	1	285,8	207,5/73	207,5/73
7	Колошемское	12	5043,1	3502,4/69	3717,8/74
Итого		28	9120,3	5519,7/61	6243,9/68

Таблица 4

Характеристика лесных участков МЛМ со сложной вертикальной структурой насаждений

№ п/п	Участковое лесничество	Количество лесных участков	Площадь МЛМ, га		
			всего	в том числе	
				с долевым участием в составе 7 единиц хвойных пород с возрастом более 101 года	в том числе многоярусные
1	Никольское	1	232,1	180,4/78	17,7/8
2	Тимошинское	1	41,7	14,6/35	4,9/12
3	Колпинское	7	1160,5	700,8/60	8,0/1
4	Куйское	1	836,2	451,2/54	4,2/1
5	Ножемское	5	1520,9	971,6/64	68,8/5
6	Ножемское-Колошемское	1	285,8	207,5/73	13,3/5
7	Колошемское	12	5043,1	3717,8/74	6,7/0
Итого		28	9120,3	6243,9/68	123,6/1

Старовозрастные еловые и сосновые древостои старше 101 года в структуре МЛМ занимают площадь по участковым лесничествам в диапазоне от 35 до 78%. Доля лесных участков (лесотаксационных выделов), не соответствующих критериям МЛМ, составляет от 22 до 65%. Кроме этого, при анализе картографических материалов выявлено отсутствие целостности выделяемых лесных массивов. Доля смешанных лесов (хвойно-лиственных, лиственно-хвойных и лиственных) от общей площади МЛМ составляет до 42%. Выявленные в ходе анализа несоответствия

(ошибки) по лесным участкам составили более 31%, что позволяет дать заключение о невалидности использования методических подходов, предложенных АНО «Прозрачный мир» и WWF России.

Для оценки вертикальной структуры (ярусности) насаждений выполнен анализ возрастного строения формирующихся древостоев в структуре выделенных МЛМ по участковым лесничествам (табл. 4). Учту подлежали лесные участки, на которых древостои характеризовались сложной структурой, включающей, не менее двух ярусов. Такие насаждения явля-

ются явными носителями признаков естественной сукцессионной динамики лесов без смены пород.

В ходе анализа полевых данных установлено, что большинство лесотаксационных выделов в общей количественной и качественной структуре МЛМ затронуты подневольно-выборочными рубками различной интенсивности. Единичные участки были пройдены приисковыми и сплошными рубками. Сохранившиеся контуры волоков и зарастающие лесные дороги свидетельствуют об антропогенном воздействии на этих территориях. Большинство лесных массивов представлены вторичными древостоями с коренным изменением состава древостоев и трансформацией лесорастительных условий. Присутствовали лесные участки, которые по санитарному состоянию оценены как минусовые (погибшие насаждения), зарегистрирован распад древостоя. Все лесные массивы, подлежащие обследованию, расположены в зоне действия молевого сплава. Вблизи этих лесных участков находятся лесозаготовительные поселки: Верхняя конторка, Красные бараки, Сарожка, Парча, Верхняя Ножема, Колошма, Пяжелка, Нижняя Ножема, Пустая Слобода, Пустынь, Плесо – и деревни: Нажмозеро, Кленозеро, Пяжозеро и Пондала. На всей территории выделенных МЛМ присутствовали следы проведения осмоллоподсочки, на стволах сосны сохранились карры, а на ели – барастовые воронки. Часть обследованной территории была неоднократно пройдена лесными пожарами различной интенсивности, о чем свидетельствует изменившийся состав в живом напочвенном покрове.

В результате выполненных изысканий, в рамках трех последовательно реализованных этапов, нами выделены и обоснованы шесть верифицируемых критериев, которые включают в себя оценочные показатели по составу, возрасту, площади, контурности, смежности, мозаичности, срокам окончания и продолжительности воздействия на лесную территорию, наличию коренной напочвенной растительности, присущей старовозрастным хвойным биогеоценозам. К базовым критериям (признакам) для включения лесотаксационных выделов в реестр старовозрастных МЛМ необходимо отнести следующие:

1. Коренная порода. В Вологодской области коренные древостои представлены долговечными древесными породами: сосной обыкновенной (*Pinus silvestris*) и елью

европейской (*Picea abies*). В связи с этим коренными лесами можно признать только насаждения, состоящие из хвойных древесных пород, с их долевым участием в составах древостоя не менее 8 единиц. Меньше долевого участие хвойных пород в составах древостоя (7 и менее единиц) указывает на значительную нарушенность рассматриваемых лесных экосистем. Это связано либо с воздействием антропогенных (различного рода хозяйственные воздействия на лесные экосистемы), либо с влиянием климатогенных (ветровалы и т.д.) экологических факторов.

2. Средний возраст насаждений (не менее 141 года). Формирование леса обусловлено, прежде всего, этапами развития древостоев, что предполагает прохождение ими восстановительных и возрастных стадий. Насаждения разделены на пять групп возраста: молодняки, средневозрастные, припевающие, спелые и перестойные. В связи с этим к старовозрастным насаждениям следует относить хвойные древостои на стадии перестойности (сенильная стадия). Они характеризуются замедлением, а затем и прекращением роста деревьев; наибольшим отпадом (VII и последующие классы возраста).

3. Площадь единого лесного массива. Она должна составлять:

– для эксплуатационных лесов – свыше 1500 га;

– для защитных лесов – свыше 1000 га.

Меньшие площадные характеристики по старовозрастным малонарушенным хвойным древостоям ведут к увеличению рисков в длительной перспективе сохранности таких лесов. В случае утраты их устойчивости (массовые ветровалы, буреломы) и, как следствие, ухудшения санитарного состояния (вызовет необходимость назначения санитарно-оздоровительных мероприятий) это приведет, даже в результате однократного антропогенного воздействия, к полной утрате сохраняемого слоя МЛМ. В этом случае уже будет невозможен процесс сукцессионного развития через постепенное естественное обновление.

4. Контурность лесного массива. Понятие массива подразумевает однородность, схожесть условий местопроизрастания. В связи с этим лесные участки (типы ценных биотопов) должны быть однородными и иметь непосредственное примыкание друг к другу, что позволяет классифицировать их цельным единым лесным массивом. При несоблюдении данных условий вышеупо-

мянутые лесные участки будут характеризоваться фрагментарностью условий местопроизрастания и, как следствие, утратят природоохранную ценность. На основании вышеизложенного следует, что лесные массивы должны включать не менее трех смежных кварталов с общими объединяемыми границами выделов в один общий контур.

Внутри лесного массива могут быть участки нелесных земель (луга, болота, небольшие реки, озера и др.), составляя не более 20% от площади выделяемого слоя МЛМ. Также могут быть включены нарушенные лесные территории (вторичные и производные леса) размером не более 5% от площади слоя МЛМ.

5. Наличие в границах выделяемых контуров МЛМ (более 5% от площади МЛМ) приведенных ниже объектов исключает возможность включения этих категорий земель лесного фонда в состав (структуру) малонарушенных лесных массивов:

- промышленные территории, карьеры;
- территории населенных пунктов;
- сплошные вырубки;
- гари и горельники;
- лесные участки, пройденные мелиорацией;
- лесные участки, пройденные подсочкой;
- вторичные и производные древостой с долевым участием лиственных пород от 3 до 10 единиц;
- участки лесных культур всех возрастов;
- объекты лесной инфраструктуры различных категорий без сроков давности их создания (лесовозные дороги круглогодичного действия, летние и зимние лесовозные дороги, лесохозяйственные дороги, дороги противопожарного назначения);
- объекты, не связанные с лесной инфраструктурой (ЛЭП, трубопроводы, лесные склады, производственные площадки);
- нелесные земли (пашни, сенокосы, крупные водоемы).

6. Наличие на выделяемой лесной площади, кроме старовозрастных древесных форм растительности, соответствующих видов мхов, лишайников и травянистой растительности, присущих старовозрастным хвойным биоценозам, характеризующихся степенью обилия по шкале Друде – Sparsus.

Заключение

На основании выполненных изысканий разработано обоснование и научно-методическая основа, которая позволила выработать единые и комплексные верифицируемые критерии для выделения МЛМ.

Полученные данные систематизированы и объединены в группы для удобства оценки сохранившихся на территории Вологодской области лесных массивов, представляющих интерес для их сохранения и сбережения.

Для отнесения к малонарушенным лесным массивам территория лесного фонда должна соответствовать всем критериям. Приведенные оценочные показатели согласованы с заинтересованными и затронутыми сторонами, рассмотрены и утверждены на заседании научно-технического совета Департамента лесного комплекса Вологодской области, направлены в технический комитет FSC России на рассмотрение.

Список литературы

1. Гривко Е.В., Шайхутдинова А.А. Пространственная оценка природного потенциала антропогенномодифицированных территорий: методические указания. Оренбург: ОГУ, 2020. 56 с.
2. Паутов Ю.А., Шуктомов Н.В., Шилов А.И., Боровлев А.Ю. Ландшафтно-экологическое планирование и сохранение биоразнообразия при организации рубок леса в Республике Коми. Сыктывкар: Фонд содействия устойчивому развитию «Серебряная тайга», Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2020. 124 с.
3. WWF (2020) Living Planet Report 2020 – Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland. [Электронный ресурс]. URL: <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf> (дата обращения: 05.09.2022).
4. Департамент лесного комплекса Вологодской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://dlk.gov35.ru/vedomstvennaya-informatsiya/statistika/otchetnost-ob-osushchestvlenii-departamentom-lesnogo-kompleksa-oblasti-pere-dannykh-polnomochiy-rossii/> (дата обращения: 05.09.2022).
5. Есипова Е.С., Кобяков К.Н., Колбовский Е.Ю., Милаковский Б.Д., Маланин П.Б., Лисунов О.А., Омелько А.М., Пуреховский А.Ж., Старожилов В.Т., Ухваткина О.Н. Зонирование малонарушенных лесных территорий и массивов на юге Дальнего Востока России: методические подходы и рекомендации: учебно-методическое пособие. Владивосток: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2018. 56 с.
6. Карпачевский М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О., Ярошенко А.Ю., Белякова А.В., Брюханов А.В., Букарева Е.Н., Коношатов О.А., Корчагов С.А., Кулясова А.А., Петров А.П., Рай Е.А., Шматков Н.М. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: WWF России, 2014. 268 с.
7. Аксенов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю., Егоров А.В., Исаев А.С., Карпачевский М.Л., Лестадис Л.Г., Потапов П.В., Пуреховский А.Ж., Турбанова С.А., Ярошенко А.Ю. Атлас малонарушенных лесных территорий России М.: МСОС; Вашингтон: World Resources Institute, 2003. 186 с.
8. Национальный стандарт FSC для Российской Федерации. Forest Stewardship Council. [Электронный ресурс]. URL: <https://fcert.ru/wp-content/uploads/2016/04/FSC-STD-RUS-02-2020-2-0- RU-Национальный-стандарт-FSC-для-России.pdf> (дата обращения: 05.09.2022).
9. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. 2-е изд. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2016. 298 с.
10. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 № 472 (ред. от 15.03.2018) «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов». [Электронный ресурс]. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosleshoza-ot-10.11.2011-N-472> (дата обращения: 24.08.2022).

СТАТЬИ

УДК 504.75.05:504.064.36:614.72

**МОНИТОРИНГ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛИГОНОВ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО)
С УЧЕТОМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ**

Ашихмина Т.В., Жидова М.В.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж,
e-mail: priem@vgasu.vrn.ru*

В настоящее время возгорание коммунальных отходов является ежегодно повторяющимся неотъемлемым фактором эксплуатации полигонов и свалок. Горение отходов сопровождается выбросами в атмосферу значительного количества токсичных веществ, распространяющихся далеко за пределы территории полигона. В статье проанализированы геоэкологические и медико-экологические аспекты, определяющие пожарную опасность объектов размещения отходов, на примере полигона ТКО в Новоусманском районе Воронежской области. С учетом многокомпонентности отходов, сложности процессов их преобразования, а также ограниченного объема информации по экологическому состоянию объектов их размещения анализ их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения проводился на основе расчетов и моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ от объекта размещения отходов в период их максимального залпового выброса в условиях пожара. Геоэкологическая опасность продуктов горения обусловлена снижением прозрачности атмосферы, тепловым загрязнением атмосферы, выбросом токсичных для живых организмов веществ, усилением парникового эффекта. Медико-экологическая опасность связана с потенциальным риском причинения вреда здоровью населения близлежащих территорий химическими соединениями, образующимися при горении отходов на полигоне. Проведенные исследования показали необходимость комплексного подхода к формированию системы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО. Разработанная авторами схема такого мониторинга включает три основных раздела (этапа): превентивный мониторинг пожарной опасности, мониторинг процесса горения отходов с прогнозированием зоны задымления, мониторинг загрязнения воздушной среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара. Для каждого раздела представлены: перечень контролируемых параметров, нормативно-методическое обеспечение, технические возможности осуществления мониторинга.

Ключевые слова: полигон ТКО, пожар, геоэкологические факторы, риски здоровью населения, моделирование, зоны токсического задымления, мониторинг пожарной опасности полигонов ТКО

**MONITORING OF FIRE HAZARDS IN LANDFILLS
OF SOLID MUNICIPAL WASTE (MSW) CONSIDERING
GEO-ENVIRONMENTAL AND MEDICAL-ENVIRONMENTAL ASPECTS**

Ashikhmina T.V., Zhidova M.V.

Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: priem@vgasu.vrn.ru

At present, municipal waste combustion is a recurring part of the operation of landfills and dumps every year. The burning of wastes is accompanied by atmospheric emissions of a considerable quantity of toxic substances which spread far beyond the territory of the landfill. In the article geo-ecological and medical-ecological aspects determining a fire hazard of waste disposal objects are analyzed on the example of a landfill in Novousmanskiy district of Voronezh region. Taking into account multicomponent waste, complexity of their transformation processes and limited information on the ecological condition of disposal facilities, the analysis of their negative impact on the environment and public health was carried out on the basis of calculations and modeling of dispersion processes of pollutants from the waste disposal facility during their maximum volley release under fire conditions. The geoecological hazard of combustion products is caused by a decrease in atmospheric transparency, thermal pollution of the atmosphere, the release of substances toxic to living organisms, and the intensification of the greenhouse effect. Medical and environmental hazards are associated with the potential risk of harm to the health of the population of nearby areas by chemical compounds during combustion of waste at the landfill. The conducted research showed the necessity of a comprehensive approach to forming a system of monitoring the fire hazard of solid waste landfills. The scheme of such monitoring developed by the authors includes three main sections (stages): preventive monitoring of fire danger, monitoring of waste combustion process with forecasting of smoke zone, monitoring of air pollution and health of population caught in the zone of fire impact. For each section the following is presented: a list of controlled parameters, normative-methodological support, technical capabilities of monitoring implementation.

Keywords: landfill, fire, geo-ecological factors, public health risks, modeling, toxic smoke zones, monitoring of fire hazards of landfills

Размещение твердых коммунальных отходов (ТКО) на специально выделенных территориях в течение многих десятилетий являлось наиболее распространенным способом обращения с такими отходами. Исследованиями доказана экологическая

опасность объектов размещения ТКО (полигонов), обусловленная эмиссиями загрязняющих веществ в компоненты окружающей среды в период эксплуатации объектов и более интенсивными, залповыми выбросами токсичных веществ при пожарах [1, 2, 3].

Неотъемлемой частью эксплуатации полигонов и свалок являются процессы горения отходов. Согласно статистическим данным [4], доля пожаров, связанных с мусором, за последние несколько лет остается стабильно высокой – около 25–29% от общего количества. При этом доля прямого материального ущерба от таких пожаров в 2021 г. выросла на порядок по сравнению с предыдущими годами, а процент случаев со смертельным исходом увеличился до 0,20%. Также анализ статистики показал, что количество погибших людей на пожарах, в результате отравления токсичными газами и ядовитыми веществами на протяжении нескольких лет постоянно растет.

Факторы, определяющие возможность, интенсивность, продолжительность горения отходов, а также негативное воздействие процесса на окружающую среду и здоровье людей, включают техногенные (состав отходов, организация эксплуатации полигонов и инженерно-технических сооружений на них), и геоэкологические (климатические и метеорологические условия района размещения отходов, рельеф местности) составляющие. Также, учитывая относительную близость объектов размещения отходов к населенным пунктам, важным аспектом пожарной опасности полигонов ТКО является оценка риска здоровью населения от негативного воздействия загрязняющих веществ, выделяющихся при горении отходов.

Стабильность частоты пожаров на полигонах ТКО, многокомпонентный состав и многофакторность пожарной опасности таких объектов требуют глубокой и комплексной проработки вопросов формирования системы мониторинга пожарной опасности.

Целями исследования являлись анализ геоэкологических и медико-экологических аспектов пожарной опасности полигона ТКО в Воронежской области и разработка на его основе комплексной схемы мониторинга таких объектов.

Основные задачи включают:

- анализ экологических аспектов горения отходов на полигонах ТКО и медико-экологической опасности продуктов горения;
- моделирование процессов рассеивания загрязняющих веществ от полигона ТКО в Воронежской области в период их максимального залпового выброса в условиях пожара;
- разработку схемы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО с учетом геоэкологических и медико-экологических аспектов.

Материал и методы исследования

Объектом исследования является полигон ТКО, расположенный в Новоусманском районе Воронежской области.

Размещение отходов на объекте осуществляется с 2006 г. Возгорание отходов происходит, как правило, в теплый период года с положительными среднемесячными температурами, а наиболее пожароопасный период установлен с середины апреля до конца сентября [5, 6, 7].

С учетом многокомпонентности отходов, сложности процессов их преобразования, а также ограниченного объема информации по экологическому состоянию объектов их размещения оценка их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения проводилась на основе расчетов и моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ от объекта размещения отходов в период их максимального залпового выброса в условиях пожара.

Анализ масштабов задымления при пожаре на объекте проводился для реальной ситуации с возгоранием отходов в 2014 г. [8], а также в условиях моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ при возгорании отходов, накопившихся на полигоне к 2021 г. Рассеивание токсичных веществ в атмосфере определяется режимом ветра, температурой, влажностью, временем года, атмосферными осадками и явлениями. Расчет массы загрязняющих веществ произведен согласно Временным рекомендациям по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха [9]. Параметры, принятые для расчетов и моделирования: масса сгоревших ТКО – 10% от всей массы размещенных отходов [10], ширина зоны горения – 110 м; средняя скорость ветра за расчетный период – 2 м/с, степень устойчивости приземного слоя атмосферы: 2014 г. – инверсия, 2021 г. – конвекция.

Расчет зон загрязнения производился с учетом метеорологических условий расчетного периода согласно методическим указаниям по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного характера [11].

Моделирование процессов рассеивания загрязняющих веществ для ситуации с возгоранием отходов в 2021 г. произведено на основе усредненных метеорологических параметров пожароопасного периода с учетом направления перемещения воздушных масс над объектом во время пожара [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Основной причиной возгораний отходов и распространения пожаров является биогаз с высоким содержанием метана, формирующийся в толще отходов и выделяющийся в воздушную среду [12]. Накопление метана в приповерхностных слоях полигона приводит к самовозгоранию, чему способствуют высокая температура воздуха летом (до 38–45°C), неосторожное обращение с огнем, умышленный поджог свалок. Пожароопасная ситуация осложняется в связи с переполненностью полигонов и скоплением большого количества свалочного газа метана [13].

Эмиссии газообразных загрязняющих веществ происходят на протяжении всего периода эксплуатации полигонов. Образующийся при трансформации отходов биогаз включает различные компоненты [14]. Состав газовых выбросов полигона ТКО значительно усложняется в случае пожаров [15].

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при горении отходов, в 2 раза больше, чем выделяющихся с биогазом в период эксплуатации полигона.

Экологические аспекты горения отходов на полигонах ТКО включают две составляющие:

- возникновение процесса горения обусловлено климатическими условиями (режимом температуры и осадков), составом и количеством отходов, количеством и временем выделения биогаза из тела полигона;
- факторами воздействия процесса горения отходов на окружающую среду являются продукты горения различных видов отходов, влияющие на состав и состояние атмосферы и оказывающие токсичное воздействие на население.

Геоэкологическая опасность продуктов горения определяется:

- снижением прозрачности атмосферы;

- тепловым загрязнением атмосферы;
- выбросом токсичных для живых организмов веществ;
- усилением парникового эффекта.

Снижение прозрачности атмосферы обусловлено выбросом сажи и твердых частиц. Исследованиями М.А. Хаджмурадова и иных [16] установлено, что в зонах тления и горения температура на поверхности почвы составляла 33–37°C (при температуре окружающего воздуха 0°C), возрастая вглубь почвы до 85°C, что связано с протеканием экзотермических химических реакций и микробиологической активностью. Парниковый эффект обусловлен высокими концентрациями метана и диоксида углерода, составляющих основную массу биогаза. При горении отходов выбросы диоксида углерода возрастают на порядок.

Также образующиеся при горении отходов токсичные химические соединения являются потенциально опасными для здоровья персонала объекта и жителей близлежащих населенных территорий [17].

Результаты расчета массы загрязняющих веществ и параметров зоны их распространения приведены в таблицах 1, 2.

Проведенные расчеты показали, что масса сажи и твердых загрязняющих веществ в выбросах при пожаре возрастает пропорционально количеству отходов на объекте. Таким образом, фактор, обуславливающий прозрачность атмосферы, имеет тенденцию к усилению воздействия по мере накопления отходов на полигоне, т.е. его опасность усиливается с возрастом объекта.

На основе проведенных расчетов составлены: карта рассеивания токсичных веществ при залповом выбросе во время пожара на исследуемом полигоне ТКО в 2014 г. (рис. 1), карта возможного загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, окислами азота, окисью углерода при моделировании ситуации с возгоранием отходов на Новоусманском полигоне ТКО в расчетный период 2021 г. (рис. 2).

Таблица 1

Расчетные параметры выбросов газообразных загрязняющих веществ
при горении отходов на исследуемом полигоне ТКО

Загрязняющее вещество	Выброс загрязняющих веществ при пожаре, т		Глубина пороговой зоны распространения, м		Ширина пороговой зоны распространения, м	
	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.
Сернистый ангидрид	17,61	165,01	2850	7 070	2 390	5 766
Окислы азота	29,35	2751,65	900	10 127	814	8 212
Оксись углерода	146,75	1375,83	4000	10 127	3 376	8 212

Таблица 2

Расчет массы сажи и твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу
при возгорании отходов на исследуемом объекте

Параметры	Период проведения исследований	
	2014 г.	2021 г.
Общая масса отходов, т [18]	58 700	550 330
твердые частицы	7,3375	68,7913
сажа	3,66875	34,3956



Рис. 1. Зона задымления при пожаре на полигоне ТКО в 2014 г.

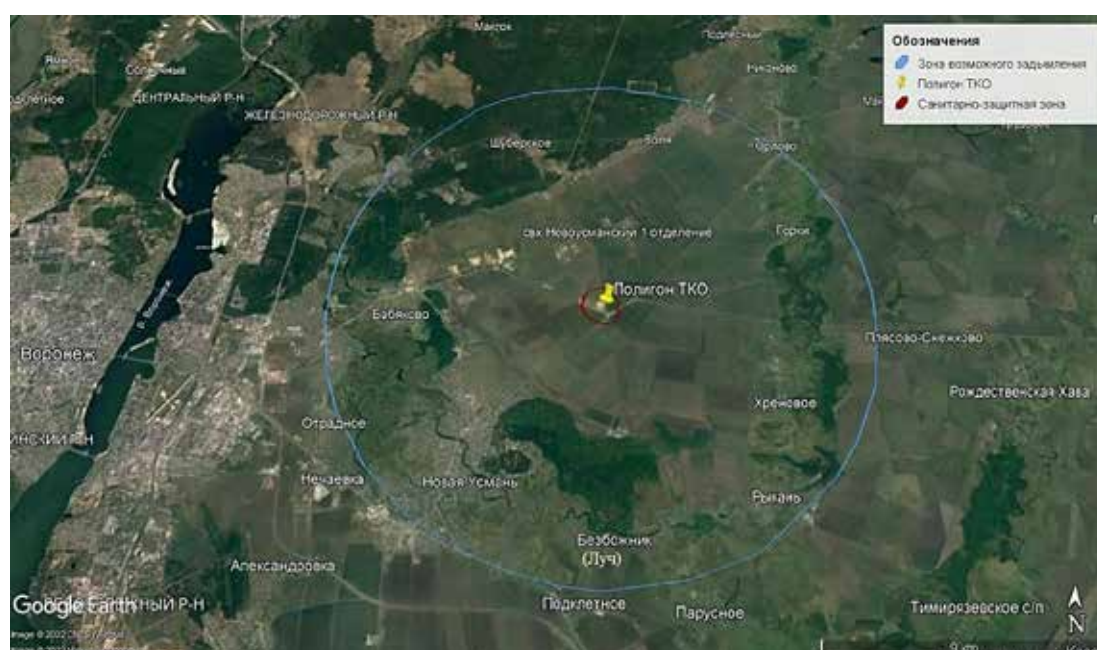


Рис. 2. Зона возможного распространения загрязняющих веществ
при горении отходов на объекте исследования (моделирование, 2021 г.)

Очевидно, что загрязняющие вещества, выделяющиеся при пожаре на полигоне, распространяются далеко за пределы его санитарно-защитной зоны. В зоне потенциального риска вреда здоровью населения может оказаться значительное количество населенных пунктов и инфраструктур.

Предварительная скрининговая оценка потенциального риска причинения вреда здоровью населения близлежащих территорий химическими соединениями при горении отходов на полигоне, сделанная на основе проведенных расчетов

и построения зон возможного токсического задымления, показала, что максимальная вероятность попадания населенного пункта в зону задымления в долях единицы – $1,52 \cdot 10^{-1}$ – определена для трех населенных пунктов: с. Орлово, пос. Воля с. Горки, минимальная – $0,98 \cdot 10^{-1}$ – для двух населенных пунктов: с. Новая Усмань, пос. Отрадное [17].

Проведенные исследования позволили разработать схему комплексного мониторинга пожарной опасности объектов размещения отходов (табл. 3).

Таблица 3

Схема мониторинга пожарной опасности объекта размещения отходов

Разделы (этапы) мониторинга	Контролируемые параметры	Нормативно-методическое обеспечение мониторинга	Технические возможности для проведения мониторинга
Превентивный мониторинг	Температура атмосферного воздуха	Требования к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением, утв. приказом Минприроды России от 30.07 2020 г. № 524	Измерения температуры атмосферного воздуха на стационарных и передвижных постах
	Объем и скорость образования биогаза в массе отходов	Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов [14]	Газовая съемка, использование поточных камер [14] Применение искусственных нейронных сетей [19]
	Температурный режим поверхности отходов	–	Термометрические исследования в скважинах; Замеры температуры отходов в теле полигона с помощью почвенных термометров; Спектрозональная аэрофотосъемка [3] Тепловизионная съемка с беспилотных летательных аппаратов [20]
	Морфологический состав поступающих на полигон отходов	ПНД Ф 16.3.55-08 «Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава гравиметрическим методом»	Лабораторный контроль отобранных проб отходов
	Влажность отходов	ПНД Ф 16.1.2.2.3.3.58-08 Методика выполнения измерений массовой доли влаги в твердых и жидких отходах производства и потребления, почвах, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом	
	Плотность отходов	Методика расчета плотности отходов, размещенных на объекте их размещения (по данным о морфологическом составе отходов) составлена ФГБУ «ГосНИИЭНП»	Расчет по данным морфологического состава отходов

Окончание табл.

Разделы (этапы) мониторинга	Контролируемые параметры	Нормативно-методическое обеспечение мониторинга	Технические возможности для проведения мониторинга
Мониторинг процесса горения отходов, прогнозирования задымления	Площадь горения отходов	–	Съемка с беспилотных летательных аппаратов
	Направление и скорость ветра	Требования к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением, утв. приказом Минприроды России от 30.07.2020 г. № 524	Измерения скорости и направления ветра на стационарных и передвижных постах
	Площадь и направление зоны задымления	Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха, утв. Минприроды России 02.11.1992 г.	Прогнозные расчеты, съемка с беспилотных летательных аппаратов
Мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара	Концентрации загрязняющих веществ в воздухе	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2	Лабораторный контроль и проведение инструментальных измерений
	Показатели здоровья населения и состояния среды обитания человека	Методика проведения социально-гигиенического мониторинга Методические рекомендации № 2001/83, утв. Первым заместителем Министра здравоохранения РФ Г.Г. Онищенко 25.05.2001 г.	Эпидемиологический контроль и надзор за инфекционными и неинфекционными заболеваниями

Заключение

К опасным факторам горения отходов на полигонах ТКО относятся геоэкологические – загрязнение атмосферы, влияющее на ее состав и состояние, а также медико-экологические – риск повышения заболеваемости населения прилегающих территорий, обусловленный токсическим задымлением.

Произведенные расчет и моделирование токсического задымления при пожаре на полигоне ТКО в Воронежской области с учетом геоэкологических условий местности позволили определить направление и размеры зон загрязнения воздушной среды продуктами горения, а также произвести предварительную оценку количества и вероятности попадания населенных пунктов в зону задымления.

Проведенные исследования показали необходимость комплексного подхода к формированию системы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО. Разработанная авторами схема такого мониторинга

включает три основных раздела (этапа): превентивный мониторинг пожарной опасности, мониторинг процесса горения отходов с прогнозированием зоны задымления, мониторинг загрязнения воздушной среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара. Для каждого раздела представлены: перечень контролируемых параметров, нормативно-методическое обеспечение, технические возможности осуществления мониторинга.

Список литературы

1. Ашихмина Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2014. 136 с.
2. Ашихмина, Т.В., Каверина Н.В., Куприенко П.С. Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 3. С. 343-358.
3. Зомарев А. М. Мониторинг атмосферного воздуха в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов // Здоровье населения и среда обитания. ЗНиСО. 2007. № 2(167). С. 48-53.

4. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году // Статист. сб. Балашиха. П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2022. 114 с.
5. Постановление Правительства Воронежской области от 07.04.2021 № 166 «Об установлении особого противопожарного режима на территории Воронежской области». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3600202104070001?index=3&rangeSize=1> (дата обращения: 27.09.2022).
6. Постановление Правительства Воронежской области от 29.09.2021 № 555 «Об отмене на территории Воронежской области особого противопожарного режима». [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/content/postanovlenie-pravitelstva-voronezhskoy-oblasti-ot-29092021-n-555> (дата обращения: 27.09.2022).
7. Официальный сайт Росгидромет. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorf.ru/> (дата обращения: 04.09.2022).
8. Экономические деловые новости регионов Черноземья. [Электронный ресурс]. URL: https://abireg.ru/n_40279.html (дата обращения: 11.09.2022).
9. Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха, утв. Министерством экологии и природных ресурсов Российской Федерации 2.11.1992 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15444> (дата обращения: 05.09.2022).
10. Итышев, И. К., Потапова С.О. О проблемах пожарной безопасности твердых бытовых отходов и мест их хранения // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. С. 292-300.
11. Храмцов Б.А., Болотских Т.Г., Юрьев А.М. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера. Методические указания. // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. С. 25-27.
12. Балакин В. А., Труфанова Е.П., Старых Ю.Ю. Газогеохимические исследования для целей рекультивации полигонов // Твердые бытовые отходы. 2017. № 9 (135). С. 22-25.
13. Шарова О.А., Бармин А.Н. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Научные ведомости Белгородского государственного университета Серия Естественные науки. 2013. № 3 (146). Выпуск 22. С.166-169.
14. Абрамов Н.Ф., Санников Э.С., Русаков Н.В., Милев М.Б., Халевин Р.Г., Лифанов А.В., Буренин Н.С., Турбин А.С. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов // Научно-производственное предприятие (НПП) «ЭКОПРОМ»; Академия коммунального хозяйства (АКХ) им. К.Д. Памфилова; НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина; Научно-исследовательский институт (НИИ) АТМОС-ФЕРА; НПП «ЛОГУС». М. 2004. 21 с.
15. Международные карты химической безопасности (ICSC) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listCards3> (дата обращения: 08.09.2022).
16. Хаджмурадов М.А., Карнацевич Л.В., Колободов В.Г. Проблема ограничения эмиссии метана в атмосферу из свалок бытовых отходов. [Электронный ресурс]. URL: <https://waste.ua/cooperation/2004/thesis/chashmuradov.html> (дата обращения: 10.09.2022).
17. Жидова М. В., Ашихмина Т. В. Моделирование зоны токсического задымления при пожаре на полигоне ТКО для оценки потенциального риска вреда здоровью населения // Сборник трудов VII межвузовской научно-практической конференции «Гигиенические, эпидемиологические и экологические аспекты профилактики заболеваемости на региональном уровне», посвященной 100-летию основания санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации (г. Воронеж, 25 марта 2022 г.). Воронеж: Издательство ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России. 2022. С. 152-155.
18. Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами на территории Воронежской области: Приказ Департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 26 августа 2016 года № 356 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/453149000> (дата обращения: 10.09.2022).
19. Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Михайлов И.А., Холоднов В.А. Система автоматизированного прогнозирования эмиссии биогаза и возникновения пожароопасной ситуации на полигонах твердых коммунальных отходов // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 г.), ч. 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/id21-368.pdf> (дата обращения: 10.09.2022).
20. Дударева Д.А., Батракова Г.М. Тепловая съемка территорий полигонов захоронения отходов // Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XIII международной научно-практической конференции (г. Екатеринбург, 31 мая 2019 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 241-245.

УДК 911.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЛЕОЛАНДШАФТОВ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ЗАБАЙКАЛЬСКИХ ДИНОЗАВРОВ

¹Биксалеев А.А., ¹Василенко Е.А., ²Новиков А.Н.

¹ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения

Российской академии наук, Чита, e-mail: zabaikal_coleoptera@mail.ru;

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

Мезозойская эра является наиболее известной и вызывает большой интерес не только среди научных кругов, но и среди населения любых возрастов. В последнее время тема «динозавристики» наиболее популярна среди школьников и студентов. Этот интерес поддерживается как научно-популярными фильмами, так и компьютерными играми. Одним из значимых событий в палеонтологии стало открытие оперенного птицеподобного динозавра кулиндрадромея забайкальского (*Kulindadromeus zabaikalicus*) в Чернышевском районе Забайкальского края. Вместе с остатками динозавров была найдена сопутствующая флора и фауна лесных ландшафтов и водоемов того времени. Все это позволило выделить четыре типа ландшафтов: кора выветривания гранитного фундамента; временные селевые потоки конусов выноса; временное озеро в верховной части конусов выноса; пляжные участки. Данная тема заинтересовала многих, однако ввиду удаленности территории с остатками динозавров от крупных населенных пунктов нет возможности ее наглядной демонстрации всем интересующимся. Авторы предлагают метод моделирования юрского ландшафта в виде макета, как один из наиболее подходящих вариантов обучения, для представления картины происходящего на территории Забайкалья в юрский период. Авторы также рассматривают современные методы и технологии моделирования, практическую значимость данной темы для науки и общества.

Ключевые слова: палеонтология, геоэкология, моделирование ландшафтов, кулиндрадромей, макетирование, юрский период, визуальные методы обучения

MODELING OF PALEOLANDSCAPES OF THE LOCALITY OF UNIQUE TRANSBAIKALIAN DINOSAURS

¹Biksaleev A.A., ¹Vasilenko E.A., ²Novikov A.N.

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

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

The Mesozoic era is the most famous and is of great interest not only among the scientific community, but also among the population of all ages. Recently, the theme of "dinosauristics" is most popular among schoolchildren and students. This interest is supported by both popular science films and computer games. One of the significant events in paleontology was the discovery of the feathered ornithomimid dinosaur *Kulindadromeus zabaikalicus* in the Chernyshevsky District, Transbaikalian Territory. Together with the remains of dinosaurs, the accompanying flora and fauna of forest landscapes and reservoirs of that time was found. All this made it possible to distinguish four types of landscapes, such as: the weathering crust of the granite basement; temporary mudflows from alluvial fans; temporary lake in the fan part of alluvial fans; beach areas. This topic interested many people, however, due to the remoteness of the territory with the remains of dinosaurs from large settlements, it does not provide an opportunity for a visual demonstration to those interested. The authors propose a method of modeling the Jurassic landscape in the form of a layout, as one of the most suitable training options for presenting a picture of what is happening on the territory of Transbaikalia in the Jurassic period. The authors consider modern modeling methods and technologies, the practical significance of this topic for science and society.

Keywords: paleontology, geoecology, landscape modeling, *Kulindadromeus*, layout, Jurassic, visual teaching methods

Мезозойская эра на протяжении многих десятков лет является самой популярной геологической эпохой среди всех слоев населения. Наибольший интерес вызывают динозавры – гигантские рептилии, царившие на Земле 66–251 млн лет назад.

Интерес к области «динозавристики» поддерживают художественные фильмы, развлекательные центры по всей планете, компьютерные игры, которые по своей сути являются формой моделирования древнего мира. Всемирно известный фильм «Парк юрского периода» начиная с 1993 г пере-

снимался около шести раз. Каждый раз демонстрация древнего мира в фильмах менялась по мере получения новых открытий от палеонтологов.

Все эти виртуальные произведения, так или иначе, требуют от их создателей моделирования. При съемках фильмов создаются ростовые модели динозавров,двигающиеся на механизмах, при помощи виртуального 3D моделирования воссоздается облик мезозойского леса и т.д.

Именно моделирование, рассчитанное на визуальные эффекты восприятия, вы-

зывает интерес у широких слоев общест-венности и позволяет популяризировать палеонтологические исследования. В нашей стране в ряде городов работают раз-влекательные парки «Динозаврия», однако используемые в них модели служат декора-циями и не всегда сопровождаются научной справкой для детей в виде табличек.

Большую волну интереса в мире вызва-ло открытие 2010 г. остатков самого древ-него на планете оперенного птицеподобно-го динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus* [1, 2] и сопутствующих палеоэкосистем в пади Кулинда (Чернышевский район, За-байкальский край), сделанное экспедицией под руководством докт. геол.-минерал. наук Софии Михайловны Синицы [3].

Это было одним из самых значимых от-крытий в области палеонтологии, которое вызвало отклик в обществе на всех уровнях. Известный научный журнал «Science» при-судил данному открытию второе по значи-мости место в мире среди всех в 2014 г. [1]. На герб Чернышевского района Забайкаль-ского края было помещено изображение ку-линдадромея (рис. 1). В 2020 г. территория пади Кулинда была официально признана особо охраняемой природной территорией регионального значения площадью 86,72 га (учебно-научный стационар «Кулинда») [4].



Рис. 1. Герб Чернышевского района
с изображением кулиндадромея
(фото Е.А. Василенко)

Научное творчество С.М. Синицы по-рождает параллельные направления ис-следований в Забайкальском крае, давая ученым из других областей вектор для приложения усилий в динозавристике. Эти ученые не изучают собственно динозавров, они находятся за рамками палеонтологии – в других областях науки: палеогеографии (изучение палеоландшафтов пади Кулинда); экономической географии (изучение вопро-

сов территориальной организации туристи-ческих потоков в падь Кулинда), геральдике (разработка герба Чернышевского района). Представленное исследование по моде-лированию палеоландшафтов относится к одному из таких параллельных (сопут-ствующих). Безусловно, научное творче-ство С.М. Синицы – это ядро Забайкаль-ской динозавристики, которое вдохновляет все смежные исследования.

Территория пади Кулинда к настоящему времени является официально признанным научно-полевым стационаром и представ-ляет интерес не только для научной, но и на-учно-просветительской работы. Однако, на-ходясь на достаточно удаленном расстоянии от крупных населенных пунктов и являясь труднодоступным местом, падь Кулинда не может регулярно посещаться визитерами. Возникает резонный вопрос, как показать происходящие события на данной террито-рии как можно большему кругу заинтере-сованных лиц. Ведь визуальное наблюдение является наиболее эффективным и запо-минающимся, особенно среди школьников и студентов. Одним из наиболее подходящих для этого методов можно назвать объемное моделирование, или макетирование.

Материалы и методы исследования

Главным в представленной статье явля-ется метод моделирования (макетирования).

Создание уменьшенных копий каких-либо событий (диорам, макетов) пользуется большой популярностью в разных направ-лениях искусства и науки. Наиболее попу-лярен данный вид моделирования в архи-тектуре: изготавливаются макеты будущих зданий, жилых кварталов и т.д. [5].

Большим спросом данный вид моделиро-вания пользуется среди историков и любите-лей военной тематики: создаются уменьшен-ные модели техники или реконструируются какие-либо военные события [6].

Также макетирование находит отклик и в естественнонаучной среде. Такие диора-мы в уменьшенном масштабе очень хорошо подходят для того, чтобы показать разноо-бразие природных сообществ или каких-ли-бо процессов, происходящих на планете [7]. Существует даже музей, отображающий нашу страну в уменьшенном виде (Гранд Макет Россия, г. Санкт-Петербург). В этом музее собраны все передовые технологии, которые могут применяться при создании макетов. Многие элементы музея не просто статичны, они издают звуки, имитирующие реальные, некоторые из них подвижны (ав-

томобили, поезда, люди, животные и т.д.), могут управляться при помощи визитеров, что положительно влияет на человеческое восприятие и желание узнавать новое [8].

В макетостроении как применяются наиболее распространенные технологии и материалы для отображения элементов макета, например, использование пенопласта, пеноплекса, штукатурки и др. [9], так и внедряются более современные методы построения композиций, одной из таких является 3D-моделирование и печать при помощи разнообразных 3D-принтеров. Наиболее распространенные среди доступных моделей – филиментные и фотополимерные принтеры [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Экспедиционные исследования на местонахождении динозавров Кулинда, которое находится в границах одноименного учебно-научного стационара, ведутся с 2010 г. Среди найденных остатков *K. Zabaikalicus* преобладают позвонки (шейные, туловищные, хвостовые) и кости конечностей [11]. Однако наибольший интерес вызывают отпечатки перьеобразных структур, кожных покровов и чешуйчатых хвостов – благодаря которым стало возможным описание *K. zabaikalicus*, самого древнего ныне известного оперенного птицеподобного динозавра [1, 2].

Именно палеоландшафты того времени позволили сохранить до наших дней перьеобразные структуры, кожные покровы и отпечатки чешуйчатых хвостов.

На местонахождении выделяют четыре типа ландшафтов [12]:

- 1) кора выветривания гранитного фундамента;
- 2) временные селевые потоки конусов выноса;
- 3) временное озеро в вершинной части конусов выноса;
- 4) пляжные участки.

Предположительно кулиндадромей жили в окрестностях древнего Кулиндинского озера, умирали, после их трупы временными селевыми потоками «растаскивало» в различные прибрежные части озера, где их остатки «консервировались» пепловым материалом из работающего рядом вулкана [13].

Кроме отпечатков *K. Zabaikalicus* в местонахождении найдены остатки мезозойской флоры, среди которых: водоросли *Al-gites*, печеночные мхи *Hepaticites*, стебли

хвощей *Equisetites*, папоротники *Coniopteris*, *Pterophillum*, чекановские *Czekanowskia*. Также обнаружена сопутствующая фауна: щитни *Prolepidurus*, домики ручейников *Folindusia* и *Terrindusia*, следы илоедов *Falsania*, надкрылья жуков и единственный зуб хищного динозавра [11].

В настоящее время продолжается работа по уточнению палеоландшафтов пади Кулинда с использованием геохимических методов, которые позволяют через химический и минеральный состав горных пород реконструировать древние геологические процессы, а следовательно – палеоландшафт [13, 14]. В 2022 г. состоялась очередная экспедиция, которой во второй раз руководил один из авторов данной статьи (Е.А. Василенко). Участвуя в полевых исследованиях с 2016 г., Е.А. Василенко изучает геохимическую специализацию отложений местонахождения динозавров Кулинда, все глубже погружаясь в нюансы реконструкции палеоландшафтов.

К настоящему времени существует несколько плоскостных реконструкций внешнего облика ландшафта Оловской впадины (А.А. Атучин, рис. 2), а также видеореконструкция, которая была показана в документальном фильме «Ancient Earth» 2017 (режиссер Рикардо Андриаде, США). Однако известных объемных реконструкций по данной территории не изготавливалось.



Рис. 2. Облик кулиндадромея и мезозойского ландшафта (реконструкция палеохудожника А.А. Атучина)

В рамках нашего интереса было макетное моделирование природных условий позднемюрского периода в пади Кулинда Забайкальского края.

Макет был изготовлен А.А. Биксальевым к юбилейной конференции, посвященной 40-летию Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук

(ИПРЭК СО РАН), при научном консультировании Е.А. Василенко.

Описанное в первой части статьи разнообразие ландшафтов не представляется возможным в полной мере воспроизвести на макете ввиду габаритов изделия при заданных условиях. Однако нами было решено сделать уменьшенную копию (собирательный образ) разнообразия юрских ландшафтов, где бы в той или иной мере отражались основные типы земной поверхности, представители флоры и фауны, а также процессы захоронения ископаемых остатков.

Итоговые размеры макета составили 80*40*32 см. В качестве основы земной поверхности был использован пеноплекс. Данный материал зарекомендовал себя в макетостроении и широко применяется специалистами в данном направлении при изготовлении сложных форм рельефа. Масштаб макета был выдержан в соотношении 1:100 с элементами перспективы (рис. 3). Передняя часть отображает двух кулиндадромеев, выполненных в масштабе 1:10, на скальном уступе, смотрящих на окрестности долины. Модель одного из динозавров (кулиндадромей) выполнена М.Ю. Кулешовым, а модель второго (аллозавр сибирский) выполнена А.А. Биксалеевым. Второй план макета представлен более мелким масштабом и отражает долину с редколесьем из беннеттитовых, временным озером и дымящимся вулканом в качестве центрального ядра композиции. Отметим, что идея создания макета палеоландшафтов появилась у авторов после обретения ИПРЭК СО РАН, как сувенира, фигурки динозавра М.Ю. Кулешова.



Рис. 3. Общий вид экспозиции
(фото А.А. Биксалева)

Задняя плоскостная часть стенки макета изображает перспективу на долину с силуэтами динозавров и древовидных растений (автор А.В. Днепровская).

Для изображения рельефа мы изготовили четверть части вулкана, который является центральной фигурой в ландшафте, идущие от него конусы выноса; скальные уступы и небольшое временное озеро. В качестве вулканического облака поднимающегося из жерла, мы использовали синтепонавое волокно, затонированное краской для придания реалистичности, а также красные светодиоды для подсветки лавовых потоков, стекающих к подножию и движущихся по конусам выноса.

Пеноплексовая основа покрывалась строительной шпаклевкой с использованием водно-клеевой (ПВА) смеси для придания большей натуралистичности и большей плавности деталям рельефа. Затем при помощи художественного аэрографа совершалась покраска.

Для отображения водных обитателей были изготовлены щитки из полимерной глины. Водная растительность имитировалась из стабилизированных растений и макетных травяных пучков фирмы «Noch» (Германия).

Для изображения процесса захоронения костных остатков динозавров были использованы 3D модели, отсканированные с берцовых костей динозавров и в последующем распечатанные на фотополимерном SLA принтере фирмы «Anycubic Photon». Уменьшенные копии костей были помещены как на дно озера, так и в углубления конусов выноса.

Далее, для придания эффекта водной толщи, была использована ювелирная эпоксидная смола «Ерохітахх» (Россия). Прибрежные мхи были сделаны из макетной флок-травы разных оттенков. В качестве изображения папоротников был использован специальный макетный набор пластиковых папоротников «Bush» (Германия).

Для имитации древовидных растений, символизирующих чекановские, были взяты макетные деревья фирмы «Morrison» (Россия).

Поскольку в настоящее время точно не известно, какому именно хищнику принадлежали остатки, найденные в Оловской впадине, мы предположили, что это мог быть аллозавр сибирский, ранее обнаруженный в Забайкальском крае. Чтобы показать присутствие хищных рептилий на территории, при помощи фотополимерного SLA принтера была изготовлена фигурка аллозавра.

Открытие экспозиции, посвященной открытию динозавра кулиндадромея забайкальский, состоялось 30 августа 2021 г. в рамках юбилейной конференции ИПРЭК

СО РАН. Выполненная модель вызвала большой интерес у участников конференции и гостей.

В настоящее время модель, как и вся экспозиция, используется в просветительских целях при посещении института группами школьников, студентов и гостей. Руководители школьных музеев Читы интересуются вопросом копирования макета для школ. Опыт по изготовлению данного макета, демонстрирующего мезозойский ландшафт, был применен А.А. Биксалеевым для создания аналогичного макета для Нерчинского краеведческого музея (рис. 4).



Рис. 4. Макет, изготовленный для Нерчинского краеведческого музея (автор А.А. Биксалеев, фото А.Ю. Литвинцева)

Заключение

Активно развивающиеся технологии виртуальной реальности не вытесняют физические модели. Более того, физические модели, дополняемые VR-технологиями в играх и фильмах, благодаря новым материалам создания моделей, выходят на качественно новый уровень.

Музеефикация кулиндатромея забайкальского (*Kulindadromeus zabaikalicus*) – это необходимый элемент популяризации научных исследований мирового уровня, который имеет место в Забайкальском крае.

Скорее всего, в будущем макет найдет свое применение не только в сферах популяризации и краеведческого образования, но и в научной сфере. Например, в качестве демонстрационного материала на защите кандидатских диссертаций.

Список литературы

1. Godefroit P.A., Sinitsa S.M., Dhauailly D., Bolotsky Yu. L., Sizov A., McNamara M., Benton M., Spagna P. Jurassic ornithomimid dinosaur from Siberia with both feathers and scales. *Science*. 2014. Vol. 345. P. 451–455.
2. Cincotta A., Godefroit P., Yans J., Pestchevitskaya E.B., Sinitsa S.M., Reshetova S.A., Markevich V.S., Debaille V., Mashchuk I.M., Frolov A.O., Gerdes A. The rise of feathered dinosaurs: *kulindadromeus zabaikalicus*, the oldest dinosaur with 'feather-like' structures. *Peer J*. 2019. Т. 2019. № 2. С. 6239.
3. Синица С.М. Синица Софья Михайловна – член редакционного совета журнала «Вестник Забайкальского государственного университета» // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26. № 3. С. 121.
4. Помазкова Н.В. Создание учебно-научного стационара «Кулинда» и перспективы вовлечения региональной ООПТ в социально-экономическое развитие района // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. № 2. С. 290–299.
5. Дубов И.А., Назаров К.Р., Мурадов И.С. Комплексный подход в создании архитектурного макета // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов ТвГТУ: материалы научно-практической конференции, приуроченной ко Дню российской науки, (Тверь, 8–9 февраля 2017 г.). Тверь, 2017.
6. Завалий А. Искусство диорамы. М.: Экспринт, 2004. 56 с.
7. Конькова П.И. Опыт воссоздания облика крымских горных степей в музейных экспозициях на примере Карадагского природного заповедника // Степи Северной Евразии: материалы IX международного симпозиума / Под научной ред. академика РАН А.А. Чибилева. Оренбург: ОГУ, 2021. С. 389–396.
8. Гранд Макет Россия, официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: //grandmaket.ru; (дата обращения: 12.08.2022).
9. Пьянков В.Г. Практические рекомендации по созданию основы объемного макета для студентов творческих специальностей: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции «Дизайн и архитектура: синтез теории и практики». Краснодар: Кубанский государственный университет, 2019. С. 294–298.
10. Варган А.А. Моделирование предметно-пространственной среды средствами дизайна, изобразительного и декоративного искусств. 3D-печать в создании архитектурных макетов // XV Машеровские чтения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2021. С. 242–243.
11. Синица С.М. Типы захоронений остатков динозавров в Оловской впадине Забайкалья // Естественные и технические науки. 2020. № 9 (147). С. 81–90.
12. Синица С.М. Юрские палеоэкосистемы местонахождения птицеобразных динозавров Кулинда (Оловская впадина, Забайкалье) // Вестник ЗабГУ. 2018.
13. Василенко Е.А., Юргенсон Г.А., Синица С.М., Решетова С.А. Первые данные о содержании тория и урана в отложениях, вмещающих остатки динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus* / Аспирант. Приложение к журналу «Вестник Забайкальского государственного университета». 2018. Т. 12. № 2. С. 8–14.
14. Юргенсон Г.А., Синица С.М., Решетова С.А. Литолого-петрографические и геохимические особенности отложений укुरейской свиты местонахождения динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus* Кулинда как критерии состояния палеоландшафта // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий» и XIII Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», посвященных 35-летию ИПРЭК СО РАН, 2016. С. 274–278.

УДК 504.455:504.4.054:504.064.36

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЗЕРА КАРА-КЕЛЬ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденов У.Б.

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

Целью данного исследования является комплексная эколого-географическая оценка озера Кара-Кель, расположенного в охранной зоне Тебердинского национального парка. При изучении озера Кара-Кель получен обширный материал стационарными и экспедиционными методами. Для гидрохимической оценки поверхностных вод озера использовались комплексные показатели качества воды: ИЗВ и УКИЗВ. Трофическая оценка водной экосистемы была проведена с помощью расчета ITS. В результате обследования озера и проведенного гидрохимического анализа воды дана комплексная оценка озерного ландшафта. Озеро имеет небольшие размеры, площадь зеркала составляет 2,7 га. Рельеф дна ровный, падение глубины идет равномерно, максимальная глубина достигает 9,0 м. Среднегодовое значение индекса загрязнения воды составило 0,91 и характеризовало поверхностную воду озера «чистая» – 2-го класса качества. В 2021 г. качество воды в озере характеризовалось 2-м классом – «слабо загрязненная», УКИЗВ равен 1,7. Критические показатели загрязненности воды не обнаружены. Концентрация пяти химических элементов в отобранной пробе превышала предельно допустимые значения. В озерной воде наблюдались умеренное количество растворенных питательных веществ, высокое содержание растворенного кислорода, слабая минерализация. За последние девять лет значительно улучшилось качество поверхностной воды озера. Концентрации алюминия, марганца, меди и нефтепродуктов в 2021 г. в озерной воде не превышали ПДК; а концентрация общих фенолов уменьшилась в 4,7 раза. Развитие туризма в сочетании с рациональным использованием водных объектов и проведением геоэкологического мониторинга – перспективное решение социально-экологических и природоохранных задач устойчивого развития Республики.

Ключевые слова: озеро, гидрохимия, индекс загрязнения водоема, трофическая оценка, геоэкологический мониторинг, рекреация

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF LAKE KARA-KEL OF THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC

Dega N.S., Onischenko V.V., Uzdenov U.B.

Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Karachaevesk, e-mail: dega999@mail.ru

The purpose of this study is a comprehensive ecological and geographical assessment of Lake Kara-Kel, located in the protected zone of the Teberdinsky National Park. When studying Lake Kara-Kel, extensive material was obtained by stationary and expeditionary methods. Complex indicators of water quality were used for hydrochemical assessment of the lake surface waters. Trophic assessment of the aquatic ecosystem was performed using ITS calculation. As a result of the survey of the lake and the hydrochemical analysis of the water, a comprehensive assessment of the lake landscape was given. The lake has a small size, the mirror area is 2.7 hectares. The bottom relief is flat, the depth drop is uniform, the maximum depth reaches 9.0 meters. The average annual value of the water pollution index was 0.91 and characterized the surface water of the lake «clean» 2 quality classes. The specific combinatorial index of water pollution in the reporting year amounted to 1.7 and characterized water as “slightly contaminated” class 2. No critical contamination was observed. Exceeding the MAC was observed for 5 ingredients of the chemical composition. Lake Kara-Kel is characterized by a moderate amount of nutrients dissolved in water, a high content of dissolved oxygen, and weak mineralization. Over the past nine years, the quality of the surface water of the lake has significantly improved. Concentrations of aluminum, manganese, copper and petroleum products in lake water did not exceed the MAC; and the concentration of total phenols decreased by 4.7 times. The development of tourism in combination with the rational use of water bodies and the conduct of geoecological monitoring is a promising solution to the socio-ecological and environmental tasks of sustainable mining development of the republic.

Keywords: lake, hydrochemistry, reservoir pollution index, trophic assessment, geoecological monitoring, recreation

В бурно развивающейся туристско-рекреационной деятельности на территории Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) горные озера становятся более популярными и востребованными. Озерные ландшафты подвергаются существенным антропогенным, хозяйственным и рекреационным нагрузкам и требуют организации комплексного мониторинга, направленного на сохранение уникальности и востребованности этих объектов [1, 2, 3].

В центре города Теберды, среди хвойно-лиственного парка на высоте 1300 м над уровнем моря расположено моренное озеро Кара-Кель. Небольшое живописное озеро лежит в пределах охранной зоны Тебердинского национального парка и является легкодоступным и массово посещаемым рекреационным объектом.

Научно-исследовательская лаборатория геоэкологического мониторинга Карачаево-Черкесского государственного универси-

тета имени У.Д. Алиева с 2012 г. проводит исследования эколого-географического состояния озерного ландшафта.

Цель исследования – дать комплексную эколого-географическую оценку озера Кара-Кель, расположенного в охранной зоне Тебердинского национального парка.

Материалы и методы исследования

В рамках экспедиционных исследований на озере Кара-Кель были проведены следующие работы: тахеометрическая и навигационная съемка береговой линии; глубинная съемка (4 профиля); химический анализ средней пробы поверхностной воды по 23 показателям.

Гидрохимический мониторинг поверхностных вод озера в 2021 г. осуществлялся на базе НИЛ геоэкологического мониторинга. Гидрохимическая оценка качества озерной воды включала расчет индекс загрязнения воды и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды.

С 1986 г. Госкомгидрометом установлен индекс загрязнения воды (ИЗВ), расчет этого коэффициента дает комплексную оценку качества воды и является одним из наиболее распространенных комплексных показателей качества воды поверхностных вод. Для расчета ИЗВ мы использовали два обязательных компонента: биологическое потребление кислорода БПК₅, содержание растворенного кислорода – и четыре компонента, имеющих наибольшие значения превышения ПДК: общее железо, общие фенолы, аммонийный азот, соединения марганца. В зависимости от величины ИЗВ водные объекты подразделяют на семь классов качества воды [4].

В рамках метода комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям в пробе определялось 16 загрязняющих веществ (табл. 2). Наиболее информативными комплексными оценками, получаемыми по данному методу, являются удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) и класс качества воды [5]. Расчет комбинаторного индекса загрязненности воды проводят в 2 этапа: сначала по каждому изучаемому ингредиенту и показателю загрязненности воды, затем рассматривается одновременно весь комплекс загрязняющих веществ и выводится результирующая оценка. Значение УКИЗВ может варьировать от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды. Классификация воды позволяет разделять

поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности [6].

Индекс трофического состояния ITS является наиболее информативным показателем трофической оценки водных экосистем, позволяет анализировать зависимость процессов эвтрофирования не только от нагрузок биогенами, поступающими от сточных вод и других антропогенных источников, но и от естественных природных факторов. ITS принимает следующие значения: в дистрофных экосистемах < 5,35–6,01; в ультраолиготрофных 6,02–6,67; в олиготрофных 6,68–7,34; в мезотрофных 7,35–8,00; в эвтрофных > 8,01 [7, 8, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

Более 10 000 лет назад в результате деятельности ледника, моренных отложений, интенсивной лавинной деятельности образовалось моренное запрудное озеро Кара-Кель. Природные условия среднегорной зоны, в которой расположено озеро, менее благоприятны для существования озерных водоемов. Природные условия способствуют интенсивному зарастанию озера водной растительностью, повышению общей минерализации и ухудшению качества воды. Реликтовое озеро относится к латеральным морено-запрудным водоемам, к подтипу аккумулятивных горных озер [10]. Форма озера – неправильный овал, площадь водоема более 0,02 км², размеры меняются в зависимости от водного уровня. В июле 2021 г. его длина составила 295 м, ширина – 145 м (рисунок). Оно бессточное, питание осуществляется за счет небольшого ручья, стекающего с хребта Кель-Баши, атмосферных осадков и ключей, бьющих со дна. Берега у озера не крутые.

Дно озера ровное, к северу отмечается сближение изобат. Увеличение глубины довольно равномерно идет к середине озера, и максимальные глубины достигают 9,0–10,0 м в зависимости от уровня воды.

Органолептические свойства поверхностной воды озера находились в пределах нормы. Сумма главных анионов составила 121,9 мг/л. Поверхностная вода озера пресная, суммарное содержание минеральных веществ составило 0,2 г/дм³. Вода в озере относится к классу мягкой воды, так как общая жесткость составила 2,25 ммоль/л эквивалента. Водородный показатель (рН) озерной воды составил 7,5 и характеризует природную воду как нейтральную (нормальная).



Таблица 1

Расчет индексов загрязнения воды озера Кара-Кель в 2021 г.

Дата отбора пробы	Концентрации, мг/дм ³						ИЗВ
	Растворенный кислород	БПК ₅	Общее железо	Общие фенолы	Аммонийный азот	Марганец	
06.05.2021	10,2	1,4	0,03	0,0018	0,10	0,005	0,64
14.07.2021	9,1	2,4	0,30	0,0012	0,11	0,008	1,11
07.10.2021	6,0	0,7	0,20	0,0009	0,70	0,014	1,15
16.12.2021	12,0	1,8	0	0,0015	0,11	0,016	0,74
Ср. значения	9,3	1,6	0,13	0,0014	0,26	0,011	0,91

В 2021 г. на озере Кара-Кель отбирались средние пробы воды ежеквартально в основные гидрологические фазы. Наблюдения за химическим составом природной воды проводили по 16 ингредиентам.

Для всех сезонов года мы рассчитали индекс загрязнения воды [4] (табл. 1).

В течение года качество поверхностной воды 3 класса «умеренно загрязненная» зарегистрировано в летний и осенний периоды. Зимой и весной озерная вода характеризовалась 2-м классом «чистая». Среднегодовое значение ИЗВ составило 0,91 и попадает в градацию «от 0,2 до 1,0». В соответствии с этим поверхностная вода озера Кара-Кель по ИЗВ относится ко 2-му классу качества воды и характеризуется как «чистая».

Используя методику комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [6], на первом этапе мы провели детальный покомпонентный анализ химического состава воды и его режима – оценочных составляющих. На втором этапе, используя полученные оценочные составляющие, дали оценку качеству воды.

Среднегодовой коэффициент комплексности загрязненности (К) составил 14,06%. В течение года он изменялся от 6,25 до 18,75. В соответствии с методическими указаниями [6] при комплексности $K \geq 10\%$ целесообразно применять метод комплексной оценки качества воды и рассчитывать удельный комбинаторный индекс загрязненности (табл. 2).

Из 16 химических ингредиентов отобранной пробы у 5 концентрации превышали нормы. Концентрации общих фенолов в течение 2021 г. изменялись от 0,0009 до 0,0018 мг/дм³, превышения ПДК отмечены в весенний, летний и зимний периоды, у соединений марганца превышения наблюдались осенью и зимой. Индекс частных оценочных баллов по повторяемости загрязнения у этих двух элементов был равен 4 и ха-

рактеризовал загрязненность воды этими ингредиентами как «характерная». Превышение ПДК аммонийного азота наблюдалась в осенний период биологического потребления кислорода летом. Частный оценочный балл по повторяемости в течение года составил 2,75 и носил «неустойчивый» характер. По остальным химическим элементам частный оценочный балл был равен 0.

В 2021 г. по каждому химическому ингредиенту определялся индекс уровня загрязненности воды. Значения частных оценочных баллов биохимического потребления кислорода, общих фенолов, аммонийного азота, соединений марганца носили низкий уровень загрязненности и изменялись от 1,2 до 1,5 (табл. 2). В поверхностной воде озера наблюдался средний уровень загрязнения общим железом. Частный оценочный балл составил 2,1, а превышения ПДК отмечены в летний и осенний периоды. Максимальные значения обобщенного оценочного балла зафиксированы для общего железа (8,24), минимальные – для биологического потребления кислорода (3,30). Критические показатели загрязненности этого водного объекта в 2021 г. не выявлены.

В результате комплексной оценки загрязненности комбинаторный индекс загрязнения воды составил 27,4, удельный комбинаторный индекс загрязненности – 1,7. Качество поверхностной воды можно охарактеризовать как «слабо загрязненная» 2-го класса.

В июле 2012 г. в рамках экспедиционных исследований была отобрана средняя проба воды в озере и выполнен ее химический анализ. Концентрации алюминия, марганца и меди в озерной воде превышали ПДК и соответственно составили 0,06 мг/л, 0,02 мг/л и 0,002 мг/л [11]. В июле 2021 г. превышения по этим элементам не обнаружены, наблюдалось увеличение общего железа в 3 раза, среднегодовое превышение составило 1,3 ПДК.

Таблица 2

Комплексная оценка степени загрязненности
поверхностной воды озера Кара-Кель в 2021 г.

Ингредиенты	Частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности	Частный оценочный балл по кратности превышения ПДК	Обобщенный оценочный балл
Нефтепродукты	0	0	0
Общее железо	4	2,06	8,24
Общие фенолы	4	1,50	6,00
Химическое потребление кислорода	0	0	0
Растворенный кислород	0	0	0
Анионные поверхностно-активные вещества	0	0	0
Азот нитритный	0	0	0
Аммонийный азот	2,75	1,40	3,85
Нитратный азот	0	0	0
Сульфат-ион	0	0	0
Хлорид-ион	0	0	0
Биологическое потребление кислорода (5)	2,75	1,20	3,30
Соединения никеля	0	0	0
Соединения цинка	0	0	0
Соединения марганца	4	1,51	6,04
Соединения меди	0	0	0
Комбинаторный индекс загрязнения воды			27,43
Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды			1,7

В 2012 г. наблюдалось превышение в озерной воде нефтепродуктов в 1,5 раза и общих фенолов в 5,7 раза. В июле 2021 г. в отобранной пробе воды нефтепродукты были в норме, концентрация общих фенолов превышала ПДК в 1,2 раза, это в 4,7 раза меньше, чем в 2012 г.

Ухудшение экологического состояния поверхностных вод водоема в 2012 г. нефтепродуктами, фенолами и тяжелыми металлами, по нашему мнению, связано с реконструкцией федеральной автодороги Черкесск – Домбай, непосредственно проходящей по береговой линии озера. Была уничтожена сформировавшаяся растительность в виде естественно отграничивающей дорогу от озера полосы (7–10 м), и появился уклон вновь выложенного асфальтового покрытия дороги в сторону озера, без водоотводного желоба, вдоль ограждающих конструкций автодороги [11]. В районе озера не было оборудованной автостоянки, машины оставляли на песчаном

пляже непосредственно у воды, что привело к дополнительному попаданию нефтепродуктов в озеро.

Через 9 лет растительный покров в районе автодороги восстановился, а почвенный покров и растительные сообщества обладают эффектами усвоения, задержания и разложения многих загрязняющих веществ. В районе водоема рекультивированы все отвалы, оборудована автостоянка, установлен шлагбаум, арендаторы регулярно в прибрежной зоне озера собирают и вывозят твердые коммунальные отходы (ТКО).

Для оценки эвтрофирования поверхностных вод озера мы рассчитали индекс трофического состояния ITS [7]. В качестве критерия трофического состояния водных экосистем мы использовали величину pH и насыщение воды кислородом. ITS озера Кара-Кель в 2021 г. составил 7,89 и характеризовал водоем как мезотрофный. Мезотрофные озера занимают промежуточное положение между эвтрофными и олиго-

трофными водоемами. Озеро Кара-Кель характеризуется умеренным количеством растворенных в воде питательных веществ, слабой температурной стратификацией. Содержание растворенного кислорода в течение года довольно высокое. Вода озера отличается слабой минерализацией, достаточно высокой прозрачностью. Цвет озерной воды зеленоватый. Озеро Кара-Кель отличается значительным развитием водной растительности. До 20% его прибрежной зоны покрыто зарослями урути (*Myriophyllum*) и плавающего рдеста (*Potamogeton lucens*). В озере можно встретить диатомовые, перидиниевые, нитчатые водоросли и вольвоксы [12].

Заключение

В 2021 г. гидрохимическая структура поверхностной воды озера Кара-Кель характеризовалась 2-м классом – «слабо загрязненная». К основным загрязнителям воды в этот период можно отнести: общее железо, общие фенолы, аммонийный азот, соединения марганца.

За девятилетний период наблюдалось сокращение влияния антропогенного фактора на озерный ландшафт, что нашло отражение в повышении качества поверхностных вод и нормализации естественного природного режима функционирования водной экосистемы.

Индекс трофического состояния озера в 2021 г. составил 7,89, наличие органических вкраплений и водорослей характеризует водоем как мезотрофный.

Геоэкологический мониторинг озера Кара-Кель позволяет контролировать экологическое состояние водоема, управлять природно-антропогенными процессами и сохранять уникальный водный объект региона.

Список литературы

1. 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. 100-108.
2. Дега Н.С., Онищенко В.В. Высокогорные озера – перспективный рекреационный продукт Карачаево-Черкесии // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. №1 (19). С. 68-74.
3. Аджиева М.М. География Карачаево-Черкесской Республики. Карачаевск: КЧГУ, 2017. 252 с.
4. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
5. Дега Н.С., Байрамукова Ф.С., Борлаков М.С. Методологические основы гидрохимического мониторинга водного бассейна р. Кубани на территории Карачаево-Черкесской Республики // Инновационная наука. 2015. Ч. 2. Вып. 4. С. 169-172.
6. Емельянова В.П., Лобченко Е.Е. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М., 2004. 20 с.
7. Неверова-Дзюпак Е., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
8. Неверова-Дзюпак Е. Охрана поверхностных вод от антропогенного эвтрофирования. Теоретические, методологические и инженерные аспекты. Berlin: Lambert Academic Publishing, 2012. 322 с.
9. Аралина М.А., Строганова М.С. Расчет интегральных показателей ИЗВ и ITS для отдельных водных объектов: материалы XX Международного и межрегионального БИОС-ФОРУМА. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 2015. С. 87-91.
10. Ефремов Ю.В., Салпагаров Д.С. Озера Тебердинского заповедника и сопредельных территорий // Труды Тебердинского государственного природного биосферного заповедника. Ставрополь: Кавказский край, 2001. Вып. 24. 112 с.
11. Дега Н.С., Байчоров А.К., Хубиев Р.Р. Современная геоэкологическая оценка горных озер ООПТ Карачаево-Черкесии // Новая наука от идеи к результату: материалы Международной научно-практической конференции (29.12.2015 г.). Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. С. 17-22.
12. Ефремов Ю.В., Базелюк А.А., Панов В.Д. Антропогенное воздействие на озера Северного Кавказа // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 51-56.

УДК 551.4

ХАРАКТЕРИСТИКА МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ЭСТУАРИЯ РЕКИ ИНДИГА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Котова Е.И., Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Чульцова А.Л.

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

Рассмотрены условия формирования экосистем мезоприливных устьев рек западного сектора российской Арктики в летнюю межень на примере эстуария реки Индига в Баренцевом море. Выявлено, что весь эстуарий, протяженностью 30 км, в полную воду приливного цикла занимает зона смешения речных и морских вод. Процессы рассматривались в рамках модели маргинального фильтра. Обнаружено, что гравитационной ступени маргинального фильтра соответствует интервал солёности менее 5 ‰, коагуляционно-сорбционной ступени – 5–30 ‰, а биологическая ступень вытесняется за пределы эстуария. Предполагается, что максимальная биологическая продуктивность зоны смешения речных и морских вод наблюдается на заливных лайдах в лагунных (пойменных) озерах, где кислородонасыщение составляло 117–144 %. В самом эстуарии этот показатель обычно не превышал 102 %. Здесь формируется широкое разнообразие галофитов, водоплавающей и околоводной орнитофауны, включая их охраняемые виды. В зоне наибольшей мутности вод около вершины эстуария содержание взвеси достигало 86–110 мг/л. Максимум содержания взвеси на входе в эстуарий отмечался на малой воде приливного цикла, в центре эстуария – на половине фазы прилива, в вершине эстуария – на полной воде прилива. На коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра эстуария р. Индига наблюдалось наличие нелинейных связей распределения солёности с изучаемыми параметрами. Зафиксировано значительное снижение насыщения эстуарных вод кислородом с минимумом до 95 % и снижение величины pH с минимумом до 7,8–7,9 в диапазоне солёности 12–29 ‰. Наличие локального максимума растворимого общего фосфора до 20–27 мкг/л наблюдалось в диапазоне солёности 10–20 ‰. Отмечена высокая величина pH речных вод (8,3–8,5) из-за широкого распространения на водосборе реки карбонатных пород. Сделан вывод о большой уязвимости экосистемы эстуария р. Индига к аварийным разливам нефти.

Ключевые слова: Арктика, Индига, эстуарий, прилив, гидрология, гидрохимия, экосистема, маргинальный фильтр

CHARACTERISTICS OF THE MARGINAL FILTER IN THE INDIGA ESTUARY (BARENTS SEA)

Kotova E.I., Miskevich I.V., Moseev D.S., Chultsova A.L.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, e-mail: ecopp@yandex.ru

Conditions of ecosystem formation in mesotidal river estuaries of the western sector of the Russian Arctic in the summer low tide on the example of the Indiga River estuary in the Barents Sea have been considered. It was revealed that the whole estuary, 30 km long, is occupied by the zone of mixing of river and sea waters in the full water of the tidal cycle. The processes were considered within the marginal filter model. It was found that the gravity stage of the marginal filter corresponds to a salinity interval of less than 5 ‰, the coagulation-sorption stage to 5–30 ‰, and the biological stage is displaced beyond the estuary. It is supposed that maximum biological productivity of the zone of river and sea water mixing is observed on bay lakes in lagoon (floodplain) lakes, where oxygen saturation was 117–144 %. Oxygen saturation usually did not exceed 102 % in the estuary. A wide diversity of halophytes, waterfowl and near-water ornithofauna, including their protected species, is formed here. In the zone of the highest turbidity of water near the top of the estuary the suspended solids content reached 86–110 mg/l. Maximum suspended sediment content at the estuarine inlet was observed at low tide water, in the estuarine center – at the half tide phase, at the estuarine top – at full tide water. At the coagulation-sorption stage of the marginal filter of the Indiga River estuary, nonlinear relationships of salinity distribution with the studied parameters were observed. Significant decrease in oxygen saturation of estuarine waters with minimum (up to 95 %) and decrease in pH value with minimum up to 7.8–7.9 in the salinity range of 12–29 ‰ were recorded. The presence of a local maximum of soluble total phosphorus up to 20–27 µg/l was observed in the salinity range of 10–20 ‰. The high pH value of river water (8.3–8.5) was noted due to the wide distribution of carbonate rocks in the river watershed. It is concluded that the ecosystem of the Indiga River estuary is highly vulnerable to accidental oil spills.

Keywords: Arctic, Indiga, estuary, tide, hydrology, hydrochemistry, ecosystem, marginal filter

Разнообразие природных условий в западном секторе Арктики обуславливает разнообразие устьевых участков рек, впадающих в арктические моря. К мезоприливному устьям рек относятся те, на устьевых взморьях которых в сизигию величина прилива достигает 1,6 м и более, но не превышает 2,6 м. Они получили наиболее широкое распространение в Белом море и в юго-восточной части Баренцева моря. Мезопри-

ливные устья малых и средних рек также могут встречаться в Карском море и море Лаптевых при их расположении в вершинах воронкообразных заливов с осью, направленной по траектории движения приливной волны. В XXI в. в российской Арктике их число может увеличиться из-за уменьшения ледового покрова Северного Ледовитого океана [1], который препятствует возрастанию интенсивности приливных явлений.

Несмотря на то, что растет число исследований водного режима и динамики вод в небольших арктических устьях [2], мезоприливные устья рек являются малоизученными водными объектами арктической зоны России.

Целью выполненных исследований являлась оценка специфики гидролого-гидрохимических и гидробиологических процессов в мезоприливном эстуарии в летнюю межень на примере устья р. Индига в Баренцевом море. Полученные результаты будут способствовать решению ряда научных и прикладных задач, возникающих при освоении природных ресурсов арктической зоны России.

Материалы и методы исследования

Индига относится к так называемым средним рекам (площадь водосбора составляет 3790 км²) и образует при впадении в море воронкообразный эстуарий протяженностью около 30 км. В эстуарий Индиги впадает ряд малых рек (боковых притоков), к наиболее крупным из которых относятся правобережная Большая Щелиха и левобережные Вырей и Иевка. Средняя сизигийная величина прилива при входе в эстуарий составляет 2,0 м, максимально возможная по астрономическим причинам величина прилива здесь достигает 2,52 м.

Полевые работы в эстуарии р. Индига, включая его два боковых притока (Большая Щелиха и Иевка) и их пойменные озера, были проведены в период с 21 июля

по 1 августа 2022 г. Были выполнены серии гидролого-гидрохимических полусуточных наблюдений на трех станциях с дискретностью 2 ч в зоне смешения речных и морских вод и два разреза на шести станциях на полной воде в устьях боковых притоков. Координаты станций отбора проб воды представлены в табл. 1. Станция *1и* располагалась на удалении 3 км от морской границы эстуария р. Индига, станция *2и* – 17 км и станция *3и* – 26 км. На разрезах первая станция располагалась на границе бокового притока с эстуарием, остальные были удалены друг от друга на 3 км вверх по течению. Около участков расположения полусуточных станций и в устьях рек Большая Щелиха и Иевка выполнены 17 геоботанических профилей и обследовано 48 геоботанических площадок вне этих профилей. Проведены орнитологические наблюдения на пяти маршрутах.

Колебания уровней воды замерялись водомерными рейками с привязкой к условному нулю поста. Температура воды, соленость (минерализация) и содержание кислорода определялись с помощью многопараметрического анализатора жидкости *Multi 3420* фирмы *WTW*, величина pH – с помощью pH-метра *Марк-903*. Выделение взвеси проводилось методом мембранной ультрафильтрации под вакуумом через чистые (обработанные 4 %-ной соляной кислотой и тщательно промытые бидистиллированной водой) ядерные фильтры.

Таблица 1

Координаты станций отбора проб воды
в устьевой области р. Индига в июле 2022 г.

Номер станции	Координаты (с.ш., в.д.)		Наименование водного объекта	Примечания
	Широта	Долгота		
<i>1и</i>	67°42'08"	48°44'49"	Эстуарий р. Индига (м. Корга-Нос)	Полусуточная станция
<i>2и</i>	67°39'05"	49°02'07"	Эстуарий р. Индига (п. Индига)	Полусуточная станция
<i>3и</i>	67°37'11"	49°04'03"	Эстуарий р. Индига (м. Грязный)	Полусуточная станция
<i>1щ/и</i>	67°39'09,3"	49°02'22,9"	Устье р. Большая Щелиха	Разрез на трех станциях
<i>2щ/и</i>	67°38'53,2"	49°04'15,3"	Устье р. Большая Щелиха	
<i>3щ/и</i>	67°38'26,8"	49°06'50,5"	Устье р. Большая Щелиха	
<i>1и/и</i>	67°38'06,6"	48°56'40,7"	Устье р. Иевка	Разрез на трех станциях
<i>2и/и</i>	67°36'47,6"	48°55'46,9"	Устье р. Иевка	
<i>3и/и</i>	67°35'36,1"	48°56'22,4"	Устье р. Иевка	
<i>1о/и</i>	67°38'40"	49°05'55"	Б/и озеро в устье р. Бол. Щелиха	
<i>2о/и</i>	67°38'40"	49°06'11"	Б/и озеро в устье р. Бол. Щелиха	
<i>3о/и</i>	67°36'57"	48°56'21"	Б/и озеро в устье р. Иевка	

Предварительное взвешивание ядерных фильтров осуществлялось на электронных лабораторных весах «*Adventurer Pro*» *model RV214* (производства фирмы «*OHAUS Europe*», Швейцария, со специальным классом точности и ценой деления 0,1 мг). Использовались ядерные фильтры (диаметр – 47 мм, диаметр пор – 0,45 мкм), изготовленные в Объединенном институте ядерных исследований в г. Дубна. Для определения растворенной формы общего фосфора использовался метод предложенный Королёвым и уточненный Вальдеррамом. Он основан на окислении фосфорсодержащих органических соединений до фосфатов.

В статистическом анализе применялись как общепринятые статистики (среднеарифметическое значение и среднеквадратичное отклонение), так и робастные (помехоустойчивые) параметры. Последние не зависят от вида статистического закона распределения изучаемых данных. Для этой цели применялись медиана и квартили. Межквартильный диапазон величин, ограниченный верхним квартилем (75 % точкой) и нижним квартилем (25 % точкой), соответствует статистическому «ядру» исследуемой выборки, и его условно можно считать характерным интервалом изменчивости концентраций взвеси [3]. Результаты статистических расчетов приведены в табл. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Состояние экосистемы эстуария р. Индига целесообразно рассматривать в рамках модели маргинального фильтра, предложенной академиком А.П. Лисициным [4]. Согласно этой модели при смешении речных и морских вод при возрастании солёности формируются три последовательные зоны – гравитационная ступень (мутневая «пробка»), коагуляционно-сорбционная ступень и биологическая ступень. В пределах первой ступени наблюдается наибольшая мутность устьевых вод, на второй степени наиболее ярко проявляют себя геохимические процессы, и в третьей зоне наблюдается значительное повышение биомассы гидробионтов. Например, в Белом море для устьевой области р. Северной Двины первой зоне соответствует диапазон солёности 0,5–5 ‰, второй зоне – 5–20 ‰ и третьей зоне – солёность более 20 ‰ [5]. Сразу необходимо заметить, что вышеуказанная модель хорошо отражает процессы, про-

исходящие только в устьях больших рек. В приливных устьях малых рек арктической зоны России чередование ступеней маргинального фильтра может иметь иной характер [6]. Проявление маргинального фильтра в приливных устьях средних рек остается практически не изученным.

Анализ результатов проведенных исследований эстуария р. Индига позволяет предположить следующее (табл. 2–3). Зона смешения речных и морских вод в полную воду прилива в летнюю межень заполняет весь эстуарий на протяжении 30 км. На малой воде прилива в его вершине речные воды могут наблюдаться около о. Сорванный (около створа 28 км выше морской границы эстуария). Фронтальный раздел по солёности устьевых вод локализуется на центральном участке эстуария около п. Индига. Здесь полусуточная приливная изменчивость солёности по нашим наблюдениям достигала 10 ‰. На морской границе эстуария в июле 2022 г. она не превышала 2 ‰.

Графики связи солёности с взвешенными веществами и гидрохимическими показателями представлены на рисунке. Они показывают, что мутневой «пробке» соответствует интервал солёности менее 5 ‰, а коагуляционно-сорбционной ступени – 5–30 ‰.

В зоне наибольшей мутности вод около вершины эстуария содержание взвеси достигало 86–110 мг/л. Её максимум на входе в эстуарий отмечался на малой воде приливного цикла, в центре эстуария – на половине фазы прилива и в вершине эстуария – на полной воде прилива.

На коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра эстуария р. Индига наблюдалось наличие нелинейных связей распределения солёности с исследуемыми параметрами. Зафиксировано наличие следующих явлений:

- значительное снижение насыщения эстуарных вод кислородом с минимумом (до 95 %) в диапазоне солёности 12–29 ‰;
- снижение величины pH с локальным минимумом до 7,8–7,9 в том же диапазоне, что и для кислородонасыщения;
- возрастание концентраций растворимого общего фосфора с локальным максимумом до 20–27 мкг/л в диапазоне солёности 10–20 ‰.

Первое явление, скорее всего, обусловлено последствиями влияния повышенной мутности эстуарных вод на фотосинтез микроводорослей.

Таблица 2

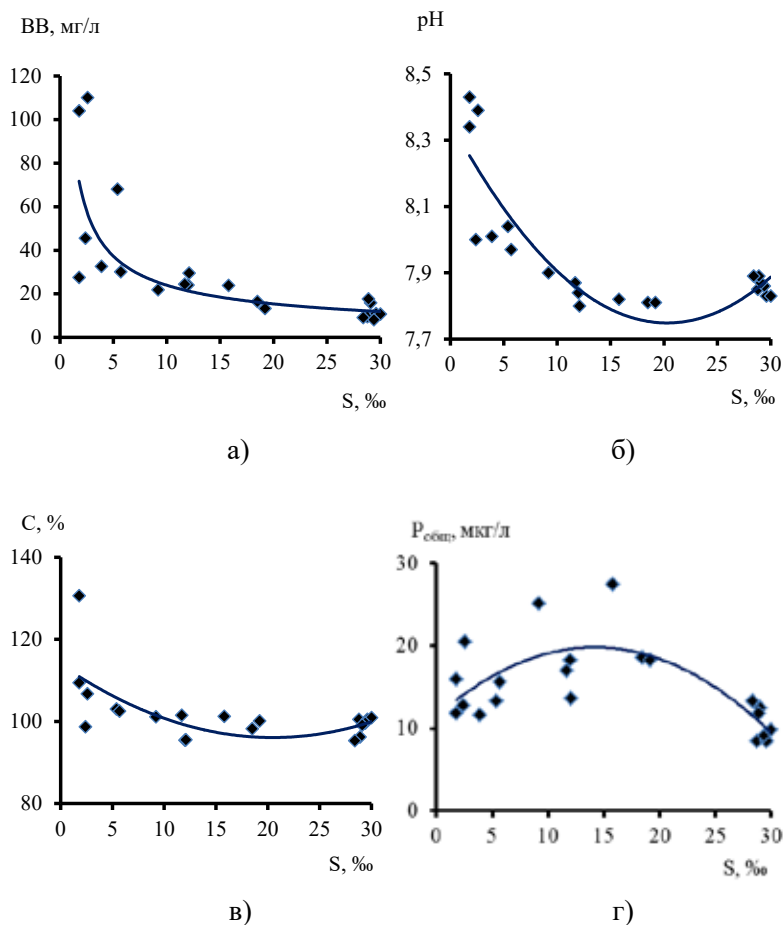
Статистическая характеристика полусуточной изменчивости
гидролого-гидрохимических показателей
на полусуточных станциях в эстуарии р. Индига в июле 2022 г.

Статистики	Показатели					
	T, °C	S, ‰	Взвесь, мг/л	O ₂ , %	pH	P _{общ} , мкг/л
Станция 1и (23.08.2022 г.)						
Среднее значение	14,0	29,17	11,6	98,9	7,86	10,4
Стандартное отклонение	0,4	0,54	3,6	2,2	0,03	2,0
Медиана	14,1	29,10	10,6	99,6	7,86	9,8
Нижний квартиль (25 %)	13,7	28,85	9,2	97,7	7,84	8,7
Верхний квартиль (75 %)	14,2	29,50	13,3	100,5	7,88	12,1
Максимальное значение	14,5	30,00	17,6	100,9	7,89	13,3
Минимальное значение	13,4	28,40	8,0	95,3	7,83	8,4
Станция 2и (22.08.2022 г.)						
Среднее значение	19,5	14,07	21,9	99,0	7,84	19,7
Стандартное отклонение	0,9	3,80	5,4	2,7	0,04	4,8
Медиана	19,0	12,10	23,8	100,1	7,82	18,2
Нижний квартиль (25 %)	18,8	11,85	19,1	96,8	7,81	17,6
Верхний квартиль (75 %)	20,1	17,15	24,2	101,2	7,86	21,8
Максимальное значение	21,0	19,20	29,4	101,5	7,90	27,4
Минимальное значение	18,7	9,20	13,2	95,4	7,80	13,6
Станция 3и (27.08.2022 г.)						
Среднее значение	18,3	3,37	59,6	107,2	8,17	14,5
Стандартное отклонение	1,6	1,65	35,2	11,0	0,21	3,2
Медиана	17,8	2,60	45,5	103,0	8,04	13,3
Нижний квартиль (25 %)	17,8	2,10	31,3	101,1	8,01	12,3
Верхний квартиль (75 %)	19,3	4,65	86,0	108,1	8,37	15,8
Максимальное значение	20,6	5,70	110,0	130,6	8,43	20,5
Минимальное значение	15,7	1,80	27,5	98,7	8,0	11,6
Количество наблюдений	7	7	7	7	7	7

Таблица 3

Результаты гидролого-гидрохимических наблюдений на разрезах
в боковых протоках эстуария р. Индига в полную воду приливного цикла

Номер станции	Время	T, °C	S, ‰ (мг/л)	Взвеси, мг/л	Кислород		pH
					мг/дм³	%	
Устье р. Большая Щелиха (26.08.2022 г.)							
1ш/и	14.15	16,4	19,2	25,4	10,54	108,6	7,94
2ш/и	14.35	16,5	15,4	21,2	10,15	104,2	7,86
3ш/и	14.55	16,4	4,8	15,4	10,46	107,6	7,95
Устье р. Иевка (24.08.2022 г.)							
1и/и	12.53	15,8	8,5	18,8	10,01	101,3	7,91
2и/и	13.30	15,9	3,2	9,0	10,27	104,7	7,91
3и/и	14.10	16,5	(346)	4,6	10,20	105,9	8,05



Графики связи солености ($S, \text{‰}$) в эстуарии р. Индига в июле 2022 г.:
а) с содержанием взвеси ($ВВ, \text{мг/л}$), б) с величиной pH ,
в) с кислородонасыщением ($C, \text{мг/л}$), г) с растворенным общим фосфором ($P_{\text{общ}}, \text{мкг/л}$)

Второе явление, очевидно, связано с выпадением в осадок кальция при изменении солевого состава вод зон смешения речных и морских вод. При этом необходимо отметить широкое распространение на водосборе р. Индига карбонатных пород, что, в частности, влечет за собой высокую величину pH речных вод (8,3–8,5). Увеличение содержания общего фосфора можно объяснить влиянием стока вод с лайд, где отмечается, если ориентироваться на показания кислородонасыщения, значительная биопродуктивность лагунных озер и их сильная загрязненность фекалиями водоплавающих птиц.

Биологическая ступень маргинального фильтра, видимо, вытесняется в морские воды Индигской губы на глубины более 10 м с соленостью более 30 ‰. С другой стороны, высокое кислородонасыщение лагунных (пойменных) озер (табл. 4), заливаемых морской водой на приливах, и обилие галофитной растительности на лайдах эстуа-

рия позволяет предположить, что именно здесь формируется наиболее высокая биологическая продуктивность солоноватых вод. Этому способствует значительная величина прилива, формирующая довольно обширные лайды (заливные морские луга) в мористой и центральной частях эстуария. В свою очередь, такие природные образования способствуют обитанию здесь широкого перечня водоплавающих и околоводных птиц, а также хищных представителей приморской орнитофауны.

Формированию высокой биологической продуктивности эстуарных вод в диапазоне солености 25–30 ‰, очевидно, мешает баровая отмель с глубинами менее 2 м на малой воде прилива в южной части Индигской губы. При наличии ветрового волнения и сильных приливных течений здесь формируются неблагоприятные гидродинамические и литодинамические условия для развития морских гидробионтов и водорослей.

Таблица 4

Результаты гидролого-гидрохимических наблюдений
на пойменных (лагунных) озерах боковых притоков эстуария р. Индига

Номер станции	T, °C	S, ‰ (мг/л)	Кислород	
			мг/дм³	%
Устье р. Большая Щелиха				
1o/u	19,9	9,7	13,62	143,7
2o/u	19,7	1,0	10,75	116,6
Устье р. Иевка				
3o/u	16,8	11,4	9,84	117,4

Заключение

Полученные результаты можно предвзительно использовать для оценки возможных последствий для экосистемы р. Индига аварийного разлива нефти на акватории проектируемого морского глубоководного порта [7] на западной границе Индигской губы. Согласно общим представлениям о циркуляции вод в рассматриваемом районе такой разлив при отсутствии мер по его ликвидации приведет к попаданию аварийной нефти в эстуарий Индиги и в конечном счете к его полному загрязнению. При этом должна наблюдаться её аккумуляция на лайдах и в лагунных озерах, что приведет к уничтожению биотопов водоплавающих птиц, среди которых регистрируется значительное число охраняемых видов. Необходимо также помнить, что в период существования СССР в устье Индиги, наряду с устьем Печоры, производился промышленный лов сёмги. Помимо этой рыбы на рассматриваемом водном объекте встречаются голец, кумжа, горбуша, нельма, омуль, сиг-пыжьян, пелядь. Это необходимо учитывать при разработке природоохранных мероприятий для проектируемого морского порта.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Север-

ного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № FMWE-2021-0006. Полевые исследования проведены при финансовой поддержке гранта № 297-Г от 10.02.2022 г., выделенного АНО «Экспертный Центр – Проектный офис развития Арктики (ПОРА)».

Список литературы

- Оганесян В.В. Климатические изменения как факторы риска для экономики России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 3 (373). С. 161–184.
- Магрицкий Д.В., Поваляшников Е.С., Фролова Н.Л. История изучения стока воды и водного режима рек Арктической зоны России в XX в. и начале XXI в. // Арктика и Антарктика. 2019. № 3. С. 61–96. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.3.29939.
- Мискевич И.В., Деменков О.В. Оценка влияния хозяйственной деятельности в районе острова Варандей на геоэкологическую ситуацию в Печорском море // Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 88–93. DOI: 10.17513/use.37628.
- Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
- Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 169–200.
- Miskevich I.V., Korobov V.B., Moseev D.S. Specifics of Marginal Filter Formation in the Tidal Estuaries of Small Rivers of the Arctic Seas // Oceanology. 2021. Vol. 61. No 1. P. 127–131. DOI: 10.1134/S0001437021010136.
- Перспективный порт Индига: зачем России новое «окно в Арктику» [Электронный ресурс]. URL: <http://tehnovar.ru> (дата обращения: 07.08.2022).

УДК 911.3:314(571.63)

**ОЦЕНКА ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ
ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
ПРИМОРСКОГО КРАЯ)**

Ушакова В.Л., Сидоркина З.И.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: sidorkina@tigdvo.ru

Представлены результаты динамики и дифференциации показателей демографического развития на уровне городских и муниципальных округов, муниципальных районов Приморского края за 2011–2020 гг. Отобранные для сравнительной оценки показатели (изменение численности населения, коэффициент рождаемости, коэффициент смертности, коэффициент младенческой смертности, доля населения моложе трудоспособного, трудоспособного и старше трудоспособного возраста, коэффициент естественного прироста, коэффициент миграционного прироста), отражающие уровень демографического развития этих территорий, с применением метода рангов по средним значениям за рассматриваемый период позволили дифференцировать муниципальные образования на три типа (благоприятный, менее благоприятный, неблагоприятный). Рассмотрены тенденции и проблемы демографического развития каждого типа за последнее десятилетие. Отмечено, что благоприятная демографическая обстановка характерна для территорий первого типа, где наблюдается рост численности населения за счет миграционного прироста. Неблагоприятная демографическая ситуация характерна для третьего типа, муниципальные образования которого занимают северные и восточные прибрежные территории края. В условиях продолжающегося спада рождаемости на фоне недостаточного снижения смертности населения, не прекращающегося миграционного оттока, который деформирует демографическую структуру населения, усиливая депопуляцию, рассчитывать на увеличение численности населения в Приморском крае не приходится. При сохранении сложившихся демографических трендов, достижение ускоренных темпов экономического развития дальневосточных субъектов, объявленное приоритетом государственной политики, столкнется с демографическими ограничениями.

Ключевые слова: население, демографическая ситуация, муниципальные образования, метод рангов, Приморский край

**ASSESSMENT OF INTRAREGIONAL DIFFERENTIATION
OF THE DEMOGRAPHIC SITUATION
(AS EXEMPLIFIED BY MUNICIPALITIES OF THE PRIMORSKY KRAI)**

Ushakova V.L., Sidorkina Z.I.

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: sidorkina@tigdvo.ru

The results of the dynamics and differentiation of indicators of demographic development at the level of urban and municipal districts, municipal districts of the Primorsky Krai in the period 2011–2020 are presented. The differences between them within each subject are more significant than the differentiation between the subjects of the Russian Federation or federal districts. The indicators selected for comparative evaluation (population change, fertility rate, mortality rate, infant mortality rate, proportion of the population under working age, able-bodied and older than working age, natural increment coefficient, migration growth rate), reflecting the level of demographic development, made it possible to build a rating of municipalities by the method of ranks. The ranking of urban and municipal districts, municipal districts clearly shows the advantages and disadvantages of the demographic development of these territories. Based on the results obtained, the authors identified three types of municipalities (favorable, less favorable and unfavorable). In the context of the continuing decline in the birth rate against the background of an insufficient decrease in the mortality rate of the population, the unceasing migration outflow, which deforms the demographic structure of the population, increasing depopulation, it is not necessary to count on an increase in the population in the Primorsky Krai. If the existing demographic trends are maintained, the achievement of accelerated rates of economic development of the Far Eastern regions, declared a priority of state policy, will face demographic restrictions.

Keywords: population, demographic situation, municipalities, rank method, Primorsky Krai

Демографическая динамика в большинстве субъектов Дальневосточного федерального округа, в том числе и в Приморском крае, сохраняет стабильно отрицательный тренд. Сокращение численности населения продолжается на протяжении трех десятилетий, ежегодно отличаясь масштабами потерь [1]. Поэтому решение демографических проблем, сохранение

и рост человеческого потенциала является важной стратегической задачей. На государственном уровне прилагается немало усилий для «сбережения народа» (приняты десятки законодательных актов, программ, стратегий, утверждены Концепция демографической политики Дальнего Востока на период до 2025 года и Национальная программа развития Дальнего Востока

до 2024 и с перспективой до 2035 года), направленных на преодоление сложившихся тенденций по стимулированию воспроизводства населения, по регулированию миграционных процессов, но результата – увеличения численности населения – пока достичь не удастся. Население продолжает уезжать с Дальнего Востока. Более того, прогноз Росстата до 2035 г. показывает на дальнейшее сокращение численности, а набор механизмов по повышению рождаемости, сокращению смертности, увеличению продолжительности жизни и т.д. не сможет его опровергнуть.

Решение амбициозных задач по ускоренному развитию Дальнего Востока [2–4], в том числе в его наиболее благоприятных с географической и экономической точки зрения южных субъектах, включая Приморский край, сталкивается с ограничениями, которые стали важнейшим фактором, влияющим на рост экономики. К числу таких ограничений относятся демографические ресурсы, среди которых наиболее характерны миграция молодежи и отток населения активного трудоспособного возраста в крупные города [5, 6]. Поэтому оценка демографических процессов тем важна, что они (демографические ресурсы) лежат в основе многих долгосрочных тенденций, определяющих развитие не только Дальнего Востока в целом, но и его субъектов.

В отличие от других дальневосточных субъектов, современная демографическая ситуация в Приморском крае характеризуется сложностью и напряженностью. Ключевыми демографическими проблемами выступают: продолжающееся снижение уровня рождаемости на фоне более высоких темпов роста смертности, нарастание естественной убыли населения; миграционный отток как фактор сокращения численности населения; уменьшение доли женщин репродуктивного возраста в населении – как в целом по краю, так в городских поселениях и в сельской местности; негативная динамика суммарного коэффициента рождаемости; старение возрастной структуры населения (в Приморском крае самый высокий процент численности лиц старше трудоспособного возраста среди дальневосточных субъектов – 24,4%); медленный рост ожидаемой продолжительности жизни.

По расчетам авторов за 2011–2020 гг. край потерял 75,7 тыс. чел., или 3,9% собственного населения. Это самые значительные потери среди дальневосточных

субъектов. Более того, на фоне пандемии COVID-19 численность в Приморском крае в 2020 г. уменьшилась еще на 18 тыс. чел. (самое большое снижение населения в крае за последние 10 лет). Основную роль в высокие показатели сокращения населения внесла естественная убыль (42,1 тыс. чел., или 55,6% от общей убыли населения), в 1,2 раза превышающая миграционный отток (33,6 тыс. чел., или 44,4%).

Цель данной работы – оценка территориальной дифференциации демографической ситуации в муниципальных образованиях Приморского края за 2011–2020 гг.

Материалы и методы исследования

Статистическим обеспечением исследования служили официальные данные, содержащиеся в информационно-статистических материалах, подготовленных Территориальным органом федеральной службы государственной статистики по Приморскому краю за период с 2011 по 2020 г.

Для получения оценки демографической ситуации был применен следующий алгоритм:

1. Определен перечень показателей (изменение численности постоянного населения; коэффициент рождаемости; коэффициент смертности; коэффициент младенческой смертности; доля населения моложе трудоспособного, трудоспособного и старше трудоспособного возраста; коэффициент естественного прироста/убыли; коэффициент миграционного прироста/оттока), в совокупности дающих целостную картину демографического развития 34 муниципальных образований.

2. Оценивались количественные значения показателей по каждому муниципалитету за исследуемый период.

3. Для сравнительного анализа нами использовался метод рангов, который позволил провести оценку демографической ситуации на основе статистических данных, показав значение каждого показателя. Ранжирование муниципальных образований проведено в шкале от 1 до 34, в соответствии с количеством городских округов (12), муниципальных округов (12), муниципальных районов (10). Итоговый потенциал муниципалитетов рассчитывался как сумма всех показателей. По итогам ранжирования выделены и отражены картографически типы муниципальных образований, качественно различающиеся по демографической ситуации (таблица).

Показатели, используемые для оценки демографической ситуации
в муниципальных образованиях Приморского края (2011–2020 гг.)

Показатели	I тип с благоприятной демографической ситуацией	II тип с менее благоприятной демографической ситуацией	III тип с неблагоприятной демографической ситуацией
Изменение численности населения тыс. чел. %	26,1 2,5	-38,3 -10,3	-63,0 -11,7
Коэффициент рождаемости, ‰	11,8	12,3	12,1
Коэффициент смертности, ‰	12,5	15,6	16,8
Коэффициент младенческой смертности, ‰	7,3	9,7	10,9
Коэффициент естественного прироста, ‰	-0,7	-3,3	-4,8
Коэффициент миграционного прироста, ‰	1,0	-9,4	-9,5
Доля населения в возрасте (%): моложе трудоспособного трудоспособного старше трудоспособного	18,2 59,9 21,9	19,7 55,0 25,4	19,6 52,7 27,7

Примечание: составлена авторами.

Результаты исследования и их обсуждение

Муниципальные образования в Приморском крае имеют особенности развития демографических процессов, обусловленные характером освоения, соотношением городского и сельского населения, экономико-географическим положением, уровнем развития транспортной инфраструктуры, экономической специализацией, характером расселения, удаленностью от краевого центра. По территории население размещено крайне неравномерно. Основная часть населения сосредоточена в зоне Транссибирской железнодорожной магистрали (в полосе от 50 до 200 км) и на побережье Японского моря. Различия в размерах территории и численности населения городских и муниципальных округов, муниципальных районов находят отражение в показателе плотности населения. Его вариационный размах составляет более трех тысяч раз (от 0,4 чел./км² в Тернейском муниципальном округе до 1299 чел./км² в Арсеньевском городском округе), что также отражает различия в демографическом потенциале.

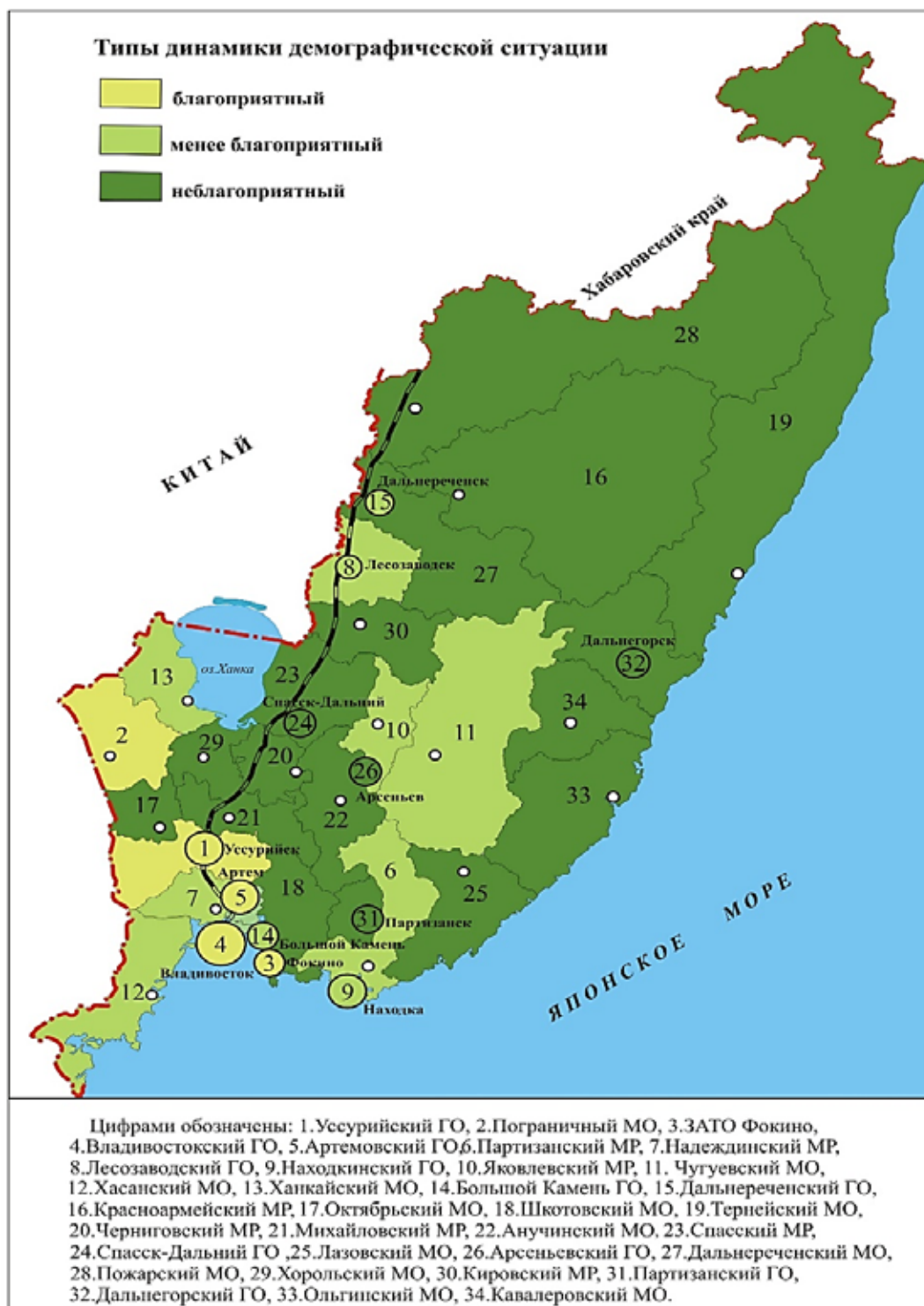
Анализ территориальной дифференциации демографической ситуации в муниципалитетах Приморского края на основе метода рангов с использованием демографических показателей позволил дифференцировать эти территории на три типа (рисунки).

Полученные типы (с благоприятной, менее благоприятной и неблагоприятной демографической ситуацией) отражают особенности внутрирегионального демографического развития за рассматриваемый период.

I тип с благоприятной демографической ситуацией включает семь МО (Владивостокский, Артемовский, Фокино, Уссурийский городские округа; Пограничный муниципальный округ; Надеждинский и Партизанский муниципальные районы), который можно охарактеризовать как миграционно привлекательный. Его отличает высокий уровень урбанизации (86,5%). Здесь проживает 56,7% населения Приморского края. В рассматриваемый период население увеличилось на 26,1 тыс. чел. за счет миграционного прироста, который имеют Уссурийский ГО (7,3 ‰), Артемовский ГО (4,0 ‰), Владивостокский ГО (2,9 ‰), Надеждинский МР (2,8 ‰). Основная черта г. Владивостока, оказывающая влияние на его демографическое развитие – это его столичное положение в Приморском крае, дающее городу преимущества во многих аспектах социально-экономического развития. Растущий экономический потенциал и перспективы развития создают условия для миграционного прироста [7], который обеспечивается за счет внутрироссийской миграции, причем в межрегиональной миграции краевой центр имеет миграционный отток. Пригородные

территории г. Владивостока (Надеждинский МР, Артемовский ГО), входящие во Владивостокскую агломерацию, увеличивали население прежде всего за счет миграции из других муниципалитетов Приморского края [8]. Краевой центр притягивает пре-

жде всего молодежь студенческих возрастов, причем достаточно интенсивно, а также лиц активного трудоспособного возраста, а пригороды (Надеждинский МР, Артемовский ГО, Шкотовский МР) еще и пожилых людей благодаря субурбанизации [9, с. 300].



Типология муниципальных образований Приморского края по динамике демографической ситуации

Демографический потенциал Владивостока невысокий, он имеет одно из самых низких в Приморском крае средних значений общего коэффициента рождаемости (10,5 ‰). Анализ коэффициентов миграции свидетельствует, что ряду муниципалитетов присущи отрицательные значения коэффициента при разных абсолютных величинах: от -1,4 ‰ (Партизанский МР) до -6,6 ‰ (Пограничный МО). Отрицательным коэффициентом миграции характеризуется также ЗАТО Фокино (-2,2 ‰).

Артемовский ГО – одна из немногих территорий материкового побережья Японского моря, показывающая не только положительную динамику рождаемости, но и рост численности населения за счет миграционного прироста, который обеспечивается за счет внутрирегиональных и международных потоков и компенсирует естественную убыль имеющую тенденцию к снижению.

Между муниципальными образованиями отмечается дифференциация основных показателей воспроизводства населения. Так, положительный естественный прирост, а значит, уровень рождаемости выше уровня смертности отмечается в Уссурийском ГО (1,3 ‰), Пограничном МР (0,6 ‰), ЗАТО Фокино (0,5 ‰). Он обусловлен благоприятной возрастной структурой населения и способствует, наряду с миграцией, росту демографического потенциала в Уссурийском ГО. В результате миграционного оттока, превышающего естественный прирост, в ЗАТО Фокино и Пограничном МР отмечается снижение численности постоянного населения.

Муниципалитеты в целом имеют низкую динамику показателей демографического развития, что обусловлено очень низкими показателями рождаемости (11,8 ‰) и средним уровнем смертности (12,5 ‰). В формировании населения сохраняется регрессивная, но стабильная возрастная структура населения (на долю лиц старше трудоспособного возраста приходится 21,9%, на долю детей – 18,2%). Население в трудоспособном возрасте составляет в среднем 59,9%, при минимальном показателе для Надеждинского МР 54,1 %.

II тип с менее благоприятной демографической ситуацией объединяет 8 МО, из них 4 являются городскими округами: Находкинский, Большаекаменский, Дальнереченский и Лесозаводский; 3 муниципальными округами: Хасанский, Ханкайский, Чугуевский и Яковлевский МР. Занимая 15,6% территории Приморского края, здесь концентрируется 18% его населения.

За рассматриваемый период численность населения сократилась на 38,8 тыс. чел.

за счет миграционного оттока, в 3,6 раза превышающего естественную убыль. В отличие от муниципалитетов I типа, муниципальные образования II типа имеют выше уровень рождаемости (12,3 ‰) и уровень смертности (15,6 ‰). Коэффициент младенческой смертности (9,7 ‰) превышает среднекраевой уровень (7,8 ‰). Сохраняется регрессивная возрастная структура населения, превышающая среднекраевой уровень: доля лиц старше трудоспособного возраста (25,4%) превышает долю лиц моложе трудоспособного возраста (19,7%). Отмечается рост лиц старших возрастов (свыше 26%) в городских округах – Большаекаменском, Дальнереченском, Находкинском, Лесозаводском.

Самые большие потери населения среди всех ГО Приморского края имеет Находкинский ГО (17,1 тыс. чел.), за счет миграционного оттока, превышающего в 4 раза естественную убыль. Основная причина – ликвидация предприятий, обеспечивающих населению достойную оплату труда. Поиск более перспективной и доходной работы, возможность профессиональной самореализации, отсутствие комфортной социальной среды – вот главные причины массовых устойчивых потоков молодежи.

Миграционный отток входящих в этот тип ГО связан с их удаленностью от краевого центра – при прочих равных условиях, чем дальше они расположены, тем интенсивнее отток [5]. Так, например, отсутствие градообразующих предприятий на территории Лесозаводского ГО (удален от Владивостока на 351 км), высокая стоимость жилищно-коммунальных услуг, высокий уровень безработицы неблагоприятно сказываются на уровне жизни населения, что приводит к оттоку населения из города.

III тип с неблагоприятной демографической ситуацией – самый многочисленный тип, в который вошли девятнадцать муниципалитетов. Занимая 47,5% территории Приморского края, в муниципалитетах проживает 25,3% населения края.

В муниципальных образованиях третьего типа по сравнению с предыдущими типами отмечается значительное сокращение численности населения (63 тыс. чел.). Демографические показатели характеризуются отрицательным естественным приростом (-25,1 тыс. чел.) и значительными миграционными потерями (-37,4 тыс. чел.). Убыль населения связана с долгой экономической депрессией, глубокими социальными проблемами и значительным старением населения [10]. Это характерно для Партизанского ГО, Дальнегорского ГО, Кавалеровского МО [11]. В муниципальных образованиях

на протяжении последнего десятилетия наблюдается низкий уровень рождаемости (12,4 %) и выше среднего уровень смертности (16,34 %). Наиболее высокий уровень смертности отмечается в Партизанском ГО (20,0 %), Кавалеровском МО (18,9 %), Октябрьском МО (18,6 %), Хорольском МО (18,2 %). В муниципалитетах III типа наблюдается «вымывание» молодого трудоспособного населения в краевой центр, ускоренно идут процессы старения населения (доля лиц старше 60 лет составляет 27,7%), что существенно снижает уровень доходов населения и увеличивает долю лиц, живущих в сложных материальных условиях [10].

Муниципальные образования этого типа имеют высокий показатель детской смертности населения (10,9 %), хотя она и снижается, а в отдельных муниципалитетах он еще выше (Черниговский МР – 17,9 %, Лазовский МО – 14,4 %, Спасский МР – 14,2 %, Тернейский МО – 13,2 %). При этом в сельской местности детская смертность выше, чем в городских поселениях почти в 1,5–1,7 раза, что объясняется действующей организацией медицинской помощи населению и низкой территориальной доступностью услуг узких специалистов. Эти МО малопривлекательны для мигрантов, поскольку не отличаются достаточно развитыми инфраструктурой, социальной и экономической сферой [5].

Заключение

Оценка территориальной дифференциации демографического развития за 2011–2020 гг. позволила выделить на территории Приморского края три типа муниципальных образований, каждый из которых отличается компонентами изменения численности населения, динамикой демографических показателей, особенностями возрастной структуры и общим состоянием демографической ситуации (благоприятный, менее благоприятный, неблагоприятный).

На качество демографического потенциала Приморского края влияет устойчивое сокращение численности постоянного населения, которое наблюдается на протяжении трех десятилетий за счет естественной убыли и миграционного оттока. Это характерно в большей степени для муниципалитетов II и III типов. Выполненное исследование показало, что на территории края наблюдаются различия в демографическом развитии, как у городских и муниципальных округов, так и у муниципальных районов. У 56,7% населения за рассматриваемый период отмечается благоприятный тип демографической ситуации. Это муниципальные образования I типа, где отмечается рост населения как краевого

центра, так и пригородных территорий за счет миграционного прироста, который обеспечивался за счет внутрирегионального и международного потока и компенсировал снижающуюся естественную убыль. Выявленные различия в демографическом развитии муниципалитетов Приморского края позволяют учитывать их в региональных социально-демографических проектах, более точно выстраивая приоритеты развития в первую очередь в муниципальных образованиях III типа.

Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ (тема «Пространственное развитие разноранговых территориальных и акваториальных структур хозяйства и расселения населения Тихоокеанской России с учетом географических и геополитических факторов и их соотношений на разных районных уровнях Северо-Восточной Азии, № 122020900189-0).

Список литературы

1. Грицко М.А. Демографические последствия пандемии в Хабаровском крае // Власть и управление на Востоке России. 2022. № 2 (99). С. 53–60. DOI: 10.22394/1818-4049-2022-99-2-53-60.
2. Аганбегян А.Г. Демографическая драма на пути перспективного развития России // Народонаселение. 2017. № 3. С. 4–23. DOI: 10.26653/1561-7785-2017-3-1.
3. Минакир П.А. Ожидания и реалии политики «поворота на Восток» // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 4. С. 1016–1029. DOI: 10.17059/2017-4-4.
4. Минакир П.А., Найден С.Н. Социальная динамика на Дальнем Востоке: дефект идей или провал институтов? // Регион: экономика и социология. 2020. № 3 (107). С. 30–61. DOI: 10.15372/REG20200302.
5. Мкртчян Н.В. Миграция молодежи в региональные центры России в конце XX – начале XXI века // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 6. С. 19–32.
6. Мкртчян Н.В. Региональные столицы России и их пригороды: особенности миграционного баланса // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 6. С. 26–38.
7. Емельянова Л.Л., Ежова В.К. Типология геодемографической обстановки в регионах Северо-Запада России // Вестник Байкальского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2018. № 4. С. 33–46.
8. Сидоркина З.И. Миграция в крупных городах Дальнего Востока // Региональные проблемы. 2015. Т. 18. № 3. С. 15–22.
9. Нефедова Т.Г., Тревиш А.И., Шелудков А.В. Поли-масштабный подход к выявлению пространственного неравенства в России как стимула и тормоза развития // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 3. С. 289–309. DOI: 10.31857/S2587556622030128.
10. Балина Т.А., Пономарева З.В., Чекушева Л.Ю. Территориальные особенности демографических процессов в регионах России: анализ и типология // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2019. № 4. С. 31–43. DOI: 10.15593/2224-9354/2019.4.3.
11. Ушакова В.Л. Современные тенденции демографического развития моногородов Приморского края (на примере Дальнегорского городского округа // Геосистемы в Северо-Восточной Азии: территориальная организация и динамика. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. С. 361–365.

СТАТЬИ

УДК 550.42:546.16(571.55)

**ПРИЧИНЫ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ
СОЛЕННЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Борзенко С.В.

*ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: svb_64@mail.ru*

На территории Восточного Забайкалья в близких геолого-геоморфологических и ландшафтно-климатических условиях встречаются три геохимических типа соленых озер: содовые, сульфатные и хлоридные. Они отличаются химическим составом, pH и минерализацией вод. Содовые озера выделяются относительно высоким содержанием карбонатного комплекса и значением pH. Хлоридные озера по средним оценкам характеризуются максимальной соленостью и концентрацией хлора, но низким значением pH и содержанием карбонатов. Сульфатный тип отличается минимальной соленостью. Показано, что наиболее крупные с большим объемом воды и большей площадью водосборов – это содовые водоемы. Расчет по соотношению объемов вод приходной и расходной частей водного баланса показал, что объем испаряющейся воды по сравнению с объемом поступающей с атмосферными осадками и подземными водами для хлоридных озер существенно выше, чем для содовых озер, поэтому последние в большей степени подвержены испарению, а их воды более минерализованные. Показано, что содовые озера расположены в зоне более интенсивного подземного питания и непосредственно связаны с грунтовыми и трещинно-пластовыми водами осадочных отложений, а в отдельных случаях трещинно-жильными водами разломов, поэтому они имеют достаточно стабильный гидрологический режим, а их морфометрические характеристики в меньшей степени зависят от климатических характеристик. Установлено, что в формировании химического состава вод помимо испарительного концентрирования участвуют внутриводоемные процессы и процессы взаимодействия воды с вмещающими породами.

Ключевые слова: соленые озера, сульфатредукция, вода – горная порода, испарение

**THE REASONS FOR THE HYDROGEOCHEMICAL DIVERSITY
OF THE SALT LAKES OF EASTERN TRANSBAIKAL**

Borzenko S.V.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: svb_64@mail.ru*

On the territory of Eastern Transbaikalia, in close geological-geomorphological and landscape-climatic conditions, there are three geochemical types of salt lakes: soda, sulfate and chloride. They differ in chemical composition, pH and mineralization of waters. Soda lakes are distinguished by a relatively high content of carbonate complex and pH value. Chloride lakes, according to average estimates, are characterized by maximum salinity and chlorine concentration, but low pH and carbonate content. The sulfate type is characterized by minimal salinity. It is shown that the largest with a large volume of water and a larger catchment area are soda ponds. The calculation of the ratio of water volumes of the incoming and outgoing parts of the water balance showed that the volume of evaporating water compared with the volume of incoming precipitation and groundwater for chloride lakes is significantly higher than for soda lakes, therefore the latter are more susceptible to evaporation, and their waters are more mineralized. It is shown that soda lakes are located in a zone of more intensive underground feeding and are directly connected with ground and fractured-formation waters of sedimentary deposits, and in some cases fractured-vein waters of faults, therefore they have a fairly stable hydrological regime, and their morphometric characteristics depend less on climatic characteristics. It has been established that in addition to evaporative concentration, intra-reservoir processes and processes of interaction of water with host rocks participate in the formation of the chemical composition of waters.

Keywords: salt lakes, sulfate reduction, water-rock, evaporation

Причины гидрохимического разнообразия озер обсуждаются многими исследователями, основной причиной является испарение озерных вод, сопровождающееся последовательным осаждением минералов по мере насыщения ими озерных вод, сначала наименее растворимыми карбонатами кальция и магния, а затем сульфатами кальция, натрия и т.д., со сменой химического типа от карбонатного к сульфатному и далее к хлоридному [1–4]. Однако, как показали многочисленные исследования, выпариванием воды пресной, соленой, морской и т.д. не удастся получить содовые воды [5–8].

В то же время доказано, что содовые воды образуются на определенном этапе взаимодействия воды с вмещающими алюмосиликатными и силикатными породами, а конкретно на этапе достижения равновесия вод с карбонатными минералами [9, 10].

Цель исследования – определение основных процессов, контролирующих формирование различных геохимических типов соленых озер Восточного Забайкалья.

Материалы и методы исследования

На территории Восточного Забайкалья в бассейнах рек Ингоды, Онона и внутрен-

него стока находится более сотни озер, некоторые из них возникли при деградации речной сети на фоне аридизации климата, другой вид встречается в районе Торейских озер и в среднем течении р. Онона, они не обнаруживают связи с речной сетью и представляют собой самостоятельные образования [11]. На левобережье р. Онон цепь озерных котловин тяготеет к тектоническим разрывам, фиксирующим зону сочленения Цасучейской впадины с окружающими ее с севера молодыми поднятиями (рис. 1).

На правобережье р. Онон цепь малых озерных котловин локализована в зоне сочленения Цасучейской впадины с Байн-Цаганским и Кысытуйским поднятиями. Малые озерные котловины широко развиты также вдоль побережья озер Барун-Торей и Зун-Торей. Они приурочены к участкам древней денудационной равнины, перекрытой маломощными рыхлыми осадками, и поверхностям цокольных озерных террас. Линейные озерные котловины здесь располагаются над зонами тектонических разрывов северо-западного простирания.

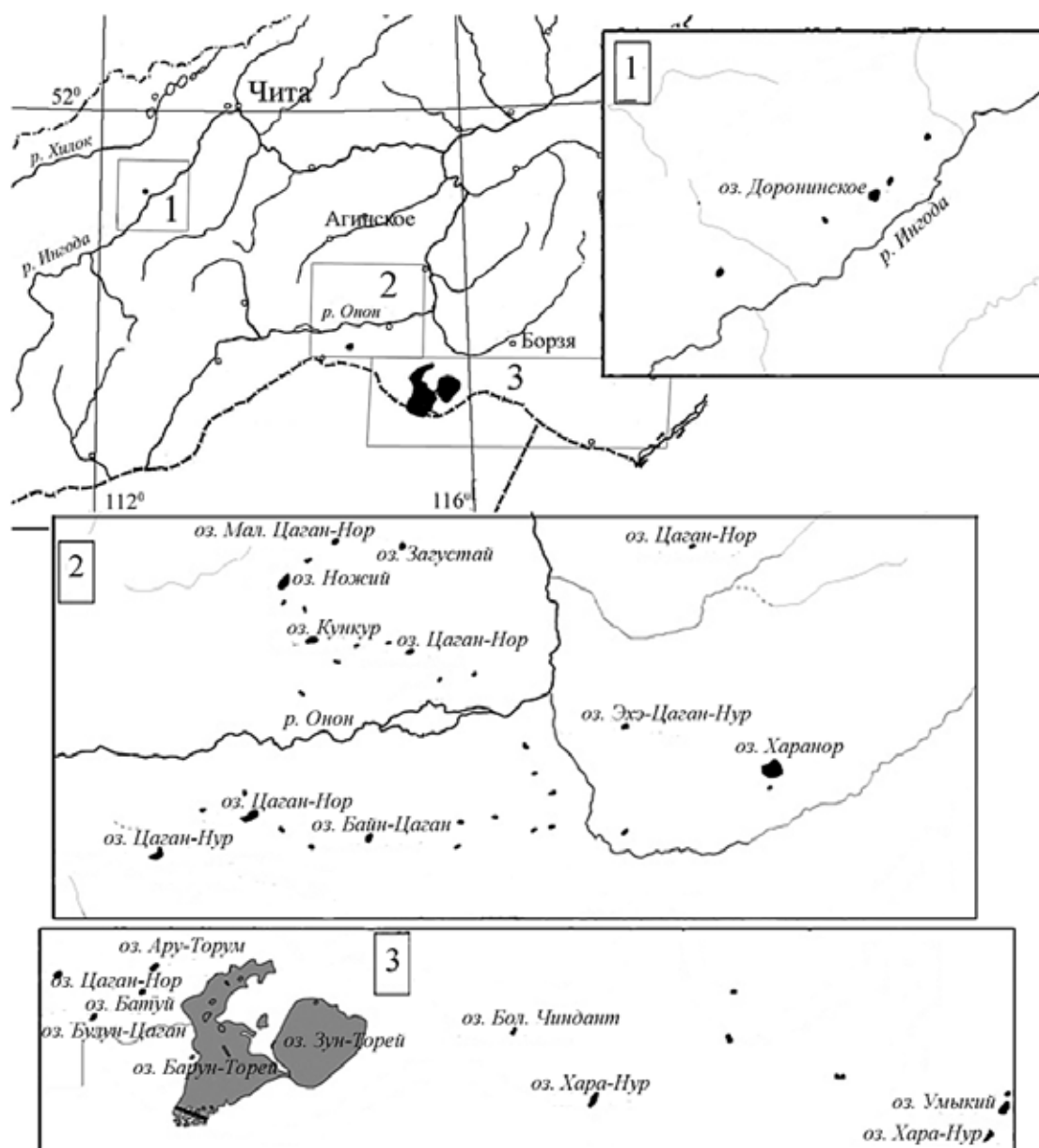


Рис. 1. Схема размещения озер на территории Восточного Забайкалья по приуроченности к речным бассейнам 1 – Ингода, 2 – Онон и области 3 – внутреннего стока

Площади озер варьируют от нескольких десятков квадратных метров до 580 км². Чаще глубина озер не превышает первых метров от зеркала воды. Наиболее глубокие (более 5 м) из изученных озер – Байн-Цаган, Ножий и Доронинское. При всем различии морфометрических параметров водоемов общее у них одно: все они бессточные, с отсутствием поверхностного стока. Многие озера располагаются в замкнутых западинах, имеющих чаще всего характер концевой бассейна, собирающего грунтовые воды определенной территории.

Для того чтобы разобраться во всем многообразии озер, их классифицировали по морфометрическим характеристикам. Для этого были применены снимки с космического аппарата Landsat TM, ETM+ и OLI с разрешением 30 м, с уровнем обработки Level1. Данные были получены посредством сервиса EarthExplorer – <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Обработка снимков и вычисление водных индексов производились с помощью средств Image Classification и Spatial Analyst ArcGIS 10.

Основной отбор проб воды проводился в период с 2013 по 2017 г. Всего было опробовано и проанализировано 97 озер. Исследовался широкий комплекс физико-химических параметров вод, анализ которых был проведен стандартными методами в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН. Концентрации кальция Ca²⁺ и магния Mg²⁺ определялись методом атомной абсорбции в закисно-ацетиленовом пламени на спектрофотометре SOLAAR 6M. Для определения натрия Na⁺ и калия K⁺ использован пламенно-эмиссионный метод. Потенциометрически с применением ионселективных электродов находились O₂, F⁻, pH, Eh, Cl⁻. Титрование применялось для определения содержания ионов CO₃²⁻ и HCO₃⁻. Через бихроматную окисляемость рассчитывался органический углерод C_{орг}. Сульфат-ион SO₄²⁻ анализировался турбидиметрическим методом в виде сернокислого бария. Сероводород (S²⁻) определялся фотометрическим методом. Показатели погрешности измерений концентраций компонентов соответствовали международным требованиям.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ распределения озер по морфометрическим характеристикам показал, что подавляющее их большинство (72 %) относится к числу так называемых небольших озер площадью от 1,0 до 10,0 км² (табл. 1).

Озера с площадью зеркала более 10 км² относительно малочисленны (4 %), но их суммарная площадь сравнительно велика и составляет 82,2 % от общей акватории всех озер региона. Самыми крупными водоемами являются озера Барун-Торей и Зун-Торей, акватории которых в многоводный период приближаются к 500 и 380 км² соответственно.

Согласно классификации [7] было выделено три геохимических типа озер: содовые, к которым отнесли озера с pH ≥ 9,0; хлоридные, если pH < 9,0, а среди анионов преобладает хлор, и сульфатные, если pH < 9,0, но среди анионов доминирует сульфат. Такой подход позволяет сравнивать озера не только по химическому их составу, но и по процессам, участвующим в их формировании.

Наибольшим распространением среди изученных водоемов пользуются озера содового типа, на долю которого приходится 87 %, реже встречаются сульфатные (3 %) и хлоридные (10 %). Основным отличительным признаком первых является их высокая щелочность, достигающая максимальных значений в озере Куджертай (pH = 10,7), при среднем значении по выборке pH = 9,54 (табл. 2).

Между минерализацией вод и значением pH имеет место прямая зависимость с коэффициентом парной корреляции r = 0.7. Они характеризуются относительно высокими концентрациями карбонатного комплекса HCO₃⁻+CO₃²⁻, содержание которого варьирует в широком диапазоне с максимумом в рассольном озере Борзинское (30 г/л), при среднем значении по выборке 2,85 г/л. До солености 15 г/л интенсивнее накапливаются карбонаты, если соленость выше, рост хлоридов опережает рост карбонатов и сульфатов. Среди катионов повсеместно доминирует натрий.

Таблица 1

Распределение озер по размерам их акваторий

Градация озер, км ²	Суммарная площадь, км ²	% от общего количества озер	% от суммарной площади озер
Малые (до 1,0)	20,7	24	2,2
Небольшие (от 1,1 до 10,0)	148,8	72	15,7
Большие (от 10,1 до 100 и выше)	781,0	4	82,2

Таблица 2

Основные химические параметры озер Восточного Забайкалья по выделенным типам

Показатели	Содовый тип, $n = 84$			Сульфатный тип, $n = 3$			Хлоридный тип, $n = 10$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	9,53	9,02	10,74	8,74	8,32	8,90	8,17	7,40	8,70
CO ₂ , мг/л	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	144	132	156
C _{орг} , мг/л	190,6	10,3	7600	21,8	11,4	32,3	72,9	113,4	368,0
S ²⁻ , мкг/л	508	<5,00	370200	19	<5,00	278	469	<5,00	1250
CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻ , г/л	3,1	0,05	30	0,81	0,07	1,8	0,50	0,06	2,1
SO ₄ ²⁻ , г/л	2,2	0,01	62	2,9	0,49	7,6	3,5	0,21	14
Cl ⁻ , г/л	4,2	0,03	134	0,90	0,27	2,1	17,8	1,2	101
F ⁻ , г/л	0,01	0,001	0,41	0,002	0,001	0,005	0,007	0,001	0,04
Ca ²⁺ , г/л	0,02	0,001	0,08	0,05	0,005	0,08	0,10	0,006	0,62
Mg ²⁺ , г/л	0,07	0,001	0,40	0,06	0,03	0,09	0,62	0,01	3,8
Na ⁺ , г/л	5,1	0,27	125	2,2	0,39	5,4	13	1,35	65
K ⁺ , г/л	0,06	0,002	0,44	0,02	0,01	0,04	0,08	0,01	0,24
M, г/л	15	3,1	343	6,9	1,8	17	35	4,6	185

Примечание: 1 – среднее, 2 – минимальное, 3 – максимальное содержание, – данные отсутствуют, М – минерализация воды.

Сульфатный тип озер выделяется относительно низкой минерализацией и незначительным диапазоном варьирования pH вод, среднее значение которых составляет 6,90 и 8,74 г/л соответственно. Самое минерализованное в этой группе водоемов озеро Барун-Шивертуй имеет минимальное значение pH воды и отличается максимальными концентрациями SO₄²⁻ (7,58 г/л), Cl⁻ (2,05 г/л) и HCO₃⁻+CO₃²⁻ (1,70 г/л). При этом на долю карбонатной составляющей в среднем приходится 12 мг-экв. %, а сульфат-ионов – 51 мг-экв. %.

Хлоридные озера отличаются максимальной по всей выборке минерализацией (среднее 35,2 г/л) и минимальным значением pH вод (8,17), между значениями которых имеет место обратная зависимость ($r = -0,9$). Концентрация Cl⁻ в процент-эквивалентных отношениях в среднем равна 80 экв. %, на долю сульфатов приходится 12, а карбонатов – 8 экв. %. Как и в предыдущих двух типах озер, натрий является основным катионом. Калий, кальций и магний находятся здесь в подчиненных количествах.

Анализ значения коэффициента отношений водосборной площади озер S_{водосбор} к площади зеркал самих озер S_{озера} показал, что наиболее крупные с большим объемом воды и большей площадью водосборов – это содовые водоемы, они имеют большие значения коэффициента этого отношения (от 2 до 54, среднее 25). Другая часть озер, отнесенных к малым и небольшим водо-

емам, имеют гораздо меньшее значение (2–10, среднее 9), чаще это относится к хлоридным озерам.

Установлено, что для озер с объемом водной массы от 1 до 0,001 км³ минерализация изменяется от 1,17 до 15 г/л, а при меньших объемах может достигать 50 г/л и более (рис. 2).

Водное питание изученных озер осуществляется атмосферными осадками, выпадающими на зеркало, временными дождевыми потоками и подземными водами [10]. Питание озер небольшими реками и ручьями присуще единичным озерам, но даже в этом случае реки и ручьи существуют периодически во время большого количества атмосферных осадков. Поэтому их доля совместно с ливневым стоком в водном балансе не превышает 10 %, чаще основное питание озера получают с атмосферными осадками [11].

Для пяти содовых и четырех хлоридных типов озер на основе их морфологических и гидроклиматических характеристик проведены расчеты объемов поступающих подземных вод с водосборных площадей озер Vz и испарившейся воды Vx в озерах за год (табл. 3).

Допуская отсутствие подземного стока из озер, поскольку они зачастую являются местным базисом разгрузки подземных вод, принимаем, что расходные статьи представлены только испарением с их водной поверхности.

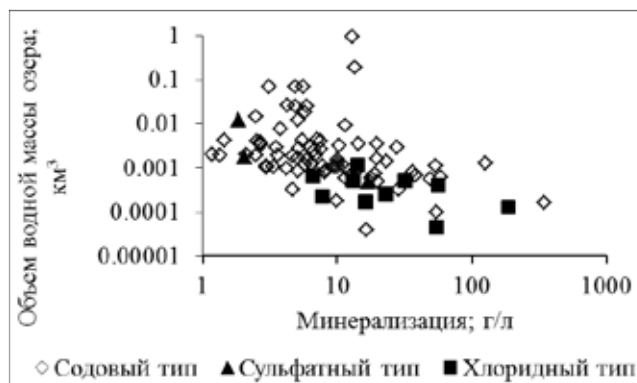


Рис. 2. Зависимость солености озер от их объема

Таблица 3

Основные морфометрические и водно-балансовые характеристики озер

Название	Площадь озера	Глубина	Площадь водосбора	Атмосферные осадки на поверхность озера	Испарение с водной поверхности	Суммарный подземный и поверхностный приток с водосбора	Разница между суммарным притоком и оттоком
	км ²						
Содовый тип							
Зун-Торей	260	7,5	25100	67600	231400	153973	0,96
Доронинское	4,8	8	100	1632	2352	613	0,95
Байн-Цаган	3,36	7,5	65	874	1982	399	0,64
Баян-Булак	1,48	5,5	55	385	873	337	0,83
Ножий	12,3	7,5	171,5	3198	7257	1052	0,60
Хлоридный тип							
Хилганта	0,62	0,5	1,63	161	366	7	0,46
Горбунка	0,95	0,2	2,28	247	561	10	0,46
Бильчир-Нуур	0,65	0,3	5,21	169	384	24	0,50
Дабаса-Нор	0,55	0,3	5,32	143	325	24	0,52

Объем испарения с водной поверхности озера определялся исходя из его площади и величины испарения по [12]. Объем подземного стока, ввиду отсутствия данных, рассчитывался по модулю речного стока определенного района [13] и площади водосбора озера согласно формуле

$$V_z = Q_{\text{ср.}} \cdot t,$$

где $Q_{\text{ср.}}$ – модуль стока (л/с км²), t – время (с).

Как показали расчеты, соотношение приходной и расходной составляющих водного баланса в изученных озерах разное.

Так в содовых озерах отношение приходной части воды к расходной колеблется в пределах 0,60–0,99, а в хлоридных оно значительно ниже и составляет только 0,46–0,52, т.е. количество испарившейся воды существенно выше поступившей за счет атмосферных осадков и с водосборов.

В качестве доказательства различного масштаба испарения, влияния на гидрологический и, как следствие, гидрохимический режимы озер сравнительному анализу были подвергнуты 17 водоемов, из которых – с площадью от 300 до 4 км² – Зун-Торей,

Хара-Нуур и Цаган-Нуур; от 4 до 1 км² – Ганга-Нуур, Борзинское, Шварцивское, Доронинское и Шихалин-Нуур; менее 1 км² – Хараганапш, Барун-Шивертуй, Бильчир-Нуур, Бабье, Куджертай, Большая Булугунда, Хилганта, Горбунка, Цаган-Тором.

За начальную точку отсчета изменения площадей акваторий принят 1989 г., который характеризует гидрологический режим озер в фазу нарастания увлажненности. Начало ее приходится на 1982 г. Данные за 1989–2016 гг. относятся к фазе аридизации климатических условий. Анализ космических снимков показал, что за рассматриваемый период существенно изменились преимущественно площади зеркал малых водоемов, в числе которых в основном озера хлоридного и сульфатного типов (за исключением озера Кука-Азырга), которые полностью высохли к 2016 г. (рис. 3).

В меньшей степени изменения коснулись крупных содовых озер Зун-Торей, Цаган-Нуур, Доронинское, Баин-Цаган, Хара-Нуур.

Согласно геоморфологии района наиболее крупные – содовые озера локализованы в центральных частях депрессий или в пределах их бортов. Они чаще занимают более низкие абсолютные отметки. Так, абсолютные отметки уровней воды содовых озер (для бассейнов р. Онон и внутреннего стока) колеблются от 629 до 657 м, а хлоридных – от 661 до 691 м. Это значит, что содовые озера расположены в зоне более интенсивного подземного питания и непосредственно связаны с грунтовыми и трещинно-пластовыми водами осадочных отложений, а в отдельных случаях – с трещинно-жильными водами разломов [14], поэтому они имеют достаточно стабильный гидрологический режим, а их морфометрические характеристики в меньшей степени зависят от климатических характеристик. Хлоридные озера имеют слабую связь с подземными водами, отчего пересыхают в засушливый период, превращаясь в солончаки.

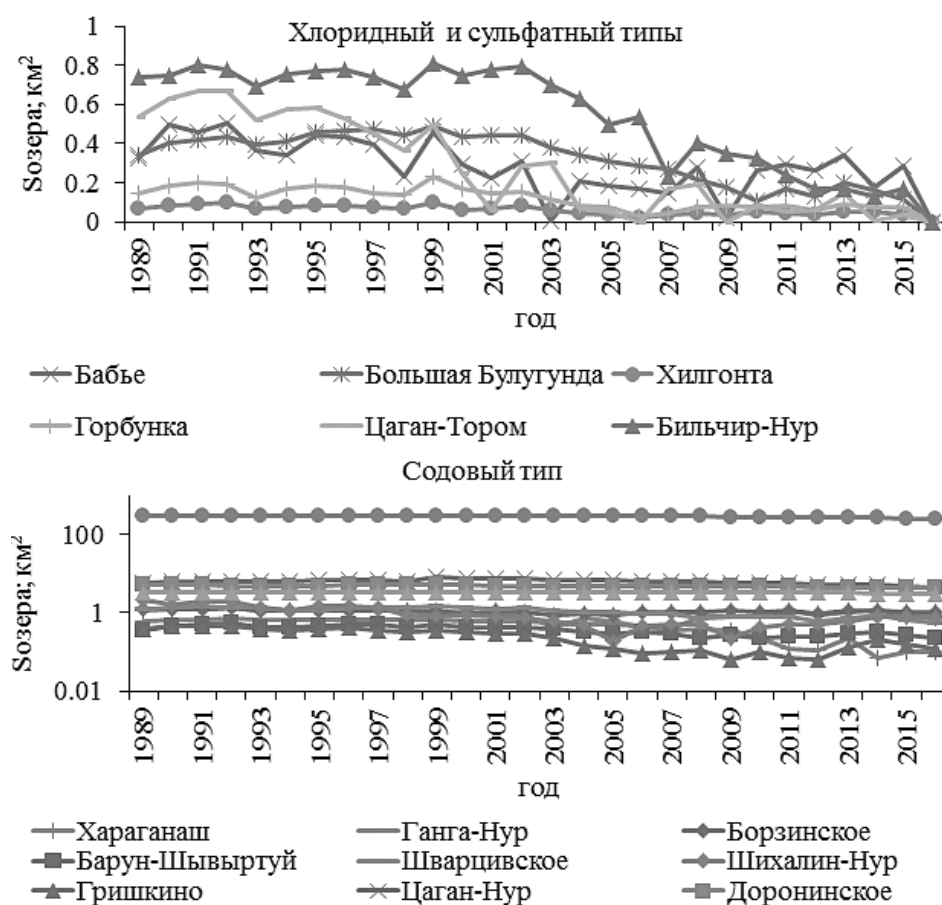


Рис. 3. Изменение площадей водных зеркал соленых озер по выделенным типам за 1989–2016 гг.

Таблица 4

Химический состав озерных вод по данным исследований
в 1987 г. и 2000-х гг. (мг/л)

N п/п	Озера	Дата отбора проб	pH	CO ₃ ²⁺ + HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Содовый тип												
1	Нарым-Булак	13.07.87	9,03	657,7	252,0	2816	3,6	13,3	31,4	2113	16,9	5904
		15.08.13	9,11	3679	130,9	2488	11,1	9,2	64,8	2853	145,4	9381
2	Зун-Торей	14.07.87	9,70	3179	1185	2136	9,7	1,2	47,9	3056	27,8	9643
		15.08.15	9,60	4587	1806	2412	14,7	11,3	40,6	4425,0	81,9	13379
3	Балыктуй	20.08.87	9,07	1090	61,5	316,8	5,0	16,9	46,9	524	32,5	2094
		01.09.15	9,33	1734	145,6	447,4	7,7	11,4	31,8	924	16,0	3318
4	Хадатуй	20.08.87	9,45	2795	262,0	2128	19,0	7,7	83,3	2393	40,2	7728
		01.09.13	9,53	1818	665,4	2925	25,0	1,0	7,2	2840	83,4	8365
5	Байм-Булак	21.08.87	9,00	453,0	44,0	346,5	4,8	14,3	78,1	395	20,7	1356
		01.09.15	9,15	902,0	102,3	431,7	4,4	5,6	129	596	3,0	2174
6	Гашкой	11.08.87	9,13	3196	600,0	4704	8,3	3,1	132,8	4624	88,9	13357
		17.08.13	9,38	5145	1650	6103	13,1	2,5	127,3	6386	114,0	19541
7	Баин-Цаган	17.08.87	9,34	1715	183,3	939,1	6,6	14,0	43,9	1276	56,1	4234
		03.09.15	9,44	2146	147,8	1023,0	7,6	11,8	25,8	1472	23,3	4857
8	Ганга-Нур	14.08.13	9,37	767,0	676,5	1415	6,0	7,7	14,1	1489	10,5	4386
		04.09.14	9,71	1236	1416	1651	13,8	39,8	25,5	2100	4,7	6487
9	Харанор	13.08.87	9,40	1180	720,0	790,0	5,5	19,3	55,0	1176	9,9	3956
		06.09.15	9,37	1679	1216	887,2	5,7	18,8	36,0	1765	4,4	5612
10	Хараганаш	14.08.87	9,16	847	1647	634,8	4,5	14,8	245,8	657	120,0	4551
		15.08.13	9,83	1192	1680	886,3	3,4	3,1	54,4	1496	306,3	6622
Хлоридный тип												
11	Укшинда	12.08.09	8,90	1661	166,0	1030	9,5	9,7	94,9	1168	43,6	4183
		06.09.15	8,94	2285	299,1	1697	12,8	6,2	41,8	1945	21,4	6308
12	Горбунка	13.08.13	8,08	109,0	2100	12053	0,7	59,1	468	7830	103	22723
		20.08.14	7,47	355,5	13680	101088	0,4	160	3795	65000	237	184650
13	Дабаса-Нор	13.08.09	8,51	395,8	1710	3727	1,0	58,7	1279	2943	261,0	10375
		18.08.13	7,45	204,0	7500	26580	0,3	129,0	607,6	19475	177,2	54673
14	Бабье	13.08.09	8,88	598,8	170,0	415,3	4,4	73,1	145,2	318,4	2,1	1647
		18.08.13	8,70	377,0	1013	2836	2,6	22,6	104,3	2229	17,4	6602

Примечание: М – минерализация.

Многолетние наблюдения за гидрохимическим состоянием соленых озер показывают, что во влажные периоды происходит разбавление воды, а в засушливые, напротив, ее концентрирование. В качестве примера различных масштабов влияния климатических характеристик на соленость озер выбраны результаты гидрохимических исследований на озерах, локализованных в бассейне р. Онон, выполненных с разрывом более чем

в 20 лет в разные фазы климатического увлажнения территории. В настоящую фазу аридизации климатических условий изменились не только морфометрические характеристики озер, но и существенно выросла соленость вод в сохранившихся озерах (табл. 4).

Соленость воды в рассматриваемых озерах в первый срок варьировала в пределах 1,76–14,4 г/л и была существенно ниже, чем во второй – 2,17–42,4 г/л.

Таблица 5

Состав и индекс насыщения SI озерных вод вторичными минералами
по выделенным типам и подтипам минеральных озер (расчет по MINTEQ)

Минералы		Содовый			Сульфатный			Хлоридный		
		Сред.	Мин.	Мак.	Сред.	Мин.	Мак.	Сред.	Мин.	Мак.
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Каолинит	0,63	0,5	5,6	2,5	0,93	5,6	2,8	0,10	11
$Ca(Si_4Al_2)O_{12} \cdot 4H_2O$	Ломонтит	5,1	-2,8	8,7	-2,2	-2,2	-2,5	-2,7	-3,8	-2,9
$CaCO_3$	Кальцит	1,1	-0,12	2,2	0,33	-0,48	1,5	-0,42	-1,7	0,17
$CaMg(CO_3)_2$	Доломит	3,3	-0,02	4,9	2,0	0,26	3,2	0,20	-2,4	1,8
CaF_2	Флюорит	-1,0	-4,9	0,95	-2,0	-2,6	-1,2	-1,5	-3,2	0,29
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Гипс	-2,6	-3,7	-1,4	-1,5	-2,3	-0,95	-1,5	-2,8	0,01
$MgCO_3$	Магнезит	1,0	0,1	1,8	0,20	0,04	0,60	0,53	0,3	0,98
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ м	Монтмориллонит	3,8	1,6	3,5	1,4	-1,2	1,5	2,6	-2,2	5,0
$FeS \cdot 2H_2O$	Гидротроилит	-1,9	-11	2,2	-5,1	-12	-1,7	-5,4	-13	-0,36
$FeO(OH)$	Гетит	6,7	3,1	8,5	7,8	7,4	8,1	7,0	5,1	10
Fe_2S_4	Грейгит	4,6	-33	27	-0,03	-28	6,8	-0,81	-28	18
$Fe^{3+}O(OH)$	Лепидокрокит	5,8	2,2	7,6	6,9	6,5	7,2	6,1	4,2	9,5
$(Fe,Ni)_{1+x}S$ (x=0-0,07)	Макинавит	-1,3	-10	2,8	-4,4	-11	-1,0	-4,7	-12	0,30
FeS_2	Пирит	22	-31	44	-16	-69	20	10	-6,4	20
$FeCO_3$	Сидерит	0,20	-5,1	2,3	-0,90	-1,2	-0,5	-1,4	-3,8	3,2
$Mn^{2+}Mn^{3+}O_4$	Гаусманнит	-7,2	-62	10	-45	-11	-10	-21	-28	-14
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Натрон	-4,7	-9,6	-2,3	-5,6	-6,4	-4,1	-5,4	-7,4	-4,2
$NaCl \cdot 2H_2O$	Гидрогалит	-3,8	-5,6	-2,6	-3,8	-4,5	-3,0	-2,4	-3,6	-0,6

Примечание: отрицательное значение SI означает, что воды недосыщены по отношению к минералу, положительное – пересыщены (возможно, его осаждение в донный осадок). Условие равновесия $SI = \pm 0,3$.

Сравнение результатов за разные периоды показало, что минерализация воды в хлоридных озерах может повышаться за короткий отрезок времени в несколько раз в зависимости от исходной ее величины и объема воды в конкретном водоеме. По средним оценкам соленость содовых озер более чем за 20 лет выросла всего в 2,5 раза, а хлоридных за 1–4 года изменилась в 7 раз. Изменение химического состава вод при увеличении солености также различно. В случаях хлоридных озер происходит закономерный рост преимущественно относительного содержания хлоридов, а в содовых озерах карбонатные компоненты накапливаются более интенсивно, непропорционально хлору в обоих типах увеличиваются содержания сульфатов.

В соленых озерах приходные статьи гидрохимического баланса карбонатов кроме поступления с подземным и поверхностным стоком складываются также за счет двух процессов: разложения воды в результате

гидролиза алюмосиликатных пород ложа озер и минерализации растворенных и накапливающихся в донных осадках органических веществ ($C_{орг}$) [15, 16]. Одним из источников CO_2 служит $C_{орг}$, подвергающийся бактериальной деструкции детрит, который поступает с водосборов и продуцируется в самих водоемах сообществами микроорганизмов. В соленых озерах Восточного Забайкалья суммарная бактериальная продукция ОВ оценивается до 33,6 мг $C/(m^2 \cdot \text{сут.})$ [17], а содержание $C_{орг}$ достигает 7600, при среднем значении 173 мг/л.

С микробиологическими процессами связано и отставание в накоплении в озерных водах сульфат-иона. Происходит это исключительно вследствие процессов сульфатредукции. Содержание S^{2-} в озерах изменяется от предела обнаружения (5 мкг/л) до 370 мг/л. Из рассматриваемых водоемов сульфатредукция максимально проявлена в озерах Доронинское, Хилганта, Горбунка, Хоточей, Шварциское, Бол. и Мал. Якши.

Из изученных в микробиологическом отношении озер Доронинское, Барун-Торей, Горбунка и Хилганта наиболее интенсивно процесс восстановления сульфатов протекал в первом, скорость сульфатредукции достигала 28 мгS/дм³·сут. И только в редких случаях, когда в озере сульфатредукция проявлена слабо, а горные породы содержат сульфиды, имеет место окисление сульфидов. Содержание сульфатов в таких озерах растет вплоть до образования сульфатных озер.

Важным фактором формирования химического состава озер является осадкообразование, связанное с насыщением воды по определенным минеральным фазам. По данным термодинамических расчетов, для озер характерен карбонатный тип седиментации (табл. 5), в составе гидрогенных выпадений основными являются кальцит, доломит, магнезит, сидерит, в незначительном количестве могут присутствовать глинистые минералы (каолинит, монтмориллониты, иллиты), цеолиты (ломонтит, пренит) и др.

Судя по многим озерам, при сульфатредукции донные осадки содержат сульфиды металлов, в особенности железа. На возможность формирования в озерах сульфидов железа указывают и термодинамические расчеты. Гипсовая стадия минералообразования, несмотря на достаточно высокую в ряде случаев соленость озер, не наступает, что главным образом обусловлено мобилизацией кальция карбонатными минералами. Появление геохимических барьеров в виде вторичных минералов меняет направленность формирования состава вод: ограничение концентрирования Са, Mg и К автоматически обеспечивает среди ведущих катионов рост содержаний Na (табл. 1, 2).

Если количество карбонатных ионов в озере не растет или растет медленно из-за связывания их выпадающими карбонатными минералами, а испарение велико, то содержание хлора становится более высоким, а тип переходит в хлоридный. Вероятно, в хлоридных озерах вода испаряется быстрее, чем происходит концентрирование OH⁻, поэтому растут соленость и содержание хлора, а количество карбонатов остается относительно низким [18, 19].

Заключение

В близких ландшафтно-климатических условиях широко распространены разнообразные по составу, солености и морфометрическим характеристикам озера. Аридный климат района исследований

определяет высокую степень их испарения. Проведенный нами расчет по соотношению объемов вод приходной и расходной частей водного баланса показал, что объем испаряющейся воды по сравнению с объемом поступающей с атмосферными осадками и подземными водами для хлоридных озер существенно выше, чем для содовых озер, поэтому последние в большей степени подвержены испарению, а их воды более минерализованные. Испарительное концентрирование вод – важный процесс формирования озер, но далеко не единственный. Другими значимыми процессами являются гидролиз алюмосиликатных пород, осадкообразование и минерализация органического вещества, контролирующая в озерах содержание углекислотных производных и сульфат-ионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-17-00035 «Экология и эволюция водных экосистем в условиях климатических флуктуаций и техногенной нагрузки».

Список литературы

1. Шварцев С.Л. Созидательная функция воды в формировании окружающего мира // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. № 9. Вып. 4. С. 1275–1291.
2. Zheng M. Saline lakes and salt basin deposits in China. Beijing: Science Press, 2014. 321 p.
3. Sánchez-España F.J., Díez-Ercilla M., Pérez-Cerdán F., Yusta I. and Boyce A. Hydrological investigation of a multi-stratified pit lake using radioactive and stable isotopes combined with hydrometric monitoring. *Journal of Hydrology*. 2014. No. 511. P. 494–508.
4. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 359 с.
5. McCaffrey M.A., Lazar B., Holland H.D. The evaporation path of seawater and the coprecipitation of Br and K⁺ with halite. *J. Sedim. Petrol.* 1987. V. 57. P. 928–937.
6. Brooks R., Gibson J.J., Birks J., Weber M.H., Roden K.D., Stoddard J.L. Stable isotope estimates of evaporation: inflow and water residence time for lakes across the United States as a tool for national lake water quality assessments. *Limnology Oceanography*. 2014. Vol. 59 (6). P. 2150–2165. DOI:10.4319/lo.2014.59.6.2150.
7. Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С. Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии // *Геохимия*. 2014. № 5. С. 432–449.
8. Борзенко С.В. Геохимия соленых озер Восточного Забайкалья: дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Чита: ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 2018. 271 с.
9. Напрасникова В.Т. Анализ составляющих водного баланса озер // *Вопросы гидрологии Забайкалья. Записки Забайкальского филиала Географического общества СССР: темат. сб.* / Отв. ред. А.Т. Напрасников, А.И. Сизиков. Чита, 1972. Вып. 85. С. 17–25.
10. Гидрохимия рек и озер в зоне резко континентального климата / Под ред. А.В. Иванова. Владивосток: ДВГУ, 1977. 128 с.
11. Иванов А.В., Трофимова Л.Н. Гидрохимия озер Центрального Забайкалья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. 140 с.

12. Географический анализ природных ресурсов Иркутской области / АН СССР, Сиб. отделение, Институт географии; отв. ред. А.Н. Антипов. Иркутск, 1985. 174 с.
13. Обязов В.А., Кирилюк В.Е., Кирилюк А.В. Торейские озера как индикатор многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. № 3. С. 204–232.
14. Еникеев Ф.И. Происхождение и эволюция озер Забайкалья. Новосибирск: Наука, 2021. 132 с.
15. Shvartsev S.L. The basic contradiction that predetermined the mechanisms and vector of global evolution. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. № 85. Вып. 4. С. 342–351.
16. Borzenko S.V., Shvartsev S.L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia). Applied Geochemistry. 2019. No. 103. P. 72–84. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2019.02.014.
17. Намсараев Б.Б., Бархутова Д.Д. Содовые озера южного Забайкалья – уникальные экосистемы // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2018. № 1. С. 82–86.
18. Лепокурова О.Е., Шварцев С.Л. Геохимические особенности содовых вод Чулымо-Енисейского артезианского бассейна (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 5. С. 718–731.
19. Шварцев С.Л. Созидательная функция воды в окружающем мире // Подземные воды востока России. Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). / Отв. ред. Д.А. Новиков, С.В. Алексеев, А.Ф. Сухорукова. 2018. С. 42–46.

УДК 551.799:502.6(261.24)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА

Чечко В.А., Топчая В.Ю.

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Москва, e-mail: che-chko@mail.ru

Представлены результаты исследований пространственного распределения тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Co) в поверхностном слое донных отложений Калининградского залива. Он занимает северо-восточную половину Вислинского залива – крупнейшего бассейна лагунного типа Балтийского моря, расположенного в его юго-восточной части. Исследования выполнялись в трех седиментационных районах, выделенных по морфологическим, гидродинамическим и литологическим особенностям – эстуарии р. Преголя, прибалтийском и юго-западном. Содержания тяжелых металлов были изучены в 29 образцах донных отложений, отобранных во всех седиментационных районах. Пространственное распределение изучаемых тяжелых металлов весьма неоднородно по площади всего залива. Пределы изменений концентраций Co составляют от 0,81 до 15,3 мг/кг, Cu – от 1,6 до 28,4, Ni – от 2,0 до 25,7 и Pb – от 1,2 до 16,4 мг/кг. В заливе выделены зоны повышенного содержания микроэлементов в донных осадках залива. Одна из таких зон находится в среднем участке эстуарного района, где распространены илистые отложения. В ней выявлены наибольшие для залива содержания Co (15,3 мг/кг) и Ni (25,7 мг/кг). Другой участок с высокими содержаниями тяжелых металлов расположен в юго-западной седиментационной зоне в местах развития самых тонких из донных отложений – глинистых илов. Здесь выявлены максимальные для залива содержания Cu (28,4 мг/кг) и Pb (16,4 мг/кг). Наименьшие содержания тяжелых металлов выявлены в песчаных отложениях прибалтийского района. Средние значения концентраций исследуемых металлов в донных осадках Калининградского залива не превышают геохимического фона, а также кларка в земной коре, т.е. в целом в осадках залива не прослеживается техногенной составляющей тяжелых металлов.

Ключевые слова: Калининградский залив, донные отложения, зоны седиментации, тяжелые металлы

SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE KALININGRAD BAY

Chechko V.A., Topchaya V.Yu.

Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: che-chko@mail.ru

The results of studies of the spatial distribution of heavy metals (Pb, Cu, Ni, Co) in the surface layer of bottom sediments of the Kaliningrad Bay are presented. It occupies the north-eastern half of the Vistula Lagoon, the largest lagoon-type basin of the Baltic Sea, located in its south-eastern part. The studies were carried out in three sedimentation areas identified by morphological, hydrodynamic and lithological features – the estuaries of the Pregolya River, the Baltic and the south-western. The contents of heavy metals were studied in 29 samples of bottom sediments collected in all sedimentation areas. The spatial distribution of the studied heavy metals in the Bay is very heterogeneous. The limits of changes in the concentrations of Co are from 0.81 to 15.3 mg/kg, Cu from 1.6 to 28.4, Ni from 2.0 to 25.7, and Pb from 1.2 to 16.4 mg/kg. In the Bay, zones of increased content of trace elements in the bottom sediments of the Bay were identified. One of these zones is located in the middle of the estuary area, where silty deposits are prevalent. It contained the highest concentrations of Co (15.3 mg/kg) and Ni (25.7 mg/kg) for the Bay. Another area with high concentrations of heavy metals is located in the south-western sedimentation zone in the places where the thinnest of bottom sediments, clayey silts, develop. Here the maximum concentrations of Cu (28.4 mg/kg) and Pb (16.4 mg/kg) were found for the Bay. The lowest concentrations of heavy metals were found in the sandy deposits of the Baltic area. The average values of the concentrations of the studied metals in the bottom sediments of the Kaliningrad Bay do not exceed the geochemical background, as well as the clark in the earth's crust, that is, in general, the technogenic component of heavy metals is not traced in the sediments of the Bay.

Keywords: Kaliningrad Bay, bottom sediments, sedimentation zones, heavy metals

Калининградским заливом называется северо-восточная половина мелководного (максимальная глубина 5,2, средняя 2,7 м) Вислинского залива – крупнейшего бассейна лагунного типа Балтийского моря, расположенного в его юго-восточной части. Это трансграничный водоем с площадью водного зеркала 838 км², из которых 472,5 км² – акватория России (Калининградский залив). От моря залив отделяется песчаной косой, а водообмен с ним осуществляется через узкий судовой Балтийский пролив (рисунок).

Акватория Вислинского залива по своим морфологическим, гидродинамическим и ли-

тологическим особенностям характеризуется отчетливо выраженной пространственной неоднородностью, позволившей выделить в нем несколько седиментационных районов [1]. Калининградский залив включает в себя эстуарий р. Преголя, Приморскую бухту, прибалтийский и юго-западный районы (рисунок). Основными источниками поступления осадочного материала и сопутствующих загрязняющих веществ в акваторию залива являются речной сток, атмосферный перенос, диффузное поступление с прибрежных территорий, а также регулярное ветроволновое взмучивание донных отложений [2].

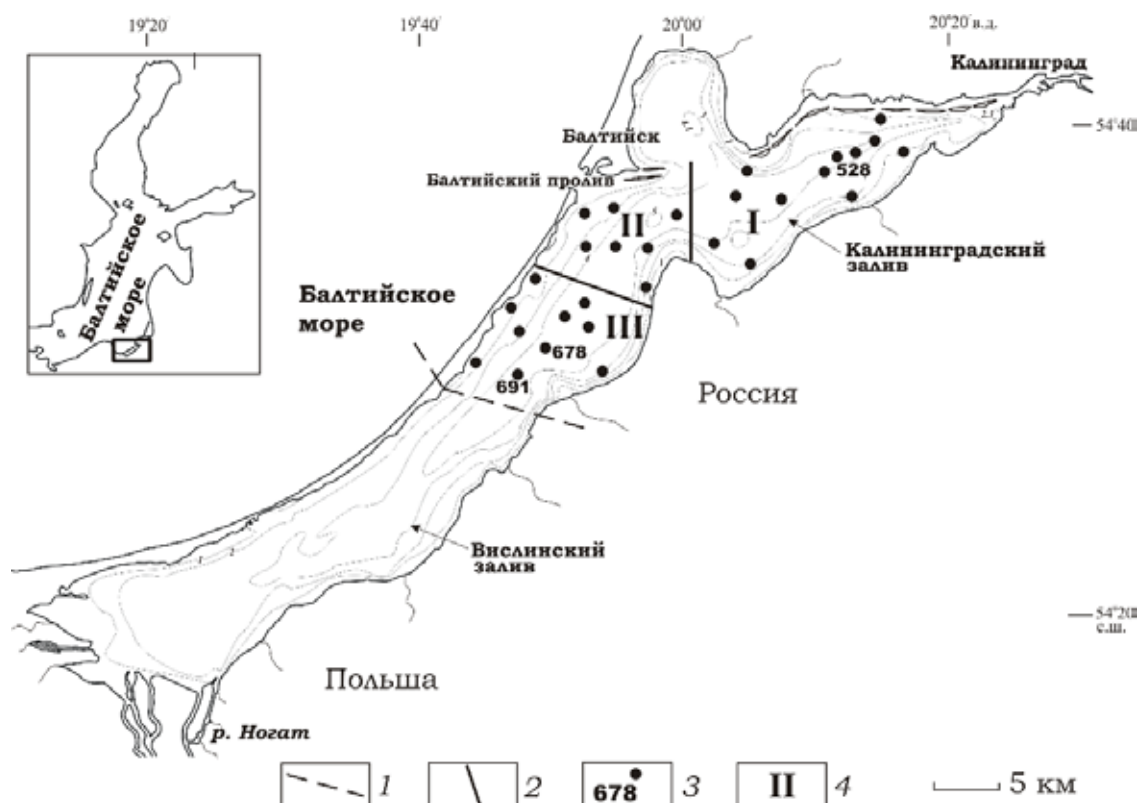


Схема расположения станций в акватории Калининградского залива:
 1 – государственная граница; 2 – границы седиментационных районов;
 3 – точки отбора образцов донных осадков и их индекс; 4 – районы седиментации;
 I – эстуарий р. Преголя; II – прибалтийский; III – юго-западный

Донные отложения (далее – ДО), как важнейший компонент водной экосистемы, представляют интерес для многих специалистов. Они являются депонирующей средой, где происходит обмен веществом и энергией, и уникальным естественным источником информации о климатических, геохимических, экологических условиях, существовавших в историческом прошлом на водосборе и в самом водоеме. ДО способны накапливать загрязняющие вещества, включая тяжелые металлы и, в свою очередь, могут послужить источником «вторичного» загрязнения. Этим обуславливается необходимость всестороннего изучения ДО и включения их в перечень важнейших объектов экологических и эколого-геохимических исследований. Особенно это актуально для водных бассейнов, находящихся под сильной антропогенной нагрузкой, так как ДО можно использовать в качестве индикатора степени воздействия процессов техногенеза на экологическое состояние водоема [3–5]. Цель данной работы заключалась в оценке содержания тяжелых

металлов (Pb, Cu, Ni, Co) и в выяснении особенностей их пространственного распределения в поверхностном слое донных осадков Калининградского залива Балтийского моря.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена по данным экспедиционных исследований, проведенных в летний сезон 2021 г. Образцы ДО были отобраны во время литологической съёмки Калининградского залива на 29 станциях, охватывающих все районы залива и все типы донных отложений (рисунок). Образцы из верхнего (0–7 см) слоя осадков отбирались с помощью пробоотборника Петерсена (площадь захвата 0,025 м²). Для последующего анализа использовалась часть осадка, не имеющая прямого контакта со стенками пробоотборника. Первичная обработка полученных образцов донных осадков осуществлялась по методике, используемой в Институте океанологии РАН в морских геологических экспедициях. Гранулометрический анализ донных отложений определялся по массо-

вому содержанию частиц различной крупности в процентах от массы исследуемого образца. Он выполнялся ситовым (фракции $> 0,04$ мм) и водно-механическим (фракции $< 0,04$ мм) методами [6]. На основании результатов анализа и в соответствии с классификацией Ч. Вентворта выделялись пески (2,0–0,063 мм), алевриты (0,063–0,004 мм) и глинистые илы ($< 0,004$ мм). Учитывая содержание преобладающей фракции в гранулометрическом составе, были выделены следующие гранулометрические типы ДО: пески (содержание песчаной фракции $\geq 65\%$) и алевритово-глинистые илы (содержание мелкоалевритовой и глинистой фракций $\geq 65\%$).

Определение содержания тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Co) в донных отложениях проводилось методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП), с использованием спектрометра OPTIMA 2100DV. Всего, таким образом, содержания тяжелых металлов были определены в 29 образцах ДО, отобранных во всех седиментационных районах (рисунок).

Результаты исследования и их обсуждение

Как было отмечено выше, в акватории Калининградского залива по морфологическим, гидродинамическим и литологическим особенностям выделено несколько седиментационных районов.

Эстуарий реки Преголя (восточная часть залива) находится под воздействием речного стока, судоходного канала и регулярных сгонно-нагонных явлений. Это преимущественно аккумулятивная зона с наличием в ее осевой

части локальных пятен с максимальными (30–60 см) для залива мощностями современных отложений. В этом районе залива значительные площади дна заняты песками и ракушняками, в то же время здесь отсутствуют алевритово-пелитовые илы, характерные для других районов. В эстуарии р. Преголя на предмет определения содержания тяжелых металлов были изучены 14 образцов ДО.

Среднее содержание Со в поверхностном слое ДО эстуария р. Преголя составило 4,3 мг/кг, максимальное содержание было зарегистрировано на уровне 15,3 мг/кг, а минимальное – 1,1 мг/кг. Концентрации Си и Рb оказались достаточно близкими к этим значениям (табл. 1), а содержание Ni в ДО эстуарной зоны было значительно выше – в среднем 15,4 мг/кг при диапазоне значений 3,5–25,7 мг/кг.

Специфика *прибалтийского седиментационного района* определяется наиболее сложным рельефом со значительным перепадом глубин, повышенной гидродинамической активностью и доминированием песчаных отложений на поверхности дна. Он, в отличие от других районов залива, находится под непосредственным воздействием морских вод, поступающих через Балтийский пролив. Содержания тяжелых металлов были определены в 9 образцах ДО, полученных в этом районе.

По сравнению с эстуарием р. Преголя, содержания тяжелых металлов в ДО прибалтийского района были значительно ниже. Например, средние значения концентраций Со и Ni оказались меньше почти в два раза, средние концентрации Си и Рb в ДО прибалтийского района также были несколько меньше, чем в ДО эстуарной зоны (табл. 1).

Таблица 1

Концентрация тяжелых металлов в донных отложениях Калининградского залива
в изучаемых седиментационных районах

Седиментационный район	Концентрация	Тяжелые металлы, мг/кг			
		Со	Си	Ni	Pb
Эстуарий р. Преголя	Средняя	4,3	5,6	15,4	6,4
	Максимальная	15,3	16,4	25,7	12,6
	Минимальная	1,1	1,9	3,5	1,8
Прибалтийский	Средняя	2,8	5,2	8,0	5,4
	Максимальная	7,4	12,5	13,2	9,4
	Минимальная	1,1	1,6	2,0	1,2
Юго-Западный	Средняя	3,8	10,5	9,8	8,8
	Максимальная	12,8	28,4	25,2	16,4
	Минимальная	0,81	2	2,1	1,9

При этом минимальные значения содержания тяжелых металлов в ДО прибалтийского и эстуарного районов отличались незначительно, а максимальные – довольно значительно. Так, максимальные содержания Co и Ni в ДО прибалтийского района были в два раза ниже, чем в ДО эстуарной зоны, а минимальные концентрации этих элементов были практически идентичны (табл. 1).

Юго-западный седиментационный район по своим гидродинамическим условиям преимущественно аккумулятивный, с широким развитием мелкоалевритовых илов (62% от площади дна). Характерная его особенность – наличие глинистых илов (самых тонких из осадков, распространенных в заливе), пятно которых находится в осевой области, примыкающей к российско-польской границе. В этом районе для определения содержания тяжелых металлов были изучены 14 образцов ДО.

Средние содержания всех изучаемых тяжелых металлов в ДО этого района превышали средние содержания, выявленные в ДО прибалтийского района (табл. 1). В то же время средние концентрации Co и Ni были ниже, чем в эстуарном районе, а Cu и Pb – выше. В юго-западном районе зафиксировано наибольшее для ДО залива содержание Cu (28,4 мг/кг), а также Pb (16,4 мг/кг).

Пространственное распределение изучаемых тяжелых металлов весьма неоднородно по площади всего залива. Об этом свидетельствуют средние, максимальные и минимальные концентрации элементов в ДО, представленные в табл. 2. Пределы изменений концентраций Co составляют от 0,81 до 15,3, Cu – от 1,6 до 28,4, Ni – от 2,0 до 25,7 и Pb – от 1,2 до 16,4 мг/кг. Известно [7], что интенсивность аккумуляции донными осадками загрязняющих

веществ зависит от их вещественно-генетического типа. Максимальное накопление свойственно илистым отложениям, минимальное – песчаным, поэтому в данной таблице приведены средние концентрации тяжелых металлов, рассчитанные отдельно для различных типов донных отложений.

Анализ пространственного распределения тяжелых металлов позволил выделить зоны повышенного содержания микроэлементов в ДО залива. Одна из таких зон находится в углубленном, срединном участке эстуарного района на трассе старого фарватера, где распространены илистые отложения. В образцах ДО, отобранных на расположенной в этой зоне станции № 528, были выявлены наибольшие для залива содержания Co (15,3 мг/кг) и Ni (25,7 мг/кг), а также повышенные значения Cu (16,4 мг/кг) и Pb (12,4 мг/кг). Это обусловлено тем, что углубление старого фарватера является одним из немногочисленных устойчивых аккумулятивных участков с высокими скоростями осадконакопления, выполняющего роль естественной ловушки для загрязняющих веществ, поступающих, в частности, с выносами рек, дренирующих территории прибрежных городов и поселков [2, 8].

Другой участок с высокими содержаниями тяжелых металлов расположен недалеко от польской половины залива, в юго-западной седиментационной зоне в местах развития самых тонких из ДО – глинистых илов. На станции № 678, расположенной в этой зоне, были выявлены максимальные для залива содержания Cu (28,4 мг/кг), а на станции № 691 – максимальные содержания Pb (16,4 мг/кг). В образцах ДО, отобранных на этих станциях, определены также повышенные концентрации и других элементов.

Таблица 2

Средние и фоновые значения концентраций тяжелых металлов (мг/кг)
в различных типах донных отложений Калининградского залива

Элемент	Все типы осадков		Пески		Илы		Фоновое значение	
	Среднее значение	Пределы колебаний	Среднее значение	Пределы колебаний	Среднее значение	Пределы колебаний	Пески	Илы
Co	3,6	0,81–15,3	1,6	0,8–2,9	5,8	1,7–15,3	2,0	7,0
Cu	7,1	1,1–28,4	3,1	1,1–5,5	11,1	1,9–28,4	2,0	18,0
Ni	11,2	2,0–25,7	8,2	2,0–20,0	14,1	6,6–25,7	6,0	37,0
Pb	6,9	1,2–16,4	4,3	1,2–11,0	8,3	1,8–16,4	5,0	9,0

Ареал глинистых илов, обозначенный в юго-западной седиментационной зоне, продолжается и значительно расширяется в польской половине залива. Значения концентраций тяжелых металлов, определенные нами и польскими специалистами [9] в пределах ареала глинистых илов, оказались вполне сопоставимы. Это дает основания полагать, что выявленные здесь высокие содержания тяжелых металлов связаны, прежде всего, с гранулометрическим составом ДО. В то же время нельзя исключать влияние сложившихся гидродинамических особенностей на накопление в глинистых илах тяжелых металлов. Их распространение является областью обособленных циркуляций, где, согласно [8], нередко формируются динамически застойные условия, характеризующиеся высокими уровнями концентрации загрязняющих веществ в ДО.

Что касается содержаний тяжелых металлов в песчаных отложениях залива, то они были значительно ниже, чем в илах. Так, концентрация Co в песках в среднем составляла 1,6 мг/кг, в илах – 5,8 мг/кг, Cu – 3,1 мг/кг в песках и 11,1 мг/кг в илах, Ni – 8,2 мг/кг в песках и 14,1 мг/кг в илах и Pb – 4,3 и 8,3 мг/кг соответственно.

Так как в настоящее время не существует действующих нормативных документов, устанавливающих уровни ПДК для тяжёлых металлов в ДО, то для оценки степени загрязнения ДО был применен метод сравнения данных по фоновым концентрациям тяжелых металлов с их содержаниями в поверхностных слоях ДО. В качестве природного фона мы использовали результаты анализов образцов осадков из нижних слоев литологической колонки, в которых антропогенный след отсутствует, а содержания ТМ можно заведомо считать «доиндустриальными». Колонка ZW6 длиной 600 см была отобрана в польской части залива, фоновые концентрации тяжелых металлов для илистых отложений были взяты с горизонта 550 см, а для песчаных – с горизонта 590 см [9].

Средние значения концентраций тяжелых металлов в поверхностных слоях ДО и фоновые значения приведены в табл. 2. Как следует из полученных данных, средние значения концентраций исследуемых металлов в илистых отложениях Калининградского залива не превышают геохимического фона. При этом среднее значение Ni более чем в два раза ниже фонового, а концентрации остальных элементов в илистых ДО не так заметно отличаются от фоновых

значений. В песчаных отложениях залива содержания тяжелых металлов практически идентичны их фоновым значениям. Различия состоят лишь в том, что концентрация Ni и Cu незначительно выше, а Co и Pb – несколько ниже их фоновых концентраций.

Средние значения концентраций тяжелых металлов в ДО каждого из седиментационных районов залива были также сопоставлены с кларком содержания рассматриваемых элементов в земной коре [10]. В результате выявлено, что содержание в донных осадках Co, Cu, Ni и Pb во всех районах значительно ниже их содержаний в земной коре. Например, наибольшее (среднее других районов залива) среднее значение Ni (15,4 мг/кг), рассчитанное для илистых отложений эстуария р. Преголя, было почти в три раза ниже его кларка (47 мг/кг) [10]. Наименьшие содержания (относительно кларков) всех рассматриваемых тяжелых металлов выявлены в песчаных отложениях прибалтийского района, что, вероятно, связано с высокой «промываемостью» района морскими водами через Балтийский пролив и доминированием песчаных отложений. В ДО юго-западной части залива наиболее приближенными к кларковым значениям оказались содержания Cu (10,5 мг/кг, при среднем содержании в земной коре 28 мг/кг) и Pb (8,8 мг/кг, при среднем содержании в земной коре 17 мг/кг), а концентрации Co и Ni были намного меньше их кларков.

Скудное обогащение ДО залива Co, Cu, и Pb относительно их фоновых значений и кларка в земной коре указывает на то, что, несмотря на антропогенную нагрузку на экосистему залива, в его осадочной толще не происходит аккумуляции тяжелых металлов. Это можно объяснить особенностями современной седиментации, для которой характерны активные процессы ресуспензии, являющиеся мощным механизмом самоочищения донных осадков [11]. При взмучивании сорбированные подвижные формы тяжелых металлов и иные поллютанты частично опять переходят из осадков в воду, частично с илистыми частицами выносятся в море [12, 13].

Заключение

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что тяжелые металлы в ДО Калининградского залива распределены неравномерно. Лидирующую позицию по содержанию занимает Ni, а в минимальных количествах обнаружен Co.

Локальные пятна повышенного содержания металлов находятся в юго-западной седиментационной зоне и в эстуарии р. Преголя, в местах развития илистых отложений. Наименьшие содержания рассматриваемых тяжелых металлов зафиксированы в хорошо промываемых морскими водами песчаных отложениях прибалтийской седиментационной зоны. Выявленные закономерности распределения тяжелых металлов в ДО залива согласуются с известной зависимостью, что интенсивность аккумуляции донными осадками загрязняющих веществ зависит от их вещественно-генетического типа.

Средние значения концентраций исследуемых металлов в ДО Калининградского залива не превышают геохимического фона, а также кларка в земной коре, т.е. в целом в осадках залива не прослеживается техногенной составляющей тяжелых металлов. Скудное обогащение ДО залива Со, Си, и Рb обусловлено активными процессами ресуспензии, не позволяющими аккумулироваться в ДО загрязняющим веществам. Современное состояние ДО способствует нормальному функционированию экосистемы залива.

Экспедиционные исследования и анализ полученных данных выполнялись при поддержке гранта РФФИ р_а № 19-45-390013, интерпретация данных выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Список литературы

1. Chechko V.A. Evolution of sedimentation in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea due to anthropogenic impact. *Revista de la Universidad del Zulia*. 2021. No. 33. P. 131–148.
2. Чечко В.А. Особенности современных процессов осадкообразования в Вислинском и Куршском заливах // Система Балтийского моря / Ред. А.П. Лисицын. М.: Научный мир, 2017. С. 373–380.
3. Forstner U. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 210 p.
4. Даувальтер В.А. Геоэкология донных озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
5. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океаны как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. Т. 2. М.: Научный мир, 2014. С. 331–357.
6. Буданова Т.Е., Озмидов О.Р., Озмидов И.О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // *Инженерные изыскания*. 2013. № 8. С. 66–73.
7. Шимкус К.М., Емельянов Е.М., Тримонис Э.С. Донные отложения и черты позднечетвертичной истории Черного моря // *Земная кора и история развития Черноморской впадины*. М.: Наука, 1975. С. 84–97.
8. Богданов Н.А., Воронцов А.А., Морозова Л.Н. Тенденции химического загрязнения и динамика Калининградского залива // *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31. № 5. С. 576–590.
9. Ustinovich S., Zakhovich J., Uscinowicz S., Zachowicz J. *Geochemical Atlas of the Vistula Lagoon*. Warsaw. 1996. 84 p.
10. Rudnick R.L., Gao S. *Composition of the continental crust. Treatise on Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier. 2003. Vol. 3. P. 1–64.
11. Gic-Grusza G., Dudkowska A. *Vistula Lagoon* / ed. J. Bolalek. PWN Warsaw. 2018. P. 86–89.
12. Chubarenko B., Chechko V., Kileso A., Krek E., Topchaya V. Hydrological and sedimentation conditions in a non-tidal lagoon during ice coverage. The example of Vistula Lagoon in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*. 2019. Vol. 216. P. 38–53.
13. Szymczak E. Characteristics of Sediments in a Changing Environmental Conditions in Vistula Lagoon (Poland). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. 362 012048. P. 1–10.

СТАТЬИ

УДК 66.021.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ
ПОЛИФРАКЦИОННОГО ПЛОТНОГО СЛОЯ РУДНОГО СЫРЬЯ**

Бобков В.И., Орехов В.А.

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал, Смоленск,
e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

В статье рассмотрены вопросы аэродинамики плотного моно- и полифракционного слоя при изотермических и не изотермических условиях. Приведены результаты экспериментального исследования аэродинамического сопротивления шаров различного диаметра, а также их смесей двухфракционных диаметров при различных весовых содержаниях мелкой фракции. Описана схема экспериментальной установки для исследования аэродинамики плотного слоя при высоких температурах, в диапазонах действующих обжиговых конвейерных и агломерационных машин. На примере полифракционной засыпки кускового фосфоросодержащего рудного сырья рассмотрено влияние температурного распределения по высоте на сопротивление слоя в диапазоне температур действующих обжиговых агрегатов. При высокотемпературных процессах, протекающих в зернистых засыпках, и сложностях, обуславливаемых структурой слоя, добавляются факторы, связанные с изменением свойств потока и материала, а в большинстве случаев с изменением структуры слоя под воздействием химических реакций, протекающих при высоких температурах полифракционных засыпок при не изотермических условиях. Представлена методика расчёта сопротивления слоя при не изотермических условиях на основе позонного разделения плотного слоя. Выявлено влияние на сопротивление слоя при высоких температурах свойств потока газа теплоносителя, особенно вязкости, так как она зависит от состава газового потока и сильно от температуры. Зависимость кинематической вязкости от температуры представлена в виде многочлена второй степени по температуре. Исследована аэродинамика полифракционных засыпок в изотермических и не изотермических условиях на примере смесей шаров и кускового фосфоросодержащего рудного сырья.

Ключевые слова: рудное сырьё, плотный слой, аэродинамическое сопротивление, температура, структурная модель, полифракционная засыпка

**AERODYNAMICS STUDY OF POLYFRACTION DENSE LAYER
OF ORE RAW MATERIAL**

Bobkov V.I., Orekhov V.A.

*National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk branch, Smolensk,
e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

The article discusses the aerodynamics of the dense mono- and polyfraction layer under isothermal and non-isothermal conditions. Results of experimental study of aerodynamic resistance of balls of different diameter, as well as their mixtures of two-fraction diameters at different weight contents of fine fraction are given. A scheme of an experimental installation for studying the aerodynamics of a dense layer at high temperatures in the ranges of operating roasting conveyor and agglomeration machines is described. On the example of polyfraction filling of chunky phosphorus-containing ore raw materials, the influence of the temperature distribution in height on the resistance of the layer in the temperature range of operating calcination units is considered. In high temperature processes occurring in granular backfills and the complexity of the structure of the layer, factors associated with changes in the properties of the flow and material are added, and in most cases with changes in the structure of the layer under the influence of chemical reactions occurring at high temperatures of polyfraction backfills under non-isothermal conditions. It has been found that as the fine fraction content increases, the specific surface area of the layer increases as the fine fraction has a larger specific surface area. The method of calculating the layer resistance under non-isothermal conditions on the basis of positional separation of the dense layer is presented. The effect on the resistance of the bed at high temperatures of the properties of the coolant gas flow, especially viscosity, has been revealed, since it depends on the composition of the gas flow and strongly on temperature. The dependence of kinematic viscosity on temperature is presented in the form of a polynomial of the second degree in temperature. The aerodynamics of polyfraction fillings under isothermal and non-isothermal conditions were studied using the example of mixtures of balls and chunky phosphorus-containing ore raw materials.

Keywords: ore raw material, dense layer, aerodynamic resistance, temperature, structural model, polyfraction filling

В современной промышленности часто встречаются устройства, работающие с грузочными зернистыми слоями, как стационарные, так и подвижные [1, 2]. К таким устройствам, в частности, относятся обжиговые конвейерные и агломерационные машины для обогащения рудного сырья в металлургической, химической и горно-обогатительной промышленности. Расчёт таких устройств требует знания аэро-

динамических характеристик подвижного плотного слоя кускового и окомкованного рудного сырья с перекрёстной подачей газа-теплоносителя [3, 4]. По гранулометрическому составу, как правило, чаще встречаются полифракционные системы, включающие широкие классы по размерам [5, 6]. Геометрическая структура таких систем будет сильно зависеть от степени неоднородности или полидисперсности.

Аэродинамические параметры динамического плотного слоя определяются главным образом геометрическими характеристиками полифракционной засыпки рудного сырья и режимом функционирования обжиговых конвейерных машин [7, 8].

Цель настоящего исследования – провести натурные эксперименты по аэродинамическому сопротивлению двухкомпонентных смесей шаров и полифракционной засыпки кускового фосфоросодержащего рудного сырья; исследовать изменения аэродинамического сопротивления в изотермических и неадиабатических условиях; разработать методику расчёта аэродинамического сопротивления полифракционного слоя.

Объект исследования – движущийся на конвейере обжиговой или агломерационной машины плотный слой кускового или окомкованного фосфоросодержащего рудного сырья, с перекрёстной подачей газа-теплоносителя.

Материалы и методы исследования

Основными геометрическими характеристиками неподвижного плотного слоя кускового и окомкованного фосфоросодержащего рудного сырья являются его порозность и удельная поверхность. Эти усреднённые параметры зависят от способа укладки слоя, гранулометрического состава, габаритов слоя. В качестве характерного геометрического размера принимают средний размер элементов слоя, для полифракционного слоя различают средневесовой диаметр

$$d = \sum_{i=1}^N d_i g_i,$$

или среднеповерхностный

$$d_s = \left(\sum_{i=1}^N g_i / d_i \right)^{-1},$$

где d_i – средний диаметр i -й фракции, g_i – весовая доля i -й фракции. Порозность определялась экспериментально

$$\varepsilon = 1 - \rho_n / \rho_m,$$

где ρ_n – насыпная плотность, кг/м³, ρ_m – плотность материала, кг/м³. Удельная поверхность засыпки определялась соотношением:

$$s = s_0 (1 - \varepsilon) + 3 / D,$$

где s_0 – удельная поверхность элементов слоя, м², D – диаметр рабочего участка, м. Для монофракционных засыпок шаров удельная поверхность определяется как $s_0 = 6 / d$. Для полифракционных засыпок из шаров удель-

ная поверхность слоя определяется соотношением $s_0 = \sum_{i=1}^N g_i \cdot 6 / d_i$. Для полифрак-

ционных засыпок из частиц неправильной формы определение удельной поверхности основывается на методике использования коэффициента формы зерна:

$$\Phi = k_s^2 / k_v^3, \quad k_s = d_s / d_c, \quad k_v = d_v / d_c,$$

где d_c – среднеситовой, d_s – эквивалентный по поверхности, d_v – эквивалентный по объёму диаметр зерна. Эквивалентные диаметры определяются соответственно:

$$d_s = \sqrt{s_3 / \pi} \quad \text{и} \quad d_v = \sqrt{6v_3 / \pi},$$

где s_3 , v_3 – соответственно поверхность и объём зерна. Тогда удельная поверхность зерна полифракционного слоя будет определяться как $s_0 = \sum_{i=1}^N \frac{6g_i}{\Phi_i d_i}$.

Особенностью полифракционных засыпок является способность мелких фракций заполнять промежутки между крупными элементами, тем самым резко снижая среднюю порозность слоя. Это явление характеризуется способом укладки и степенью неоднородности засыпки. В различных источниках под степенью неоднородности понимается или отношение диаметра крупной фракции к диаметру мелкой фракции или наоборот. Нами принят коэффициент неоднородности $f = d_{\min} / d_{\max}$.

Движение газа в слое подчиняется уравнению Навье – Стокса. Учитывая, что во многих промышленных установках с зернистым слоем скорость фильтрации газовой среды невелика, то можно считать газ несжимаемым. Однако сложность геометрической структуры затрудняет выполнить аналитически граничное условие: отсутствие скольжения на поверхности [9, 10]. В большинстве случаев можно пренебречь гравитационной составляющей уравнения Навье – Стокса.

С принятыми допущениями для усреднённых значений давления и скоростей газа-теплоносителя выражение для перепада давления вдоль потока будет иметь вид

$$-\nabla \bar{p} = (\bar{n} \bar{w} \nabla) \bar{w} + \bar{i} \bar{w}. \quad (1)$$

Для анализа уравнения (1) был предложен ряд моделей.

В области преобладания сил вязкости уравнение движения на основе капиллярной модели преобразуется к уравнению Козени – Кармана:

$$\frac{\Delta p}{H} = K \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \mu s_0 w, \quad (2)$$

где K – константа Козени – Кармана, определяемая экспериментально для шаров $4 \div 4.5$, s_0 – удельная поверхность элементов слоя, H – высота слоя.

Для слоя шаров:

$$\frac{\Delta p}{H} = 2K \frac{\mu}{\rho w} \frac{s_0^2}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2 = 8K \frac{\nu s_0}{4w} \frac{s_0}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2 = \xi_3 \frac{s_0}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2.$$

Тогда коэффициент гидравлического сопротивления слоя:

$$\xi_3 = 8K \frac{\nu s_0}{4w} = \frac{8K}{Re_3},$$

где ν – кинематическая вязкость потока, Re_3 – эквивалентное число Рейнольдса.

Простейшая капиллярная модель и более сложная сетевая не учитывают многих особенностей реального слоя, таких как наличие застойных зон [11, 12].

Для модели из ансамбля шаров Хаппелем получено уравнение

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{18(1-\varepsilon)s_0^2}{\varepsilon^3} [2K(1-\varepsilon) + \varepsilon^3] \frac{\mu w}{d^2},$$

которое отличается от (2) поправкой ε^3 . Введение такой поправки позволяет получить плавный переход к закону Стокса для омывания одиночного шара, что получается при $\varepsilon \rightarrow 1$.

В областях течения, где влияют и силы вязкости, и инерционные из анализа метода размерностей уравнения перепада давлений в слое в общем виде будет

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\mu^2}{\rho d^3} \sum_{i=1}^N A_i Re_3^{n_i}. \quad (3)$$

Обычно ограничиваются двумя первыми членами суммы (3), причём показатель степени для первого слагаемого, характеризующего вязкостный режим, получается равным нулю $n_1 = 0$, а $n_2 = 2$, характеризующий второй предельный случай – инерционный режим. На практике чаще встречаются интерполяционные уравнения вида

$$\frac{\Delta p}{H} = Aw + Bw^2, \quad (4)$$

а для коэффициента аэродинамического сопротивления:

$$\xi_3 = \frac{8K}{Re_3} + K_n,$$

тогда уравнение (4) преобразуется к виду

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\mu s_0^2 K}{\varepsilon^3} w + \frac{s_0 \rho K_n}{2\varepsilon^3} w^2, \quad (5)$$

где K_n – инерционная составляющая сопротивления.

Эксперименты проводились на лабораторной установке, адаптированной авторами для проведения настоящих исследований, состоящей из рабочего участка высотой 0,5 м с внутренним диаметром для шаров 0,225 м, для кусковых засыпок – 0,3 м. Для выравнивания скорости газа на выходе в участок установлен ресивер с соплом на выходе с коэффициентом неравномерности 0,95. Для подогрева воздуха служит нагреватель, для получения более высоких температур использовалась камера сгорания, работающая на сжиженном газе – смеси пропана и бутана. Расходы воздуха и газа измерялись диафрагмами «четверть круга», температуры и температурные напоры регистрировались потенциометрами. Перепады давления в слое измерялись наклонными микроманометрами. Для усреднения давления по сечению установлены по три импульсные трубки, всего замеры проводились по четырём сечениям. Воздух нагнетался вентилятором высокого давления.

Перед исследованием полифракционных засыпок были проведены опыты с монофракционными слоями шаров с диаметром 16,67; 14,15; 9,51; 7,97 и 6,75 мм. Коэффициенты аэродинамического сопротивления определяли как

$$\xi_3 = \frac{2\Delta p \varepsilon^3}{\rho w^2 H s_0},$$

где w – скорость потока газа-теплоносителя на свободное сечение, м/с.

После обработки результатов по коэффициенту аэродинамического сопротивления слоя шаров по методу наименьших квадратов усреднённая зависимость получилась:

$$\xi_3 = \frac{32}{Re_3} + 0.54,$$

что удовлетворительно совпадает с известными зависимостями, при этом константа Козени – Кармана получилась равной $K = 4$, а инерционная составляющая $K_n = 0.54$ при средней величине порозности $\varepsilon = 0.36$.

При исследовании полифракционных засыпок использовались смеси шаров вышеуказанных диаметров.

Изменение структуры слоя хорошо заметно по зависимости порозности слоя от содержания мелкой фракции и степени неоднородности. Для смеси шаров диаметром 16,67 и 6,35 при содержании мелких шариков 30% по весу наблюдается минимальное значение порозности 0,295. Такое резкое снижение порозности объясняется соотношением диаметров. При кубической

укладке шаров большего диаметра промежутки между шарами составляет $d(\sqrt{2}-1)$, при диаметре 16,67 мм это будет 6,7 мм, то есть мелкие шарики свободно могут размещаться между крупными, а при степени неоднородности близкой к 0,5 зависимость порозности от весовой доли мелкой фракции получается более плавной, без резкого минимума.

С увеличением содержания мелкой фракции удельная поверхность слоя увеличивается, так как для мелкой фракции удельная поверхность больше. Обработка результатов по коэффициентам аэродинамического сопротивления слоя смесей шаров по методу наименьших квадратов даёт следующие значения расчётных формул.

При степени неоднородности f менее 0.5:

$$\xi_s = \frac{45.1}{Re_s} + 1.15.$$

При степени неоднородности f сравнимой с 0.5:

$$\xi_s = \frac{32}{Re_s} + 0.834.$$

Чем больше соотношение между диаметрами крупной и самой мелкой фракций, тем сильнее влияние на геометрическую структуру.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработана методика расчёта сопротивления слоя при неізотермических условиях на основе позонного разделения слоя. Аэродинамическое сопротивление отдельных зон рассчитывается по уравнению

$$\Delta p_i = h_i \rho_{0i} w_{0i} (k_{1i} v_{ii} + k_{2i} w_{0i} T_i / T_0), \quad (6)$$

где h_i – высота зоны, м; ρ_{0i} – плотность газа в зоне, т/м³; w_{0i} – скорость газа в зоне, м/с; v_{ii} – кинематическая вязкость газа при средней температуре в зоне, м²/с; T_i – средняя температура в зоне, К; k_{1i} , k_{2i} – коэффициенты аэродинамического сопротивления отдельных зон,

$$k_1 = \frac{c_1(1-\varepsilon)^2}{d_s^2 2\varepsilon^3 \psi^2}, \quad k_2 = \frac{c_2(1-\varepsilon)}{d_s^2 2\varepsilon^3 \psi},$$

где c_1 , c_2 – константы в интерполяционной формуле для коэффициента аэродинамического сопротивления $\xi = c_1/Re + c_2$, d_s – эквивалентный диаметр зерна; ψ – коэффициент формы зерна.

Полагая постоянными рассчитанные коэффициенты в каждой зоне, зная темпе-

ратурное распределение по высоте слоя, рассчитывается по уравнению (6) сопротивление отдельных зон и суммированием получают общее сопротивление $\Delta p = \sum_{i=1}^N \Delta p_i$.

Сопротивление слоя при высоких температурах во многом определяется свойствами потока, особенно вязкостью. Общеизвестно, что вязкость зависит от состава газового потока и сильно от температуры [13, 14]. Часто зависимость кинематической вязкости от температуры представляют в виде многочлена второй степени по температуре: $\nu_i = A_1 T + A_2 T^2$.

Предлагается методика расчёта сопротивления неізотермического слоя как условно изотермического по температуре эквивалентной, которая определяется как

$$T_{\text{эвк}} = \sqrt{\left(\frac{w_0 k_2 + A_1 k_1}{2k_1 A_2 T_0} \right)^2 + \frac{\Delta p}{h \rho_0 w_0 k_1 A_2} - \frac{w_0 k_2 + A_1 k_1 T_0}{2k_1 A_2 T_0}}. \quad (7)$$

Температура, рассчитанная по этой формуле, на 5–15 % выше среднеинтегральной, следовательно, не рекомендуется рассчитывать сопротивление по среднеинтегральной температуре.

Для исследования сопротивления полифракционного слоя при неізотермических условиях нами использовалась засыпка фосфоросодержащего рудного сырья гранулометрического состава, представленного в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав
фосфоросодержащего рудного сырья

d_p , мм	60	45	35	25	12,5	2,5
ξ_i	0,0595	0,201	0,293	0,289	0,152	0,005

Прогрев слоя осуществляется продуктами сгорания пропан-бутановой смеси следующего состава:

$$x_{\text{CO}_2} = 6.53\%, \quad x_{\text{O}_2} = 8.78\%,$$

$$x_{\text{N}_2} = 74.3\%, \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = 10.3\%.$$

Динамическая вязкость смеси рассчитывалась по формуле Хеннинга и Цепперера:

$$\mu_{\text{см}} = \frac{\sum x_i \mu_i \sqrt{M_i T_{\text{кри}}}}{\sum x_i \sqrt{M_i T_{\text{кри}}}},$$

где x_i – молярная доля, μ_i – вязкость, M_i – молекулярная масса, $T_{\text{кри}}$ – критическая температура i -го компонента.

Изменение динамической вязкости от температуры рассчитывалось по формуле Улыбина:

$$\mu_{\text{см}, t} = \mu_{\text{см}}^0 (T/T_0)^{\sum_i x_i m_i},$$

где

$$\sum_i x_i m_i = \sum_i x_i A_i + \left(\sum_i x_i B_i \right) \cdot t \cdot 10^{-4} + \left(\sum_i x_i C_i \right) \cdot t^2 \cdot 10^{-7}.$$

Коэффициенты многочлена A_i , B_i , C_i для различных газов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Постоянные аппроксимационного многочлена в формуле динамической вязкости

Газ	A	B	C	$\sum_i x_i m_i$
CO ₂	0,942	2,1	0,56	115,5
O ₂	0,76	1,4	0,64	70,2
N ₂	0,753	1,3	0,4	59,5
H ₂ O	1,082	0,25	0	108

Расчёт аэродинамического сопротивления полифракционного слоя при неизотермических условиях производился по уравнению (5), при этом принимались постоянными константа Козени – Кармана, полученная при температуре $T_0 = 273$ К, и инерционная составляющая, равные соответственно $K = 7$ и $K = 1,2$.

Соппротивление рассчитывалось численным интегрированием по высоте слоя:

$$\frac{\Delta p}{H} = \int_0^H \left(\frac{s_0^2 \mu(t) K}{\varepsilon^3} w_0 \frac{T(h)}{T_0} + \frac{s_0 \rho(t)}{2\varepsilon^3} w_0^2 \frac{T^2(h)}{T_0^2} \right) dh. \quad (8)$$

Использование условно изотермического слоя по эквивалентной температуре, рассчитанной по (7) даже для слабонеизотермических распределений, даёт значительное отклонение от уравнения (8). Эквивалентные температуры значительно превышают среднеинтегральные и в некоторых случаях превышают максимальную температуру в слое, что лишено физического смысла [15].

Следует рассчитывать сопротивление в неизотермическом полифракционном слое по уравнению (8).

Заключение

По проведенным в работе исследованиям аэродинамики полифракционных засыпок в изотермических и неизотермических условиях на примере смесей шаров и кускового фосфоросодержащего рудного сырья можно сделать следующие выводы.

1. Структура слоя из смеси шаров зависит от степени неоднородности. Минимальная порозность слоя соответствует весовой доле мелкой фракции 30 %.

2. Получены значения константы Козени – Кармана и инерционной составляющей для двух значений коэффициента неоднородности.

3. При неизотермических условиях расчёт сопротивления слоя необходимо проводить с учётом изменения свойств потока газа-теплоносителя. Расчёт по среднеинтегральным температурам условно изотермического слоя приводит к значительным погрешностям.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00335, <https://rscf.ru/project/22-11-00335/>.

Список литературы

1. Пучков А.Ю., Лобанева Е.И., Култыгин О.П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1.
2. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 1. С. 11–22.
3. Новичихин А.В., Шорохова А.В. Процедуры управления поэтапной переработкой железорудных отходов горнопромышленных районов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 60. № 7. С. 565–572.
4. Курилин С.П., Соколов А.М., Прокимов Н.Н. Компьютерная программа для моделирования показателей технического состояния электромеханических систем // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 105–119. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-105-119.
5. Бобков В.И., Мищенко М.Н. Исследование теплофизических характеристик окомкованного фосфатного материала // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7–1. С. 26–29.
6. Бобков В.И. Энергосбережение в технологии сушки материала в плотном слое на основе интенсификации теплообмена // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–4. С. 585–589.
7. Ильин И.В., Лёвина А.И., Калязина С.Е. Function-oriented approach to mining enterprise automation // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 5–19. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-5-19.
8. Tian Y., Qin G., Zhang Y., Zhao L., Yang T. Experimental research on pellet production with boron-containing concentrate. Characterization of Minerals, Metals, and Materials. 2020. P. 91–102.
9. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 8. С. 53–57.
10. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщённая структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов горно-обогажительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48–52.
11. Kossoy A. Effect of thermal inertia-induced distortions of DSC data on the correctness of the kinetics evaluated. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2021. Т. 143. № 1. С. 599–608.

12. Dli M.I., Vlasova E.A., Sokolov A.M., Morgunova E.V. Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language. *Journal of Applied Informatics*. 2021. Vol. 16. No. 1 (91). P. 22–31.

13. Бобков В.И. Оптимизация химико-технологического процесса сушки в стационарном режиме многослойной массы фосфоритовых окатышей по критерию энергоресурсоэффективности // *Современные наукоёмкие технологии*. 2018. № 5. С. 25–29.

14. Kavchenkov V.P., Kavchenkova E.V., Chernenkov I.D. Modeling of the relationship between the earth population growth and the electric energy production processes. *Journal of Applied Informatics*. 2021. Vol. 16. No. 4 (94). P. 110–121.

15. Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Yusupkhodaev A.A. Technological parameters of the process of producing metallized iron concentrates from poor raw material. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. No. 8 (11) P. 600–603.

УДК 622'1:622.342:621.396.96

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕСЕЧЕННОЙ И ОГРАНИЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Куляндин Г.А.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН – обособленное подразделение
ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Якутск, e-mail: kgavrilu@yandex.ru*

В представленной работе дано решение актуальной научно-практической задачи по повышению детализации и информативности метода георадиолокации при разработке россыпных месторождений криолитозоны. Определены основные факторы, осложняющие площадные георадиолокационные исследования и приводящие к искажению данных непрерывной съемки из-за неравномерного перемещения георадара: изрезанность рельефа, завалы валунов, водоемы и болота, инженерно-технические сооружения, горная техника и т.п. Предложена методика углового георадиолокационного сканирования и обосновано комплексное использование методик профилирования и углового сканирования в опорных точках в условиях пересеченной и ограниченной местности, что позволит существенно расширить область применения метода георадиолокации на действующих горнодобывающих предприятиях, охватив исследованиями ранее недоступные участки. Представлено описание методики углового георадиолокационного сканирования, а также приведены схемы формирования волновой картины для различных геологических разрезов. Показано, что георадиолокация по методике углового георадиолокационного сканирования позволяет выявлять на радарограмме волновые образы локальных объектов и протяженных отражающих границ между слоями горных пород. Определены основные преимущества предложенной методики по сравнению со стационарным зондированием. Апробация методики выполнена на месторождении россыпного золота р. Аллах-Юнь, георадаром «ОКО-2» с центральной частотой 250 МГц. На основе натурных данных проведено сравнение методик непрерывного профилирования, стационарного зондирования и углового георадиолокационного сканирования. Результаты апробации методики углового георадиолокационного сканирования показали возможность выделения на радарограмме осей синфазности сигналов от искоемых объектов, оценки фазы и времени регистрации сигнала, что обеспечивает достоверность интерпретации волновых картин при изучении строения и состояния массива горных пород на участках пересеченной и ограниченной местности.

Ключевые слова: россыпное месторождение золота, криолитозона, георадиолокация, строение массива горных пород, пересеченная местность

STUDYING THE STRUCTURE OF ROCK MASSIFS IN ALLOWER DEPOSITS IN CONDITIONS OF ROUGH AND LIMITED TERRAIN BY GPR

Kulyandin G.A.

*N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk,
e-mail: kgavrilu@yandex.ru*

The presented work gives a solution to the urgent scientific and practical problem of increasing the detail and information content of the GPR method in the development of alluvial deposits in the permafrost zone. The main factors that complicate areal georadar studies and lead to distortion of continuous survey data due to uneven movement of the georadar are determined: relief indentation, blockages of boulders, reservoirs and swamps, engineering structures, mining equipment, etc. A technique for angular georadar scanning is proposed. The complex use of profiling and angular scanning techniques at reference points in conditions of rough and limited terrain is substantiated. This will significantly expand the scope of the GPR method at existing mining enterprises, covering previously inaccessible areas with research. A description of the method of angular georadar scanning is presented, as well as schemes for the formation of a wave pattern for various geological sections are given. It is shown that georadiolocation using the method of angular georadar scanning makes it possible to detect wave images of local objects and extended reflecting boundaries between rock layers on a radargram. The main advantages of the proposed technique in comparison with stationary sounding are determined. Approbation of the technique was carried out at the alluvial gold deposit of the river. Allah-Yun, georadar "OKO-2" with a center frequency of 250 MHz. On the basis of field data, a comparison was made between the methods of continuous profiling, stationary sounding and angular georadar scanning to identify the aquifer and the roof of bedrock. The results of approbation of the technique of angular GPR scanning showed the possibility of identifying the axes of in-phase signals from the desired objects on the radargram, estimating the phase and time of signal registration, which ensures the reliability of the interpretation of wave patterns when studying the structure and state of a rock mass in areas of rough and limited relief.

Keywords: placer gold deposits, permafrost, GPR, the structure of the rock, rough terrain

Эффективность освоения месторождений твердых полезных ископаемых криолитозоны во многом зависит от совершенствования технологических приемов

эксплуатационной разведки, которые были бы адаптированы к специфическим горно-геологическим особенностям их строения и состояния, а также к осложнениям в ус-

ловиях ведущихся горных работ. Наиболее прогрессивным методом для решения подобных задач является метод георадиолокации, позволяющий дистанционно и оперативно осуществлять исследования массива горных пород [1–3]. Однако очевидно, что получение геофизической информации методикой непрерывного профилирования на действующих месторождениях затруднено, а местами невозможно [4]. Это связано с наличием естественных и искусственных преград на пути перемещения георадара: изрезанность рельефа, завалы валунов, водоемы и болота, инженерно-технические сооружения, горная техника и т.п. Неравномерное перемещение георадара между отвалами или вблизи горной техники приводит к искажению данных непрерывной съемки. Кроме этого, на неровных участках и в местах скопления валунов не обеспечивается оптимальный режим излучения из-за потери контакта антенн с поверхностью. Недостаток информации может привести к искажению трехмерных построений при георадиолокационном картировании [5]. Повышение качества полевых данных может быть достигнуто разработкой новых способов регистрации сигналов георадиолокации [6].

Таким образом, исследования, направленные на разработку более совершенного методического подхода по изучению строения и свойств горных пород в межпрофильном пространстве и получению данных георадиолокации в условиях пересеченной и ограниченной местности, позволяющего расширить область применения и повысить информативность георадиолокационного картирования массива горных пород россыпных месторождений криолитозоны, являются актуальными [7].

Материалы и методы исследования

Возможности метода георадиолокации в условиях пересеченной и ограниченной местности при исследовании строения грунтов и горных пород показаны в работах исследователей, занимающихся радиолокацией и использующих переориентацию антенн как способ получения данных из одного местоположения в стесненных условиях [8–10]. Однако применяемые устройства и способы не лишены недостатков, существенным из которых является то, что зондирование осуществляется в отрыве от поверхности исследуемых пород и грунтов. В результате часть волн отражается от поверхности и рассеивается, при

этом возможно появление сигналов-помех от окружающих объектов. Для устранения вышеуказанных недостатков автором предлагается методика углового георадиолокационного сканирования (УГС) для изучения строения и состояния массивов горных пород из одного местоположения в контакте с исследуемой поверхностью [11]. В случае ограниченной и пересеченной местности комплексное использование непрерывного профилирования и методики УГС позволит существенно повысить информативность данных площадных измерений при изучении строения и состояния массива горных пород на действующих месторождениях. Для этого полевые исследования проводятся по равномерной сети параллельных профилей, а в недоступных для прохождения местах измерения дополняются локальными зондированиями в опорных точках по методике углового георадиолокационного сканирования (рис. 1). Данные георадиолокации по профилям и в опорных точках синхронизируются с координатами системой спутникового позиционирования по площади картирования. Количество и расположение опорных точек определяется поставленной задачей и условиями местности. На приведенной для примера схеме на рис. 1 предложены три опорные точки. Точка УГС-1 – расположена на окраине участка, между объектами, препятствующими прохождению непрерывного георадиолокационного профиля. Другие опорные точки (УГС-2 и УГС-3) расположены перед объектами инженерно-технической инфраструктуры, до которых невозможно выполнить профилирование по причине изрезанности рельефа. В результате исследования в опорных точках должны дать более точную информацию о форме и условиях залегания искомого геологического объекта. Его границы подтверждаются по возможности данными бурения.

Исследования в опорных точках по методике углового георадиолокационного сканирования выполняются особым способом с использованием доработанного антенного блока (АБ) георадара (рис. 2) [12, 13]. Для этого в массиве горных пород подготавливают углубление полуцилиндрической формы и помещают в него антенный блок георадара (рис. 2, а). Изъятый грунт по бокам углубления формируется насыпь с уклоном, соответствующим предельным углам сканирования. Перед каждым зондированием производится корректировка положения АБ по стрелке-отвесу и шкале,

подсыпается или изымается грунт для достижения максимально возможного контакта АБ с поверхностью (рис. 2, б). Изменения углов происходят в секторе 70° с шагом 5° . В каждом из 15 угловых положений записывается файл длиной 100 трасс зондирования. Такое накопление трасс сигналов делается из соображений улучшения визуального восприятия радарограммы оператором при обработке и интерпретации, так как одной или единичных трасс для этого не-

достаточно. По завершении сканирования из всех файлов собирается синтезированная радарограмма общей длиной 1500 трасс.

Волновая картина УГС будет более приближена к картине, получаемой профилированием, чем стационарным зондированием (непрерывным накоплением трасс на одном месте), так как происходит пространственное изменение положения антенного блока и условия зондирования изменяются.

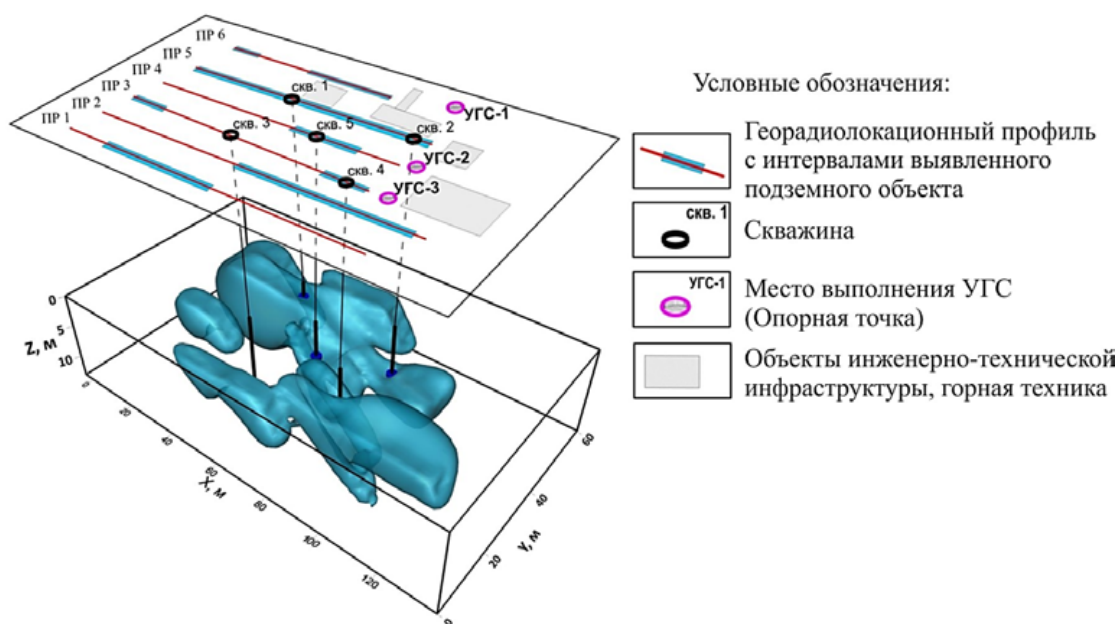


Рис. 1. Схема георадиолокационного картирования структурных неоднородностей массивов многолетнемерзлых горных пород с использованием УГС в опорных точках в условиях пересеченной и ограниченной местности, где профилирование невозможно



а)

б)

Рис. 2. Угловое георадиолокационное сканирование:
а) схема выполнения углового георадиолокационного сканирования;
б) доработанный антенный блок георадара «ОКО-2»

Для примера на рис. 3 представлены геологические разрезы и схемы формирования волновых картин в однородных слоистых средах и с присутствием локального объекта. Приемник и передатчик при угловом сканировании совмещены, поэтому в волновых схемах приняты как одна точка, из которой во все стороны распространяется сферическая волна. Каждая точка поверхности, на которую падает волна, становится источником сферических волн. Их регистрация в различных угловых положениях обеспечивается широкой диаграммой направленности экранированных антенн типа «бабочка» (рис. 2, а) [6, 14]. Построение отраженных волн в схемах выполнено с учетом закона Снеллиуса (угол падения равен углу отражения) и принципа Ферма (распространение волны происходит по кратчайшему пути), а углы преломления при переходе через границу не учитываются для упрощения построений. В схемах маленькими стрелками указаны направления падающей и отраженной волны по нормали к отражающей поверхности, так как эти волны будут достигать приемника, а остальные рассеются и поэтому не рассматриваются.

Как видно на рис. 3, а, горизонтальная граница при двухслойном разрезе формирует волновую картину, состоящую из слегка изогнутой оси синфазности отраженных сигналов. Ее искажение на временном разрезе составит не более Δt (для антенны 250 МГц георадара «ОКО-2», Δt составит не более 2,3 нс) и фактически связано с формой углубления, где выполняют угловое сканирование (рис. 1). Это практически незаметно на радарограмме для горизонтальных геологических границ в естественных условиях с неидеально ровными контактными поверхностями горных пород и грунтов.

В случае, когда граница между слоями горных пород наклонная, на радарограмме формируется схожая по направлению наклона ось синфазности, но изогнутая в вершине, напоминающая годограф, вершина которого смещена в сторону подъема границы (рис. 3, б).

Формирование волновой картины от локального объекта при угловом сканировании схоже с радарограммой профилирования (рис. 3, в). Дифрагированными волнами образуется ось синфазности, схожая с гиперболой, что позволяет различить на радарограмме волновые образы локальных объектов и протяженных отражающих границ между слоями горных пород. Возможно, это является главным преимуществом УГС

перед стационарным зондированием, с помощью которого также можно получать локальные данные. Однако во всех трех случаях, приведенных выше (рис. 3), данные, получаемые стационарным зондированием, сформируют волновую картину из горизонтальных осей синфазности и потому будут недоступны для некоторых критериев оценки, например для определения конфигурации осей синфазности отраженных волн (параллельные, наклонные, волны дифракции), фазы и времени регистрации.



Рис. 3. Схемы формирования волновой картины для различных геологических разрезов при угловым георадиолокационным сканированием:
а) горизонтально-слоистый разрез,
б) наклонно-слоистый разрез, в) однородный разрез с включением локального объекта

Физическое моделирование в емкости с песком показало, что при угловом сканировании происходит накопление отраженных сигналов от исследуемой горизонтальной границы [11]. В результате накопления данных зондированиями из одного местоположения интенсивность регулярных сигналов на радарограмме возрастает, а непо-

стоянные сигналы-помехи распределяются по временной области, теряя свою интенсивность, за счет этого повышается точность и достоверность исследований.

На данный момент возможностей стандартного программного обеспечения GeoScan32, входящего в комплект поставки георадара «ОКО-2», достаточно для обработки результатов углового сканирования. Первичная обработка включает сборку радарограмм углового сканирования из отдельных файлов и выбор временного окна обработки. Далее осуществляется обработка радарограммы с применением различных процедур (фильтрация, коррекция затухания, регулировка контрастности радарограмм и т.д.) с целью выделения осей синфазности от отражающей границы.

Результаты исследования и их обсуждение

Описанная методика изучения горного массива в условиях ограниченной и пересеченной местности методом георадиолокации успешно апробирована на месторождении россыпного золота р. Аллах-Юнь. Для выявления водоносного горизонта и кровли коренных пород георадиолокационные исследования проведены георадаром «ОКО-2» с центральной частотой антенного бло-

ка 250 МГц. На участке, подготавливаемом к дражной обработке, получены данные профилирования, стационарного зондирования и углового георадиолокационного сканирования. При интерпретации использована информация по ближайшему шурфу (шурф № 9, шурфовая линия № 46), расположенному на удалении 0,5 км (рис. 4).

По данным профилирования на глубине около 2 м выявлен водоносный горизонт в толще мерзлых песчано-гравийно-галечных отложений. На радарограмме он представлен протяженной осью синфазности (линия, соединяющая импульсы волн с одной фазой), образованной высокоамплитудными сигналами от верхней границы водоносного горизонта.

По аналогичным признакам водоносный горизонт прослеживается и на радарограмме стационарного зондирования. При угловом сканировании в результате изменения пространственного положения антенного блока, сигналы-помехи (волны дифракции от валунов, гальки и прочего обломочного материала) разошлись по времени регистрации, благодаря чему появилась возможность выделить протяженные оси синфазности сигналов, соответствующих верхней и нижней границе водоносного горизонта, а также кровлю коренных пород.

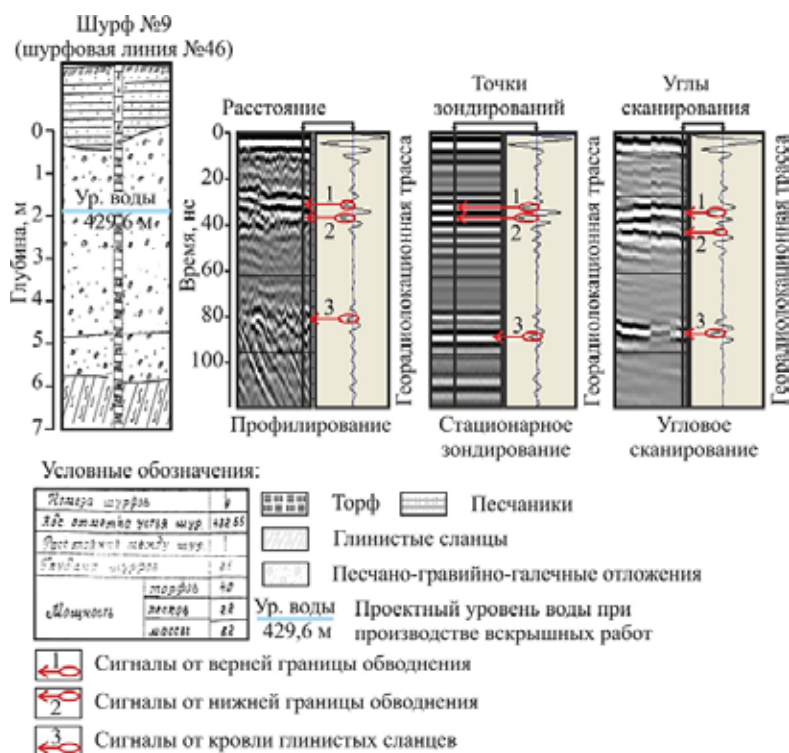


Рис. 4. Результат применения разработанной методики УГС для локального сбора данных георадиолокации на подготавливаемом к дражной обработке участке

Результаты апробации показали, что угловым георадиолокационным сканированием, в отличие от стационарного зондирования, получают радарограмму с набором уникальных трасс сигналов, записанных под различными углами к отражающей границе из одного местоположения. При этом на радарограмме формируется волновая картина, позволяющая выделить оси синфазности сигналов от искомых объектов и оценить фазу и время регистрации сигнала для достоверной интерпретации данных по различным критериям выявления геокриологических структур. Локальность сбора георадиолокационных данных по методике УГС позволяет получить достаточную информацию о поисковых объектах в межпрофильном пространстве и на участках, где профилирование невозможно, что обеспечивает в комплексе с данными георадиолокационного профилирования эффективное изучение особенностей строения и состояния массива горных пород россыпных месторождений криолитозоны по площади картирования.

Заключение

Площадные георадиолокационные исследования, проводимые на участках месторождений, осложненных изрезанным рельефом или присутствием горной техники и инженерно-технических сооружений, могут быть дополнены точечными измерениями в труднодоступных местах по методике углового георадиолокационного сканирования. На основе выполненных построений волновых картин для однородных слоистых сред и с включением локальной неоднородности установлено, что георадиолокация по методике углового георадиолокационного сканирования позволяет выявлять на радарограмме волновые образы локальных объектов и протяженных отражающих границ между слоями горных пород, что является существенным преимуществом перед альтернативным способом получения точечных данных – стационарным зондированием. Апробация методики углового георадиолокационного сканирования в натурных условиях показала возможность выделения на волновой картине осей синфазности сигналов от искомых объектов, оценки фазы и времени регистрации сигнала и, соответственно, возможность применения различных критериев интерпретации данных.

В результате показано, что развитие методики георадиолокации в условиях огра-

ниченной местности позволяет охватить исследованиями ранее недоступные для георадиолокации участки и тем самым повысить детализацию и информативность картирования геологических объектов на действующих горнодобывающих предприятиях.

При проведении полевых работ использовано оборудование ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Судакова М.С., Владов М.Л. Современные направления георадиолокации // Вестник Московского университета. Сер. 4. 2018. № 2. С. 3–12.
2. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 1. С. 39–49.
3. Николаев С.П., Заровняев Б.Н., Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. Оценка состояния массива георадиолокационным зондированием для совершенствования буровзрывных работ в условиях криолитозоны // Горный журнал. 2018. № 12. С. 9–13. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.02.
4. Великин С.А., Марченко Ю.Л., Бажин К.И. Геофизические исследования при изучении инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород восточного карьера «Нюрбинский» (Западная Якутия). // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. № 27. С. 35–46.
5. Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений. М.: ГЕОС, 2017. 240 с.
6. Нерадовский Л.Г. Способ георадиолокации многолетнемерзлых пород // Патент РФ № 2490671. Патентообладатель Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. 2013. Бюл. № 23.
7. Туренко С.К., Дружинина К.В. О системном подходе к повышению эффективности исследований объектов криолитозоны геофизическими методами // Известия высших учебных заведений нефть и газ. 2018. № 2. С. 27–31. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-2-27-31.
8. Michael J. Martin. Portable locator system with jamming reduction // Патент США № US7755360B1. Патентообладатель Seektech, Inc. 2010.
9. Paul Albats, Jr., Macyln Burns, Mark Dalton, Anthony DeRubeis, Cliff Evans, Jakob Haldorsen, Thorkild Hansen, Douglas E. Miller, Michael L. Oristaglio. Rotating scanning antenna apparatus and method for locating buried objects // Патент США № US6388629B1. Патентообладатель Witten Technologies, Inc. 2002.
10. Dennis H. Cowdrick. Oblique scanning ground penetrating radar // Патент США US006094157A. Патентообладатель Underground Imaging, Inc. 2000.
11. Kulyandin G.A., Omelyanenko A.V., Omelyanenko P.A. Methods of GPR angular scanning. Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar. 2014. P. 571–574. DOI: 10.1109/ICGPR.2014.6970489.
12. Куляндин Г.А., Омеляненко П.А. Способ георадиолокации в условиях ограниченного пространства // Патент РФ № 2561769. Патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. 2015. Бюл. № 25.
13. Куляндин Г.А., Омеляненко П.А. Антенный блок георадара // Патент РФ № 141971. Патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. 2014. Бюл. № 17.
14. Lampe B., Holliger K., Green A.G. A finite-difference time-domain simulation tool for ground-penetrating radar antennas. Geophysics. 2003. Vol. 68. No. 3. P. 971–987.

УДК 624.12

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОХОДКИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕТРУБОПРОВОДА В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Ланге И.Ю., Лебедева Я.А., Котюков П.В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: Lebedeva_YaA@pers.spmi.ru

В статье рассмотрены особенности строительства магистрального нефтяного трубопровода в сложных структурно-тектонических и инженерно-геологических условиях на территории Краснодарского края. Проанализировано влияние данных особенностей на специфику строения и физико-механических свойств пород, вмещающих тоннельную конструкцию. Указывается, что трещиноватость пород связана с наличием более 16 региональных тектонических разломов в дочетвертичной толще и высокой сейсмичностью региона (более 8 баллов). Выполнена сравнительная оценка трещиноватости пород в зонах и вне зон тектонических разломов в соответствии с полученными данными по двум критериям трещиноватости и величине водопритоков. Установлено увеличение водопритоков в тоннель в зонах тектонических разломов. Выявлена возможность возникновения вывалообразования при производстве горнопроходческих работ. Произведены расчеты устойчивости пород, вмещающих тоннельную конструкцию. Разработана схема инженерно-геологического зонирования по участку трассы проектируемого тоннеля, характеризующаяся различной степенью сложности проходки с учетом трещиноватости флишевых пород, возможного водопритока, а также устойчивости вмещающей толщи к вывалообразованию. В соответствии с этим выделены три зоны, которые характеризуются весьма неблагоприятными, неблагоприятными и благоприятными условиями. Выполненное инженерно-геологическое зонирование на локальном участке позволит внести коррективы при выборе способа проходки тоннеля и его конструктивных элементов, что обеспечит длительную эксплуатационную надежность.

Ключевые слова: тоннель, структурно-тектонические условия, флишевая формация, трещиноватость, вывалообразование, устойчивость пород, инженерно-геологическое зонирование

ANALYSIS OF THE SAFETY OF DRIVING THE MAIN PIPELINE IN DIFFICULT ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS ON THE TERRITORY OF THE KRASNODAR REGION

Lange I.Yu., Lebedeva Ya.A., Kotyukov P.V.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: Lebedeva_YaA@pers.spmi.ru

The article considers the features of the construction of the main oil pipeline in complex structural-tectonic and engineering-geological conditions in the territory of the Krasnodar region. The influence of these features on the specifics of the structure and physical and mechanical properties of the rocks containing the tunnel structure is analyzed. It is indicated that the fracturing of the rocks is associated with the presence of more than 16 regional tectonic faults in the pre-Quaternary strata and the high seismicity of the region (more than 8 points). A comparative assessment of rock fracturing in and outside the zones of tectonic faults has been performed in accordance with the data obtained on two criteria of fracturing and the magnitude of water inflows. An increase in water inflows into the tunnel in the zones of tectonic faults has been established. The possibility of rock formation in the production of mining operations is revealed. Calculations of the stability of the rocks containing the tunnel structure were made. A scheme of engineering-geological zoning along the section of the route of the designed tunnel has been developed, characterized by varying degrees of complexity of penetration, taking into account the fracturing of flysch rocks, possible water inflow, as well as the resistance of the host strata to rockfall formation. According to the performed zoning, 3 zones were identified, which are characterized by very unfavorable, unfavorable and favorable conditions. Engineering-geological zoning will make it possible to make adjustments when choosing the method of tunneling and its structural elements, which will ensure long-term operational reliability.

Keywords: tunnel, structural-tectonic conditions, flysch formation, fracturing, fallout, rock stability, engineering-geological zoning

В настоящее время функционирование предприятий нефтяной промышленности представляет собой последовательное выполнение этапов производственного цикла – от освоения месторождений и добычи нефти до реализации нефтепродуктов конечному потребителю [1]. Важнейшим звеном в указанном цикле является транспортировка продуктов переработки нефти, которая наиболее часто осуществляется

с использованием систем магистральных трубопроводов. Так, для осуществления доставки экспортируемых нефтепродуктов одним из нефтеперерабатывающих предприятий, которое располагается на Черноморском побережье Цемесской бухты, было запроектировано строительство магистральных нефтепродуктопроводов, размещенных в технологическом тоннеле максимальной глубиной заложения 360 м,

внутренним диаметром 3,5 м общей протяженностью более 4,3 км. Проектируемый тоннель представляет собой сложную железобетонную конструкцию из сборных колец, внутри которой планируется разместить три вспомогательных и два основных трубопровода [2].

Трасса проектируемого тоннеля приурочена к крупной геологической структуре – Семигорской антиклинали, в строении которой принимают участие два стратиграфо-генетических комплекса: флишевые отложения мелового возраста, представленные переслаиванием мергелей, песчаников и известняков, реже аргиллитов, смятых в изоклинальные складки, и четвертичными образованиями, характеризующимися современными пролювиальными, делювиальными и техногенными отложениями. Одной из причин складчатого залегания пород является высокая сейсмическая активность рассматриваемой территории (8 баллов по шкале MSK-64), которая предопределила широкое развитие разрывных нарушений и, как следствие, интенсивную трещиноватость пород дочетвертичной толщи [3]. Всего по трассе тоннеля было выявлено более 16 тектонических нарушений, пересекающих его профиль – от сбросов до взбросо-надвигов, что, несомненно, отразилось на особенностях строения вмещающих пород [4, 5].

Материалы и методы исследования

В качестве объекта изучения инженерно-геологической и гидрогеологической специфики строения вмещающей толщи по трассе тоннеля в рамках статьи был выбран фрагмент трассы протяженностью около 1 км. Изучение полученных результатов бурения позволило установить высокую неоднородность флишевой толщи в зависимости от положения в разрезе разрывных нарушений (рис. 1).

Выявленная неоднородность заключалась в различии степени трещиноватости вмещающих пород, для количественной оценки которой были использованы показатель качества породы RQD и модуль трещиноватости M_j . Согласно нормативным документам показатель RQD определяется как отношение общей длины сохранных кусков керна длиной более 10 см к длине пробуренного интервала в скважине, модуль трещиноватости – числом трещин на 1 м линии измерения нормально главной или главным системам трещин. В соответствии с численными значениями данных показателей горные породы по степени трещиноватости подразделяются на пять групп – от очень слаботрещинчатых ($M_j < 1,5$; RQD 90–100 %) до очень сильнотрещинчатых ($M_j > 1,5$; RQD 0–25 %) [2].

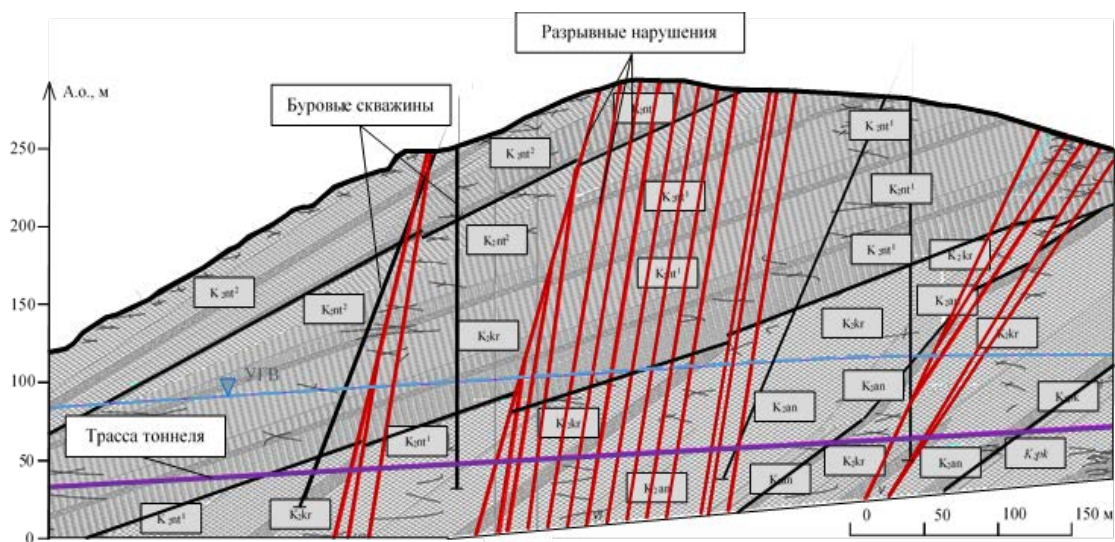


Рис. 1. Участок трассы проектируемого тоннеля

Условные обозначения: K_{ap} – меловая система, верхний отдел, Ананурская свита – чередование известняков, мергелей, кварцевых песчаников и алевролитов; K_{kr} – меловая система, верхний отдел, Керкетская свита – ритмичное переслаивание тонкоплитчатых кремнистых известняков и мергелей, алевролитов, реже песчаников; K_{nt}^1 – меловая система, верхний отдел, Натухаевская свита, нижняя подсвита – представлена песчаниками небольшой мощности при одновременном уменьшении мощности и количества слоев известняков; K_{nt}^2 – меловая система, верхний отдел, Натухаевская свита, верхняя подсвита – ритмичное переслаивание известняков, мергелей и песчаников

Таблица 1

Характеристика степени трещиноватости флишевых пород
в зонах тектонических разломов и вне их
(применительно к вышеприведенному фрагменту трассы тоннеля)

Воз- раст	Название пород	Длина про- буренного интервала, м	Выход керна, м	Общая длина сохранных кусков керна, м	RQD, %	Общее число трещин на интервал, шт	Модуль трещино- ватости M_j	Степень трещино- ватости*
В зонах тектонических нарушений								
K_{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	2,2	2,0	0,5	22,5	38	19,0	Очень сильно- трещино- ватые
K_{2nt}^2	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников, известняка и аргиллита	4,5	4,5	0,6	13,3	20	4,4	Очень сильно- трещино- ватые
K_{2nt}^1	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	26,5	26,1	3,1	11,6	385	14,8	Очень сильно- трещино- ватые
K_{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	9,0	9,0	1,3	14,1	157	17,4	Очень сильно- трещино- ватые
	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов	9,0	9,0	0,7	7,9	240	26,7	Очень сильно- трещино- ватые
Вне зон тектонических нарушений								
K_{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	72,0	72,0	60,9	84,7	375	5,2	Слабо- трещино- ватые
K_{2nt}^2	Флишевое переслаивание мергелей,	274,5	274,3	221,2	80,6	1243	4,5	Слабо- трещино- ватые
K_{2nt}^1	песчаников, известняка и аргиллита	177,0	177,0	137,8	77,9	1108	6,2	Слабо- трещино- ватые
K_{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	149,0	149,0	119,2	80,0	921	6,2	Слабо- трещино- ватые
	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов	63,0	63,0	48,0	76,2	517	8,2	Слабо- трещино- ватые

Пр и м е ч а н и е : при оценке степени трещиноватости за основу был принят показатель RQD.

В соответствии с указанной классификацией сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета была проведена сравнительная оценка степени трещиноватости вмещающих пород как в пределах зон тектонических нарушений, так и вне их (табл. 1).

Таблица 2

Полученные величины водопритока
в пределах выделенного фрагмента трассы тоннеля

Возраст	Название пород	Радиус депрессии r_d , м	Средняя глубина фильтрационного потока h , м	Напор над линией тоннеля S , м	Коэффициент Φ	Водоприток на 100-й интервал, $\text{м}^3/\text{сут}$
В зонах тектонических нарушений						
K_{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	956,5	103,1	73,8	10,2	223,1
K_{2nt}^2	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников, известняка и аргиллита	975,4	100,1	75,8	10,3	219,9
K_{2nt}^1	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	871,8	95,1	69,8	9,3	214,3
K_{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	1003,3	108,1	75,8	10,7	228,4
	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов					
Вне зон тектонических нарушений						
K_{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	786,5	114,1	71,8	8,7	187,5
K_{2nt}^2	Флишевое переслаивание мергелей,	767,8	111,6	70,8	8,5	185,5
K_{2nt}^1	песчаников, известняка и аргиллита	762,5	109,6	70,8	8,4	184,1
K_{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	683,9	85,1	69,8	7,2	163,8
K_{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов	680,8	78,1	59,8	7,2	194,0

В соответствии с данными табл. 1 по показателю качества керна RQD вмещающие породы в пределах зон тектонических нарушений характеризовались как очень сильно-трещиноватые, вне указанных зон – как сла-

ботрещиноватые. Особенностью указанной трещиноватости, выявленной в полевых условиях, являлось наличие систем трещин северо-западного и северо-восточного простирания, связанных с региональными раз-

ломами и осложненных более мелкой трещиноватостью разной направленности.

Интенсивная степень дезинтеграции вмещающих пород послужила фактором формирования в них грунтового водоносного горизонта верхнемеловых отложений, уровень которого расположен выше проектных отметок тоннеля и варьирует от 1,0 м до 76,0 м. Для оценки влияния подземных вод на производство горнопроходческих работ выполнен расчет возможного водопритока в проектируемый тоннель [6–8]. На основе гидродинамической схемы, выбранной производственной организацией, сотрудниками Горного университета Санкт-Петербурга были выполнены расчеты с использованием формул (1), (2):

$$Q = \frac{k \cdot h \cdot S}{\Phi}, \quad (1)$$

где k – коэффициент фильтрации пород, м/сут; h – средняя глубина фильтрационного потока, м; S – напор воды над сводом тоннеля, м; Φ – коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$\Phi = \frac{2h}{l \left[\frac{S}{r_d} + \frac{1}{\frac{r_d}{2y_1} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{y_1}{\pi r_h}} \right]}, \quad (2)$$

где l – расчетная длина трассы тоннеля, м; r_d – радиус влияния воронки депрессии, м; r_h – радиус тоннеля, м; y_1 – мощность водоносного горизонта в рассчитываемом интервале, м;

Выполненные расчеты показали, что в пределах выделенного фрагмента трассы (рис. 1), величина водопритока в тоннель может варьировать от 163,8 до 228,4 м³/сут (табл. 2).

В соответствии с данными, приведенными в табл. 2, наибольшие значения водопритока были получены для пород в зонах тектонических нарушений, вне их – водопристок несколько ниже.

Наличие сильнотрещиноватых, обводненных пород, приуроченных к зонам тектонических нарушений, поставило под сомнение их устойчивость при проходке проектируемого тоннеля. Вполне вероятно, что при строительстве в указанных зонах возможно возникновение вывалообразования [9]. Для прогноза развития указанного процесса сотрудниками кафедры были прове-

дены расчеты с использованием формулы Н.С. Булычева [10]:

$$S = f \cdot \frac{K_M \cdot K_R \cdot K_W}{K_N \cdot K_t \cdot K_A \cdot K_\alpha}, \quad (3)$$

где S – эмпирический показатель устойчивости; f – коэффициент крепости пород по М.М. Протодияконову; K_M и K_N – коэффициенты, учитывающие влияние степени трещиноватости пород и число систем трещин соответственно; K_R – коэффициент, зависящий от характера поверхности стенок; K_W – коэффициент, зависящий от увлажнения пород; K_t – коэффициент, оценивающий степень раскрытия незаполненных трещин; K_A и K_α – коэффициенты, зависящие от характера заполнителя трещин и от угла α между осью выработки и основным направлением трещины соответственно.

В зависимости от показателя устойчивости S породы по их предрасположенности к вывалообразованию делятся на пять групп: I – вполне устойчивые (> 70); II – устойчивые (5–70); III – средней устойчивости (1–5); IV – неустойчивые (1–0,05); V – весьма неустойчивые ($< 0,05$).

Результаты расчетов устойчивости пород к вывалообразованию приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что в пределах зон тектонических нарушений показатель S изменялся от 0,05 до 0,64 (неустойчивые породы), вне – от 0,5 (неустойчивые) до 1,2 (средней устойчивости). Наличие неустойчивых пород вне зон тектонических разломов можно объяснить их высокой обводненностью безнапорными водами верхнемелового горизонта.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки трещиноватости флишевых пород, величин возможного водопритока, а также устойчивости вмещающей толщи к вывалообразованию были использованы в качестве основных критериев для создания схемы инженерно-геологического зонирования трассы тоннеля, основная цель которой – правильность выбора типа проходки и технологии производства работ [11]. Всего по трассе тоннеля были выделены три зоны по степени благоприятности осуществления горнопроходческих работ (табл. 4).

Согласно критериям, представленным в табл. 4, было выполнено инженерно-геологическое зонирование трассы на примере фрагмента проектируемого тоннеля (рис. 2).

Стоит отметить, что в соответствии со схемой инженерно-геологического зонирования основная часть выделенного фрагмента состояла из неблагоприятных и весьма неблагоприятных зон [12]. Применительно ко всей

трассе проектируемого тоннеля общая протяженность таких зон составила более 3,5 км (свыше 80 % от общей протяженности).

Таблица 3

Результаты расчетов устойчивости пород к вывалообразованию
в пределах выделенного фрагмента трассы

Возраст	Название пород	Коэффициент крепости f	Коэффициенты							Показатель S	Категория устойчивости
			K _M	K _N	K _R	K _W	K _t	K _A	K _α		
В зонах тектонических нарушений											
K _{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	4	0,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	0,13	Неустойчивые
K _{2nt²}	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников, известняка и аргиллита	5,8	2,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,5	0,64	Неустойчивые
K _{2nt¹}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	5,4	0,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	0,18	Неустойчивые
K _{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	3,0	0,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,5	0,07	Неустойчивые
	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов	3,0	0,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	2,0	0,05	Неустойчивые
Вне зон тектонических нарушений											
K _{2an}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	4,0	4,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	Средней устойчивости
K _{2nt²}	Флишевое переслаивание мергелей,	5,8	4,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,5	1,2	Средней устойчивости
K _{2nt¹}	песчаников, известняка и аргиллита	5,4	3,0	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	Средней устойчивости
K _{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей и песчаников	3,0	3,0	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	0,6	Неустойчивые
K _{2kr}	Флишевое переслаивание мергелей, песчаников и аргиллитов	3,0	2,5	6,0	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	0,5	Неустойчивые

Таблица 4

Основные критерии инженерно-геологического зонирования
в пределах выбранного фрагмента трассы

Номер и название инженерно-геологической зоны	Основные критерии*			
	Наличие тектонических нарушений	Степень трещиноватости пород	Величина водопритока, м ³ /сут	Категория устойчивости пород
I – Благоприятная	Нет	Слаботрещиноватые	Менее 190	Средней устойчивости
II – Неблагоприятная	Нет	Слаботрещиноватые	190–200	Неустойчивые
III – Весьма неблагоприятная	Да	Очень сильнотрещиноватые	Более 200	Неустойчивые

Примечание: *при различии критериев в рамках одной зоны за основу принималась категория устойчивости пород.

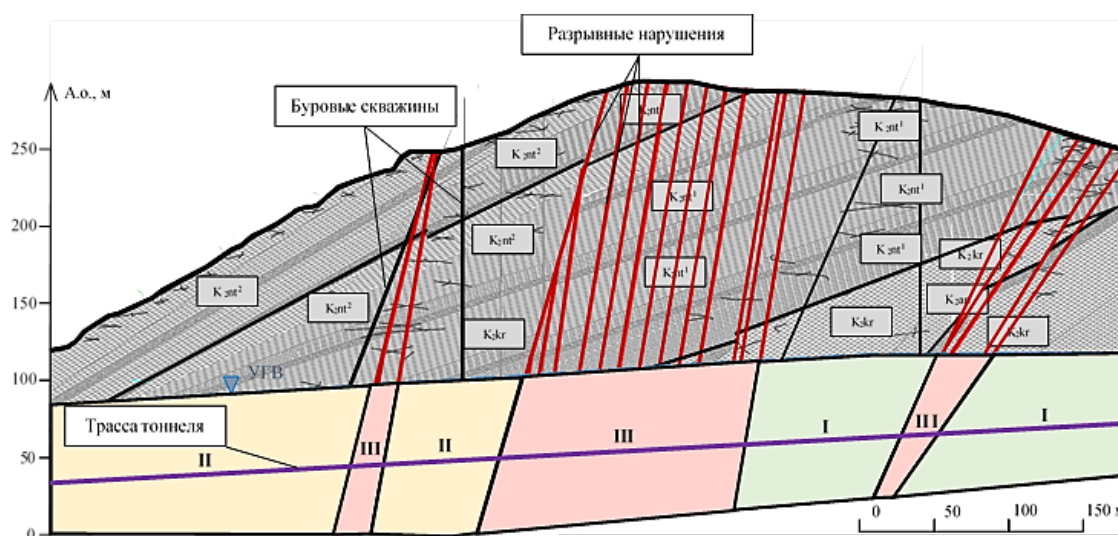


Рис. 2. Схема инженерно-геологического зонирования трассы проектируемого тоннеля (фрагмент).
Инженерно-геологические зоны:
I – благоприятная; II – неблагоприятная; III – весьма неблагоприятная

Выводы

На основе полученных результатов могут быть сделаны следующие выводы:

1. При проектировании тоннеля в сложных структурно-тектонических условиях необходимо учитывать сейсмичность рассматриваемой территории и особенности её геологического строения – формы залегания горных пород, наличие разрывных нарушений, подземных вод и др.

2. Проведению строительных работ по трассе проектируемого тоннеля должна предшествовать комплексная инженерно-геологическая оценка вмещающих пород. При этом особое внимание должно быть уделено изучению их трещиноватости, её влиянию на физико-механические свойства, ширину

раскрытия, наличие заполнителя и его характер, водообильность, а также возможность возникновения опасных инженерно-геологических процессов (вывалообразования и др.).

3. Результаты комплексной оценки пород по трассе тоннеля могут быть представлены в виде схемы инженерно-геологического зонирования, в основу которой должны быть заложены критерии, необходимые для выбора наиболее рационального типа проходки и безопасного производства строительных работ.

Список литературы

1. Palyanitsina A., Safullina E., Byazrov R., Podoprigrora D., Alekseenko A. Environmentally Safe Technology to Increase Efficiency of High-Viscosity Oil Production for the Objects with Advanced Water Cut. Energies. 2022. No. 3. P. 753–753. DOI: 10.3390/en15030753.

2. Храпов В.Г., Демешко Е.А., Наумов С.Н. Тоннели и метрополитены: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1989. 383 с.
3. Дашко Р.Э., Лохматиков Г.А. Верхнекотлинские глины Санкт-Петербургского региона как основание и среда уникальных сооружений: инженерно-геологический и геотехнический анализ // Записки Горного института. 2022. Т. 254. С. 180–190. DOI: 10.31897/PMI.2022.13.
4. Iakovleva E.V., Belova M.V., Soares A.O. Allocation of Potentially Environmentally Hazardous Sections on Pipelines. *Geosciences*. 2021. No. 11. P. 1–11. DOI: 10.3390/geosciences11010003.
5. Яковлева Э.В., Белова М.В., Попов А.Л. Прогноз развития опасных геодинамических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 7. С. 360–369.
6. СП 103.13330.2012. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. М.: Минрегион России, 2012. 61 с.
7. Golovina E.I. Problems of groundwater extraction from transboundary aquifers and complexes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 4. No. 151. P. 1–8.
8. Golovina E.I., Pasternak S.N., Tsiglianu P.P., Tselisch-ev N.A. Sustainable management of transboundary groundwater resources: Past and future. *Sustainability*. 2021. No. 13. P. 1–16. DOI: 10.3390/su132112102.
9. Дашко Р.Э., Романов И.С. Прогнозирование горно-геологических процессов на основе анализа подземного пространства рудника Купол как многокомпонентной системы (Чукотский автономный округ, Анадырский р-н) // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 20–32. DOI: org/10.31897/PMI.2021.1.3.
10. Дашко Р.Э. Механика горных пород: учебник для вузов. М.: Недра, 1987. 264 с.
11. Dolzhikov V.V., Marinin M.A., Isheyskiy V.A. Method of calculation of strain wave field for the boreholes blasting considering the blasting direction *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. № 13. P. 217–223.
12. Васильева Н.В., Бойков А.В., Ерохина О.О., Трифонов А.Ю. Автоматизированная оцифровка круговых диаграмм // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 82–87. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.9.

УДК 628.161.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТИОНИТА СФ-5 В ПРАКТИКЕ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ОТ ИОНОВ ЦИНКА И КАДМИЯ

Пимнева Л.А., Загорская А.А.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

Актуальной задачей экологии является рациональное использование водных ресурсов. В статье рассмотрены условия применения катионита СФ-5 для извлечения ионов цинка и кадмия из сточных вод. Основная масса цинка мигрирует через гидросферу. Накопление и передача ионов тяжелых металлов по пищевой цепочке представляет собой серьезную экологическую проблему для Тюменского региона. Мониторинг состояния водоемов показал превышение содержания ионов цинка в два раза. Данная научная работа рассматривает процессы сорбции и десорбции ионов кадмия и цинка на промышленном сорбенте СФ-5, а также пути интенсификации процесса извлечения. Процесс сорбции и десорбции проводили в динамических условиях. Оценены обменные емкости, которые показали, что с увеличением содержания соляной кислоты происходит уменьшение сорбции металлов. Определена глубина извлечения ионов металлов из растворов с кислой средой. Полученные экспериментальные данные по сорбции показали осложнение ионного обмена процессами комплексообразования ионогенных групп с катионами цинка и кадмия. Десорбцию и регенерацию катионита проводили соляной и серной кислотой, а также аммонийными солями этих кислот. Результаты по сорбции использовали для расчета площади контакта катионита с расходом сточной воды. Показана взаимосвязь процесса сорбции и десорбции. В статье предложен расчет необходимого оборудования для проведения очистки сточных вод, оценена ионообменная емкость катионита при различных условиях, приведены условия десорбции загрязнений и регенерации катионита. Расчеты показали, что для очистки заданного количества стоков до ПДК потребуется 6 ионообменных колонн. Проведенные исследования показали эффективное удаление ионов цинка и кадмия с использованием катионита СФ-5.

Ключевые слова: катионит, кинетика сорбции, кадмий, цинк

THE USE OF CATIONEXCHANGERS SF-5 IN THE PRACTICE OF INDUSTRIAL WASTEWATER PURIFICATION FROM ZINC AND CADMIUM IONS

Pimneva L.A., Zagorskaya A.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

An urgent task of ecology is the rational use of water resources. The article considers the extraction of zinc and cadmium from wastewater using SF-5 cation exchanger. The bulk of zinc migrates through the hydrosphere. The accumulation of heavy metals along the food chain is an environmental problem for the Tyumen region. Monitoring of the condition of reservoirs showed a doubling of the zinc ion content. This scientific work examines the processes of sorption and desorption of cadmium and zinc ions on the industrial sorbent SF-5, as well as ways to intensify the extraction process. The sorption and desorption process was carried out under dynamic conditions. The exchange capacities were evaluated, which showed that with an increase in the content of hydrochloric acid, the sorption of metals decreases. The depth of extraction of metal ions from solutions with an acidic medium is determined. The obtained experimental data on sorption showed a complication of ion exchange by the processes of complexation of ionogenic groups with zinc and cadmium cations. Desorption and regeneration of cationite was carried out with hydrochloric and sulfuric acid, as well as ammonium salts of these acids. The sorption results were used to calculate the contact area of the cationite with the waste water flow. The relationship between the sorption and desorption processes is shown. The article proposes the calculation of the necessary equipment for wastewater treatment, the ion exchange capacity of cationite under various conditions is estimated, the conditions for desorption of impurities and regeneration of cationite are given. Calculations have shown that 6 ion exchange columns will be required to purify a given amount of wastewater up to MPC. The conducted studies have shown effective removal of zinc and cadmium ions using SF-5 cationite.

Keywords: cation exchanger, sorption kinetics, cadmium, zinc

Актуальной задачей экологии является рациональное использование водных ресурсов. В окружающей среде происходят превращения веществ, при этом металлы не исчезают, а вступают в различные взаимодействия. Наблюдения за состоянием поверхностных вод водотоков Тюменской области показывают их загрязненность [1]. Юг Тюменской области располагается та-

ким образом, что главные водные артерии берут начало в развитых индустриальных регионах (Челябинская область, Башкирия, Свердловская область). Выше водозаборных сооружений г. Тюмени находятся 17 крупных металлургических предприятий, сточные воды которых сбрасываются в источник централизованного водоснабжения г. Тюмени (рис. 1).



Рис. 1. Основные источники промышленных стоков бассейна р. Тура [2]

Многие промышленные предприятия имеют в своем составе гальванические цеха для нанесения металлических покрытий [3]. При работе возникает необходимость утилизации отработанных растворов и сточных вод после промывки металлических изделий. К группе токсичных металлов относятся медь, марганец, цинк, кадмий, кобальт, никель, железо и хром. Вклад в загрязнение водоемов ионами металлов представлен на рис. 2. Основная масса цинка мигрирует через гидросферу. Цинк составляет более 30% от общего количества загрязнений, его фоновая концентрация в поверхностных водоемах в среднем в два раза превышает ПДК и колеблется от 1,7 до 3,2 мг/дм³ [1].

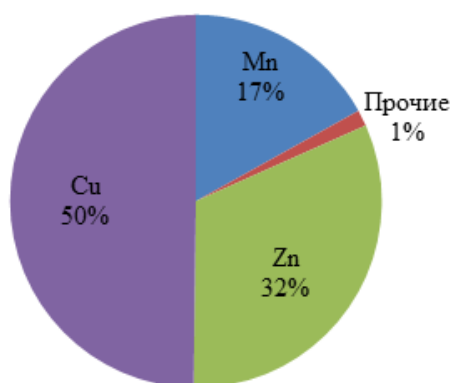


Рис. 2. Доминирующие металлы в составе загрязнений водных объектов Тюменской области

Сточные воды содержат соли токсичных тяжелых металлов, которые передаются

по пищевой цепочке и представляют опасность для живых организмов. Задача снижения концентрации ионов тяжелых металлов в водоёмах Юга Тюменской области является актуальной и связана с внедрением доступных и эффективных технологий, позволяющих не только извлекать ионы металлов, но и повторно использовать их в смежных технологических цепочках. Таким образом, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами требует извлечения их из производственных растворов и рециклинга их в дальнейшем в основных или вспомогательных производственных процессах.

Эффективным методом извлечения металлов является ионный обмен с применением комплексообразующих ионитов, которые обладают высокой избирательной способностью и чистотой разделения.

Цель исследования – определение условий сорбции и десорбции ионов цинка и кадмия из модельных растворов катионитом СФ-5.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали катионит СФ-5 пористой структуры в водородной и солевой (аммонийной) формах. Крупность зерен была 0,25–0,50 мм (воздушно-сухом состоянии). Сорбция изучалась в динамических условиях. В колонку сечением 1,4 см² загружали 6,0 г катионита, что соответствовало высоте слоя 16,5 см², затем пропускали растворы сульфатов цинка и кадмия в присутствии соляной кислоты и в ее отсутствие. В проводимых опытах

скорость фильтрации была 1,0 мл/(см²·мин). Объем растворов, выходящий из колонки, отбирался по 25 мл.

В промышленных условиях для очистки загрязненных вод используют аппараты непрерывного действия (адсорберы), в которых происходит извлечение тяжелых металлов. Принцип действия заключается в том, что адсорбент движется навстречу поступающему раствору. Для работы технологического процесса необходимо провести технологический расчет аппарата и определить кинетические параметры процесса сорбции.

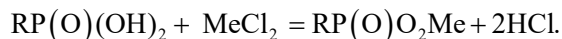
Результаты исследования и их обсуждение

В процессах нанесения покрытий используют растворы солей с добавлением неорганических и органических кислот. При этом растворы приобретают кислую среду, pH растворов может изменяться от 4,5 до 1,0 в зависимости от концентрации кислоты. Отработанные растворы попадают в сточные воды, которые необходимо утилизировать для извлечения ценных компонентов. Для этих целей применяют катиониты и аниониты [4].

Фосфорнокислый катионит СФ-5 диссоциирует по двум ступеням. Каждая ступень характеризуется показателем кажущейся константой ионизации $pK_1 = 3,1$ и $pK_2 = 8,4$. Полная обменная динамическая емкость катионита 15,84 мг/г. По значениям констант ионизации можно оценить связь ионогенной группы с катионом водорода. На рис. 3 наблюдается проявление конкурентной сорбции ионов водорода.

На рис. 3 видно, что с увеличением концентрации соляной кислоты сорбция ионов

металлов уменьшается. В результате эксперимента получили значения обменной емкости для аммонийной формы катионита несколько выше, чем водородной формы. Для растворов, не содержащих соляную кислоту, значение обменной емкости приближается к значению обменной емкости катионита. Это подтверждает, что сорбция происходит в виде простых катионов:



Таким образом, процесс сорбции будет зависеть от ионной формы катионита, прочности образующихся комплексных соединений иона металла с функциональной группой и pH среды растворов.

Для извлечения сорбированных ионов металлов из катионита требуется подобрать условия, при которых происходит легкость и полнота десорбции. Скорость и полнота вымывания сорбированных ионов металлов определяется не только свойствами иона, но и свойствами десорбирующих растворов. Десорбция ионов и регенерация катионита растворами кислот и солей представляет наибольший интерес.

На рис. 4 представлены выходные кривые сорбции ионов цинка и кадмия. Полученные в эксперименте выходные кривые ионов металлов имеют обычный вид.

Рассматривая результаты опытов по сорбции, необходимо отметить осложнение ионного обмена процессами комплексообразования ионогенных групп с катионами цинка и кадмия. Полученные результаты по сорбции позволяют рассчитать площадь контакта катионита с расходом сточной воды, общее количество ионов, поглощенных в колонке за 1 час.

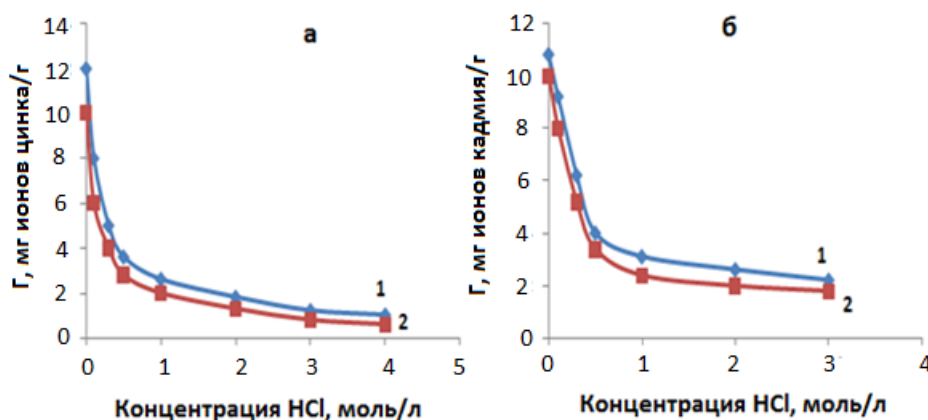


Рис. 3. Сорбция ионов Zn^{2+} (а) и Cd^{2+} (б) из 0,2 М растворов, содержащих HCl катионитом СФ-5 в H^+ – (1) и NH_4^+ – (2)

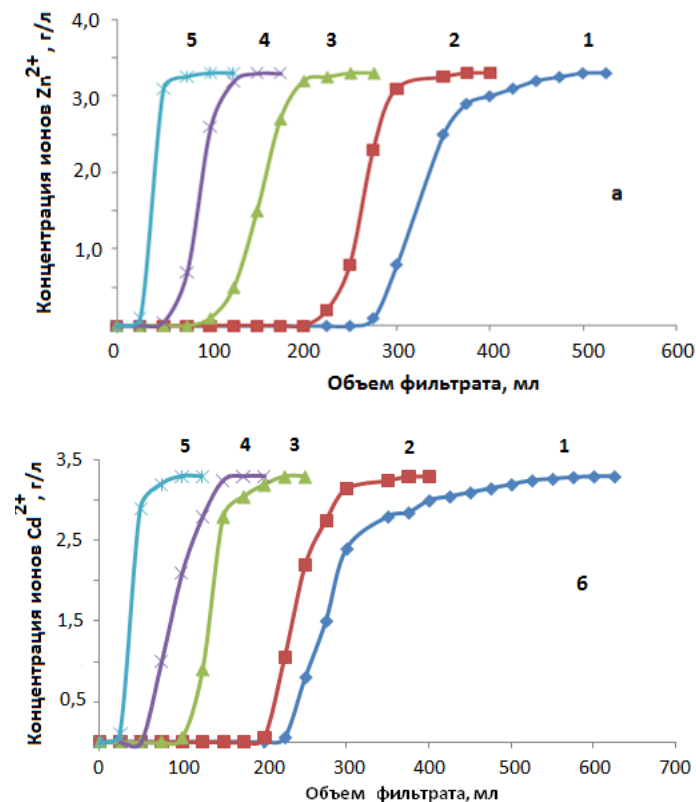
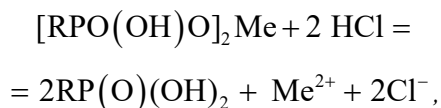


Рис. 4. Выходные кривые сорбции ионов цинка (а) и кадмия (б) из 0,2 М растворов, содержащих HCl катионитом СФ-5 в NH_4^+ -форме. Концентрация HCl, моль/л: 0,0 (1); 0,1 (2); 0,5 (3); 1,0 (4); 2,0 (5)

Процессы сорбции взаимосвязаны с процессами десорбции и характеризуют обратимость ионного обмена. Для десорбции ионов и регенерации катионита использовали соляную и серную кислоты, соли этих кислот. Десорбция из комплексообразующих катионитов определяется факторами: характера связей между катионом и ионогенной группы, сродство катиона десорбирующего реагента к катиониту, тип и концентрация электролита, pH среды.

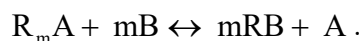
Основной реакцией ионного обмена при десорбции будет



протеканию способствует протонирование ионогенных групп и, как следствие, сдвиг реакции ионного обмена в правую сторону. Поэтому для большего проявления различий перед десорбцией сорбировалось по 10 мг катионов цинка и кадмия при общей обменной емкости слоя катионита в колонке $15,84 \text{ мг} \cdot 6 \text{ г} = 95,04 \text{ мг}$.

На рис. 5 представлены кривые десорбции цинка и кадмия.

Кинетика ионного обмена рассматривается с позиции общей теории гетерогенных реакций. Процесс ионного обмена заключается в химическом превращении, который протекает в твердой фазе. Кроме того, происходит процесс переноса массы вещества из одной фазы в другую. В основе ионного обмена лежит простая химическая реакция



Процесс переноса вещества позволяет определить лимитирующую стадию. Для комплексообразующих катионитов лимитирующей стадией является диффузия сорбированного иона в зерне.

Для определения эффективности внедрения ионообменной очистки в практику очистки промышленных стоков смоделируем количество ионообменных колонн и оценим необходимое количество ионообменной смолы СФ-5 при очистке $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ сточных вод. Результаты по сорбции использовали для расчета площади контакта катионита с расходом сточной воды. В качестве базовых выражений для расчета были использованы формулы (1)–(7) [5].

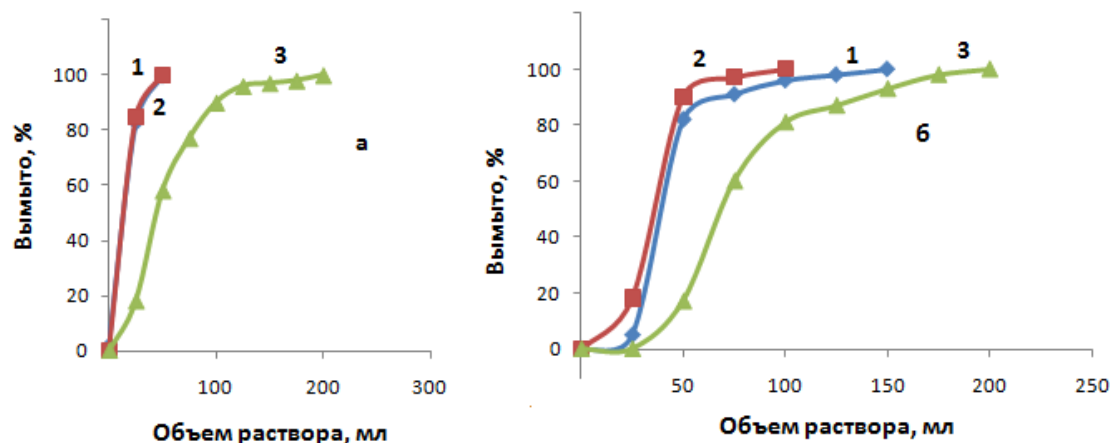


Рис. 5. Кривые вымывания ионов цинка (а) и кадмия (б) растворами: 1 М НСl (1), 2 М Н₂SO₄ (2), 1 М НF (3)

Расчет ионообменных колонн для извлечения цинка

Параметр	Единица измерения	Значение
Расход сточных вод, Q	м ³ /ч	100
Скорость фильтрации, V	м/ч	8
Высота слоя катионита, Н _к	м	3
Требуемый объем катионита, V _к	м ³	150,76
Исходная концентрация загрязнения, С _{ис}	мг/дм ³	2
Предельно допустимая концентрация загрязнения, С _{ед}	мг/дм ³	0,01
Количество регенераций в сутки, n	-	2
Ионообменная ёмкость, Е _к	мг*экв/г	15,84
Требуемая масса катионита, М	кг/ч	12,56
Продолжительность фильтроцикла, t	ч	12

В качестве объекта изучения были выбраны очищенные сточные воды с исходным содержанием цинка 2 мг/дм³. Очистка производилась до ПДК хозяйственно-питьевых водоемов, 0,01 мг/дм³. Основные и промежуточные результаты расчета приведены в таблице.

В результате расчета было установлено, что для очистки заданного количества стоков до ПДК потребуется 6 ионообменных колонн с диаметром 2 м и высотой рабочего ионообменного слоя 3 м. Эффективность очистки сточных вод в данном случае составляет 99,5%.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что СФ-5 эффективен для удаления ионов кадмия и цинка. Эффективность извлечения ионов может быть увеличена за счет температуры сточных вод и модификации катионита ионами аммония. Очистка с использованием катионита СФ-5 может внедряться в действующие

технологических схемы подготовки сточных вод на стадии заключительной очистки перед сбросом сточных вод в водоемы.

Список литературы

1. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2021 г. Правительство Тюменской области. Тюмень, 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://admtuymen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202021%20году.pdf (дата обращения: 15.05.22).
2. Сайт компании ООО «Тюмень Водоканал». [Электронный ресурс]. URL: <http://vodokanal.info> (дата обращения: 15.05.22).
3. Чиркова В.С., Собгайда Н.А., Алферов И.Н., Рзаде Ф. Очистка сточных вод гальванического цеха (на примере ООО ЭПО «Сигнал» г. Энгельс) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10. С. 460–463.
4. Комарова И.В., Галкина Н.К., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И., Кац Э.М., Хамизов Р.Х. Многократное использование регенерационного раствора как способ реализации безотходной ионообменной технологии очистки сточной воды // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8. Вып. 1. С. 37–43.
5. Пестрецов С.И., Родина А.А. Аппаратурно-технологическое оформление процесса ионно-обменной очистки сточных вод гальванических производств // Вопросы современной науки и практики. 2012. № 2 (40). С. 327–332.

СТАТЬИ

УДК 528.31

**ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ
И УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ИЗ WGS84 В КЛАРК1880
В СИРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЛАМБЕРТА****Абаас Гафаар***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва,
e-mail: gafaarabass@gmail.com*

В данной статье представлены современное состояние системы координат Ламберта в Сирийской Арабской Республике и вычисление параметров преобразования с использованием программного обеспечения Leica_GEO_Office и определение уравнения регрессии в Excel для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880 в Сирии и возможности создания пространственной спутниковой геодезической сети. Эта система использовалась в Сирийской Арабской Республике с 1920-х гг. и была принята до 1958 г. в качестве основы для создания карт сирийских земель Военно-геодезическим управлением. На основе результатов анализа были рассмотрены состояния проекции Ламберта, параметры преобразования и уравнение регрессии. Отмечается, что различия между вычисленными локальными координатами и известными не превосходят 0,53 м, мы замечаем, что результаты находятся в допустимых пределах и, кроме того, различия между геодезическими координатами, рассчитанными с помощью программы Leica_GEO_Office, и координатами, полученными из уравнений регрессии, не превышают 0,004 с, и поэтому уравнения регрессии можно использовать для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880, вместо параметров преобразования, вычисленных с помощью программы Leica_GEO_Office, и затем мы преобразуем геодезические координаты в прямоугольные координаты в системе Ламберта с использованием уравнений преобразования. Предпочтительно вычислять параметры преобразования и коэффициенты регрессии для каждого региона отдельно, чтобы получить высокую точность при преобразовании координат.

Ключевые слова: равноугольная коническая проекция Ламберта, геодезическая система координат, пункты геодезической сети, эллипсоид, параметры трансформирования, уравнение регрессии, масштабный коэффициент

**FEATURES OF CALCULATING TRANSFORMATION PARAMETERS
AND REGRESSION EQUATION FROM WGS84 TO CLARKE 1880
IN THE SYRIAN LAMBERT COORDINATE SYSTEM****Abaas Gafaar***Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: gafaarabass@gmail.com*

The Lambert equiangular conic projection has been used in the Syrian Arab Republic since the 1920s and was adopted until 1958 as the basis for the creation of maps of Syrian lands by the Military Geodetic Directorate. The maps place in this projection, as well as the coordinates of their Control Points, are still used for research and large-scale civil engineering projects. This article presents the current state of the Lambert coordinate system in the Syrian Arab Republic and the calculation of the transformation parameters and the definition of the regression equation in excel for converting geodetic coordinates measured using GPS into geodetic coordinates on the Clark 1880 ellipse in Syria and the possibility of creating a spatial satellite geodetic network. Based on the results of the comparison it was found that the differences between the calculated and known local coordinates do not exceed 0.53 meters, taking into account that the GPS device used (Ashtic) and the monitoring method are designed to determine one point. And, too, the differences between the geodetic coordinates calculated using the program Leica_GEO_Office and the coordinates obtained from the regression equations do not exceed 0.004 seconds, and therefore the regression equations can be used to convert geodetic coordinates measured using GPS into geodetic coordinates on the Clark 1880 ellipse, and we convert geodetic coordinates to rectangular coordinates in the Lambert system using transformation equations.

Keywords: equiangular conic Lambert projection, geodetic coordinate system, points of the geodetic network, ellipsoid, transformation parameters, regression equation, Scale factor

Картографическая проекция Ламберта в Сирии использует равноугольную проекцию, которая сохраняет углы при переходе от эллипса к поверхности проекции. Эта проекция была разработана французом (Дураффурад), который использовал

базовые точки (тригонометрическую сетку) первого и второго ранга в расчетах, он использовал географические координаты, из которых он вывел прямоугольные координаты, используя формулу преобразования [1].

В рамках этой системы все карты были созданы до 1958 г. Военно-геодезическим управлением (в настоящее время Главное управление геодезических работ) в масштабе 1:25000 и 1:50 000, из которых были получены карты меньшего масштаба. Контрольные точки системы (которая простиралась от северного Алеппо до равнин Хорана на юге и от побережья на западе до окраин пустыни на востоке) послужили отправной точкой для их уплотнения российскими геодезистами, создавшими карты всех сирийских земель в конце 1950-х гг. на масштаб 1:200 000 по контракту с Министерством промышленности и торговли. Был использован эллипсоид Кларка 1880 г. [2].

В работе ставится цель совершенствования координатной основы Республики Сирии. На основе спутниковых наблюдений показать, как можно определить состояние сирийской системы координат Ламберта; параметры трансформации и уравнение регрессии для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880.

Материалы и методы исследования

Анализ и обобщение теоретических и практических результатов исследований при обосновании актуальности темы работы и решаемых задач, включающие экспериментальные геодезические спутниковые измерения, методы математической статистики и теории вероятностей, в том числе метод наименьших квадратов при обработке спутниковых определений.

Анализ современного состояния системы координат Ламберта в Сирии

Проекционная поверхность. Прямая коническая касательная к широте $38,5^\circ$, а поскольку сирийская территория расположена в пределах шести широт, трех северных и южных широт, то есть в пределах $35,5^\circ$ и $41,5^\circ$,

и был использован $K_0 = 0,99962560$ для снижения линейных искажений, и деформации нет на двух широтах рядом с городами (Алеппо и Аль-Санамайн) [1, 3]:

$$40.25 = 1.75 + 38.5 = {}_1\varphi_{гр}.$$

$$36,75 = 1,75 - 38 = {}_2\varphi_{гр}.$$

Точка перспективы расположена в центре Земли, и, поскольку эта проекция является равноугольной, она зависит от математических формул в процессе проектирования. Географические координаты центра проекции:

$$\varphi^0 = 38,5 \text{ Grade}; \lambda^0 = 41,5 \text{ Grade}.$$

Прямоугольная система. В сирийской конической проекции Ламберта ось y применяется к долготы, спроецированной графикой, проходящей через центр системы, а направление x с запада на восток перпендикулярно ей, что относительно широты, проходящей через центр системы, И для различения прямоугольной системы в сирийской конической проекции Ламберта из прямоугольной стереографической проекционной системы, так что все территории находятся в первой четверти и все координаты точек становятся положительными, центр системы координат (x, y) был перемещен на 300 км к западу и югу [3].

$$X = x + 300\text{Km}; Y = y + 300\text{Km};$$

$$x = R \sin \gamma; y = R_0 - R \cos \gamma.$$

Координаты с помощью этой системы с учетом коэффициента искажения следующим образом [4, 5]:

$$X = K_0 R \sin \gamma + 300\text{Km}.$$

$$Y = K_0 (R_0 - R \cos \gamma) + 300\text{Km}.$$

$$K_0 = 0.99962560.$$

$$R_0 = N_0 \cot \varphi^0.$$

Экваториальный радиус кривизны первого вертикала $N_0 = 6385274.673 \text{ m}$.

$$R = R_0 e^{-\sin \varphi^0 (\varepsilon - \varepsilon^0)},$$

$$\varepsilon = \ln \left\{ \operatorname{tg} \left(\pi / 4 + \varphi / 2 \right) \left[(1 - e \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \right]^{e/2} \right\},$$

$$\varepsilon^0 = \ln \left\{ \operatorname{tg} \left(\pi / 4 + \varphi^0 / 2 \right) \left[(1 - e \sin \varphi^0) / (1 + \sin \varphi^0) \right]^{e/2} \right\},$$

$$\gamma = \sin \varphi^0 (\lambda - \lambda^0).$$

И тоже можно вычислить с помощью двух формул

$$R = \left[x^2 + (R_0 - y)^2 \right]^{1/2},$$

$$\gamma = \arcsin(x / k_0 R).$$

Масштабный коэффициент для точки или расстояния в несколько километров составляет

$$K = K_0 \left[(R \sin \varphi^0) / (N \cos \varphi) \right],$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2},$$

$$a = 6378249.2 \text{ м},$$

$$e^2 = 0.00680348764,$$

где a – большая полуось; b – малая полуось; e^2 – первый эксцентриситет; N – экваториальный радиус; f – геометрическое (полярное) сжатие; k_0 – масштабный коэффициент в начале координат; (R, γ) – элементы полярных координат точки; γ – полярный угол, зажатый между разверткой конуса, проходящей через точку, и развертки конуса, проходящей от центра предложения; R – длина развертки конуса, проходящей через точку; R_0 – длина развертки конуса, проходящей от центра предложения; ε – продольное искажение в км.

И масштабный коэффициент, равный единице на расстоянии 174728 м от φ_0 севера и юга. А это примерно приводит к тому, что масштабный коэффициент равен единице. То есть нет искажений при ширине $36,75^\circ$ и $40,25^\circ$. А линейное искажение на широте, проходящей через центр системы, равно $-37,44$ см/км.

Формирование уравнения регрессии

Регрессионный анализ – это статистический метод анализа различных факторов

и понимания того, какие из них могут повлиять на достижение цели, а какие можно игнорировать. В нашем случае его можно использовать для формирования уравнений регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880, которые можно использовать вместо параметров преобразования [6].

Итоговый вывод показывает, насколько хорошо рассчитанное уравнение линейной регрессии соответствует вашему источнику данных.

R-квадрат – это коэффициент корреляции, который измеряет силу линейной зависимости между двумя переменными. Чем больше абсолютное значение, тем сильнее взаимосвязь.

– 1 означает прочные позитивные отношения;

– -1 означает сильную отрицательную связь;

– 0 означает отсутствие каких-либо отношений вообще.

Вычисление параметров преобразования (Leica_GEO_Office)

У нас есть шесть точек, распределенных вблизи района Пальмиры, который находится близко к центру сирийских координат, как видно на рис. 1. В табл. 1 показаны их местные координаты и с помощью GPS.

На рис. 2 показано геометрическое сжатие и начальные координаты системы координат Ламберта.

Используя четыре точки и с помощью метода Бурсы – Вольфа (семь параметров), мы вычисляем параметры перехода от WGS84 на Кларка 1880.

Локальные координаты и местные геодезические координаты (Кларк 1880) оставшихся двух точек, рассчитанные с использованием параметров преобразования, показанных в табл. 2.

Таблица 1

Геодезические и декартовы координаты точек

Геодезические координаты Кларк 1880			Декартовы координаты по Ламберту			Геодезические координаты WGS84		
№	φ	λ	X (m)	Y (m)	H (m)	φ	λ	H (m)
1	34,43971069	37,20772322	286928,26	276690,96	914,879	34,43948567	37,20887906	952,27
2	34,57962625	37,2064295	286831,47	292205,73	696,523	34,57940711	37,20760986	733,12
3	34,53606069	37,31068669	296392,19	287365,64	759,118	34,53582172	37,31187142	796,85
4	34,33346022	36,94926556	263135,11	264973,23	933,472	34,33325933	36,95036692	969,22
5	34,42030367	37,09905006	276939,07	274558,71	779,585	34,42009283	37,10019569	816,13
6	34,41447153	37,30001428	295406,26	273884,84	725,067	34,41423958	37,30117783	763,36

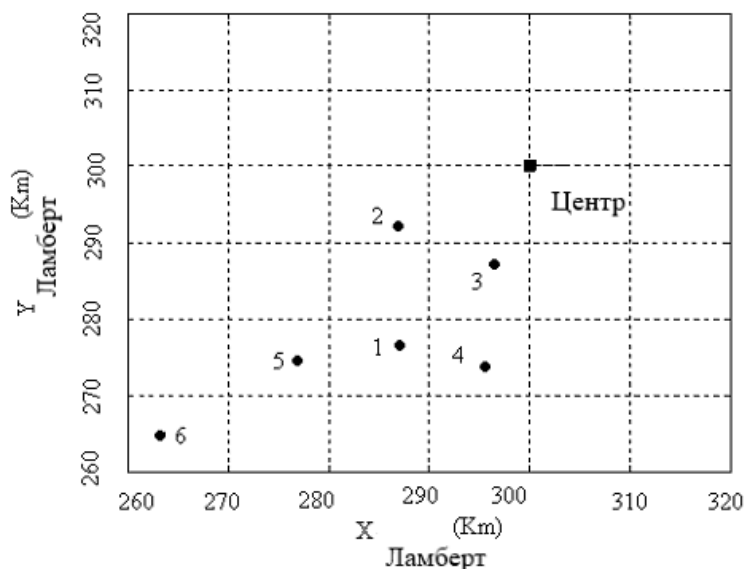


Рис. 1. Пункты геодезической сети

Projection properties ? ×

General

Name:

Type:

False Easting: m

False Northing: m

Latitude of Origin:

Central Meridian:

Parallel:

Scale Factor at Origin:

Last Modified:

OK Отмена

Рис. 2. Параметры системы координат Ламберта

Параметры перехода от WGS 84 на Кларка 1880 следующие:

- смещение по оси X $TX = 758.2309$ m;
- смещение по оси Y $TY = -176.8499$ m;
- смещение по оси Z $TZ = 323.1733$ m;
- поворот вокруг оси X $RX'' = -6.82987''$;
- поворот вокруг оси Y $RY'' = -16.88788''$;
- поворот вокруг оси Z $RZ'' = -29.98073''$;
- масштабный фактор S (PPM) = -98.6265 PPM.

Таблица 2

Декартовы координаты и местные геодезические координаты

№	φ°	λ°	X (m)	Y (m)
5	34,42030762	37,09905859	276939,6057	274558,9367
6	34,4144807	37,30001663	295406,3671	273885,246

Формирование уравнения регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880 в Excel

Для формирования уравнения регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880 были использованы четыре

точки (табл. 3) и вычислены коэффициенты регрессии долготы и широты (табл. 4), и с использованием этих формул будут рассчитаны геодезические координаты оставшихся точек в локальном эллипсоиде Кларка 1880. Эти координаты указаны ниже в табл. 5.

Таблица 3

Геодезические координаты точек с географическими разностями координат

№	WGS84		WGS84 – CLARK1880	
	φ°	λ°	$\Delta\varphi^\circ$	$\Delta\lambda^\circ$
1	34,43948567	37,20887906	-0,000225028	0,001155833
2	34,57940711	37,20760986	-0,000219139	0,001180361
3	34,53582172	37,31187142	-0,000238969	0,001184722
4	34,33325933	36,95036692	-0,000200883	0,001101361

Таблица 4

Коэффициенты регрессии долготы и широты

Регрессионная статистика	$\Delta\varphi^\circ$	$\Delta\lambda^\circ$
Множественный R	0,987686401	0,999732071
R-квадрат	0,975524426	0,999464213
Нормированный R-квадрат	0,926573277	0,998392639
Стандартная ошибка	4,27666E-06	1,53595E-06
Наблюдения	4	4
Коэффициенты		
Y-пересечение	0,002792441	-0,009947338
φ°	5,35117E-05	0,000181012
λ°	-0,000130701	0,000130834

И уравнение регрессии для геодезических координат от 84-й рабочей группы до эллипса Кларка 1880 г. будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta\varphi^\circ = 0.002792441 + 5,35117 \cdot 10^{-5} * \varphi_{\text{WGS84}}^\circ - 0,000130701 * \lambda_{\text{WGS84}}^\circ,$$

$$\varphi_{\text{Кларк 1880}}^\circ = \Delta\varphi^\circ + \varphi_{\text{WGS84}}^\circ,$$

$$\Delta\lambda^\circ = -0.0009947338 + 0.000181012 * \varphi_{\text{WGS84}}^\circ + 0,000130834 * \lambda_{\text{WGS84}}^\circ,$$

$$\lambda_{\text{Кларк 1880}}^\circ = \Delta\lambda^\circ + \lambda_{\text{WGS84}}^\circ$$

Таблица 5

Рассчитанные геодезические координаты

№	ϕ° WGS84	λ° WGS84	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	ϕ° CLARK1880	λ° CLARK1880
5	34,42009283	37,10019569	-0,0002147	0,001137084	34,42030753	37,09905861
6	34,41423958	37,30117783	-0,000241282	0,001162319	34,41448087	37,30001551

Таблица 6

Локальные различия в координатах

№	X (m) выч	Y (m) выч	X (m) Исх	Y (m) Исх	ΔX (m)	ΔY (m)
5	276939,6057	274558,9367	276939,07	274558,71	0,5357	0,2267
6	295406,3671	273885,246	295406,26	273884,84	0,1071	0,406

Таблица 7

Различия геодезических координат

№	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	$\Delta\phi''$	$\Delta\lambda''$
5	8,58E-08	-1,90E-08	0,000309	-0,0000688
6	-1,70E-07	1,12E-06	-0,00061	0,004029809

Результаты исследования и их обсуждение

Сличая локальные координаты, рассчитанные с использованием программы Leica_GEO_Office, с известными координатами, мы обнажаем следующие разницы (табл. 6).

Сличая местные геодезические координаты, рассчитанные с использованием уравнений регрессии, и координаты, рассчитанные с использованием программы Leica_GEO_Office, мы обнажаем следующие разницы (табл. 7).

Из результатов сличения мы замечаем следующее:

– Разницы между вычисленными локальными координатами и известными не превосходят 0,53 м, мы замечаем, что результаты находятся в допустимых пределах, и поэтому параметры преобразования, рассчитанные с помощью программы Leica_GEO_Office, могут быть использованы для преобразования измеренных координат в локальные координаты.

– Различия между геодезическими координатами, рассчитанными с помощью программы Leica_GEO_Office, и координатами, полученными из уравнений регрессии, не превышают 0,004 с, и поэтому уравнения регрессии можно использовать для

преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880, и мы преобразуем геодезические координаты в прямоугольные координаты в системе Ламберта с использованием уравнений преобразования.

– Для получения высокой точности при преобразовании координат предпочтительно вычислять параметры преобразования или коэффициенты регрессии для каждого региона отдельно.

Заключение

На основе результатов анализа были рассмотрены современное состояние системы координат Ламберта в Сирийской Арабской Республике и вычисление параметров преобразования с использованием программного обеспечения Leica_GEO_Office и определение уравнения регрессии в Excel для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880 в Сирии.

Эта система использовалась в Сирийской Арабской Республике с 1920-х гг. и была принята до 1958 г. в качестве основы для создания карт сирийских земель Военно-геодезическим управлением. Основыва-

ясь на результатах предыдущего анализа, мы можем использовать эту проекцию для обновления сирийской геодезической сети, чтобы после войны сделать реконструкцию страны.

Список литературы

1. Мусбах Асаад Али. Современное состояние геодезической сети на территории Сирийской Арабской Республики // Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 3. С. 13–15.]

2. Кутени Джад Аль Карим Хамад. Разработка методики геодезического обеспечения исследования деформации при нефтедобыче на территории Сирийской Арабской Республики: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2020. 136 с.

3. Наим Альмунайзел. Построение и математическая обработка измерений в кадастровых сетях (на примере Сирийской Арабской Республики): дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013. 97 с.

4. Идрисов И.Р., Николаев А.Ф., Николаева С.С. Мировые и государственные системы координат и счета времени, используемые в географии, геодезии и картографии. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2016. 112 с.

5. Раффхед А. Исследование точности и практичности методов преобразования координат между геодезическими данными: дис. ... канд. техн. наук. Университет Восточного Лондона, 2021. 379 с.

6. Шредер Л.Д., Шоквист Д.Л., Стефан П.Э. Понимание регрессионного анализа: Вводное руководство. Публикации Sage, 2016. 120 с.

УДК 551.58

**ЗАДАЧИ ПЛАНА АДАПТАЦИИ АПК К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА:
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ**^{1,2}Ашабоков Б.А., ²Ашабокова М.Б., ²Темирханова Х.М.¹*Институт информатики и проблем регионального управления – филиал
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, Нальчик,
e-mail: ashabokov.boris@mail.ru*²*Высокогорный геофизический институт, Нальчик, e-mail: ashabokova.marina@rambler.ru*

Цель работы заключается в анализе проблемы адаптации различных сфер деятельности к изменению климата, в формулировке задач адаптации агропромышленного комплекса (АПК) и анализе особенностей информационного обеспечения и методов решения задач плана адаптации, в разработке алгоритма решения одной из задач данного плана – задачи определения траектории развития АПК на интервале адаптации. Алгоритм основан на использовании модели, разработанной для решения задачи формирования и согласования целевых индикаторов развития регионального АПК. Отмечено, что на региональном уровне ограничиться адаптацией к изменению климата только сельского хозяйства нецелесообразно, данную проблему на данном уровне следует рассмотреть для системы «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль» с учетом взаимосвязи между ее элементами, сформулированы цели адаптации данной системы к изменению климата. Приведены формулировки задач плана адаптации регионального АПК, изложен подход к решению задачи формирования и согласования целевых индикаторов АПК, приводятся некоторые результаты расчетов. Основными результатами работы являются: формулировка задач адаптации АПК к изменению климата, модель оптимизации функционирования системы, элементами которой являются отрасли, производящие и перерабатывающие растениеводческую продукцию, алгоритм решения задачи определения траектории развития АПК на интервале адаптации, включающий данную модель.

Ключевые слова: изменение климата; агропромышленный комплекс; задачи плана адаптации; формирование и согласование целевых индикаторов

**CHALLENGES OF THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLAN
FOR THE AGRICULTURE SECTOR:
INFORMATION SUPPORT AND SOLUTION METHODS**^{1,2}Ashabokov B.A., ²Ashabokova M.B., ²Temirhanova Kh.M.¹*Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch
of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik,
e-mail: ashabokov.boris@mail.ru*²*High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: ashabokova.marina@rambler.ru*

The purpose of the work is to analyze the problem of adaptation of various spheres of activity to climate change, to formulate the objectives of adaptation of the agroindustrial complex (AIC) and to analyze the specifics of information support and methods of solving the adaptation plan, to develop an algorithm to solve one of the objectives of this plan – the problem of determining the trajectory of AIC development during the adaptation period. The algorithm is based on the use of the model developed for solving the problem of formation and coordination of target indicators of regional agroindustrial complex development. It is noted that at the regional level adaptation to climate change should not be limited only to agriculture, this problem at this level should be considered for the system “agriculture – processing industry”, taking into account the relationship between its elements, the goals of adaptation of this system to climate change are formulated. The article formulates the objectives of the adaptation plan of the regional agroindustrial complex, outlines the approach to solving the problem of formation and coordination of target indicators of the agroindustrial complex, and provides some results of the calculations. The main results of the work are: formulation of the problems of adaptation of the agroindustrial complex to climate change, a model for optimizing the functioning of the system, the elements of which are the industries producing and processing crop products, an algorithm for solving the problem of determining the trajectory of the agroindustrial complex during the adaptation interval, which includes this model.

Keywords: climate change; agro-industrial complex; objectives of the adaptation plan; formation and coordination of target indicators

Внимание к исследованию изменения климата, которое в последние десятилетия набирает силу быстрыми темпами, исследованию его последствий для отраслей экономики и других сфер деятельности постоянно повышается [1-3]. Количество публикаций, посвященных этим и другим проблемам изменения климата, также уве-

личивается быстрыми темпами. Это связано с тем, что изменение климата уже стало фактором, способным оказать значительное влияние на экономику, на процессы в окружающей природной среде, на экологические системы, на здоровье людей [4-6]. Если мировым сообществом не будут приняты эффективные меры, то последствия дан-

ного глобального фактора могут оказаться катастрофическими [4]. Цель Парижской конференции по климату (2015) и заключалась в том, чтобы разработать такие меры, которые позволили бы замедлить, а потом и остановить потепление климата.

В качестве таких мер на конференции были предложены: стабилизация содержания парниковых газов в атмосфере на уровнях, на которых будет возможным предотвращение опасного антропогенного воздействия на климат, а также адаптация отраслей экономики и других сфер деятельности к изменению климата [4]. Сельское хозяйство, как известно, функционирует в природных условиях, что делает его одной из самых чувствительных к изменению климата отраслей экономики. В связи с этим результатом несоответствия структуры производства сельскохозяйственных культур изменяющимся природным условиям будет снижение их урожайности и, как следствие, показателей отрасли. С этим связана необходимость ее адаптации к изменению климата.

При этом цель адаптации данной отрасли экономики к изменению климата должна заключаться в определении такой траектории ее развития, чтобы в каждый момент времени структура производства сельскохозяйственных культур наилучшим образом соответствовала изменяющимся природным условиям.

В настоящей работе были поставлены следующие цели:

- 1) проведение анализа проблем адаптации отраслей экономики к изменению климата;
- 2) формулировка задач адаптации АПК к изменению климата;
- 3) анализ методов решения задач плана адаптации данного сектора экономики к изменению климата, а также особенностей информационного их обеспечения;
- 4) разработка метода решения одной из задач данного плана – определения траектории развития АПК на интервале адаптации.

Материалы и методы исследования

В работе использованы результаты анализа изменения климата, показатели сельского хозяйства и технологические коэффициенты перерабатывающей отрасли в Кабардино-Балкарской Республике, математическое моделирование системы «растениеводческая отрасль – перерабатывающая отрасль».

Литературный обзор

Глобальное потепление климата Земли стало фактором, способным оказать колоссальное влияние на процессы, происходящие в обществе и в окружающей природной среде. Важно отметить, что современные климатические изменения, помимо изменений средних величин (медленное изменение), проявляются в резком изменении частоты и интенсивности экстремальных климатических событий как температуры, так и осадков, приводящих к засухам или наводнениям [1-3]. При этом одним из первых климатологов, предсказавших глобальное потепление климата в связи с эмиссией антропогенного углекислого газа в атмосферу, является американский климатолог Дж. Хансен [7]. Из работ, посвященных исследованию изменения климата на территории России, можно отметить [1; 3; 7; 8]. Данный фактор уже влияет на отрасли экономики, на окружающую среду, на здоровье людей и т.д. Поэтому исследованию последствий данного фактора стало уделяться большое внимание, из работ данного направления исследований можно отметить работы [6; 9-11]. Особенно значительными ожидаются они для горных территорий. Причем механизмов влияния данного фактора на сферы деятельности в этих районах достаточно много, а главными из них можно считать влияние посредством опасных склоновых процессов (лавины, сели, камнепады и т.д.). Важно отметить, что противостояние влиянию изменения климата может оказаться невозможным без принятия срочных и эффективных мер, последствия данного фактора могут принять катастрофический характер [4]. С этим связано то, что цель Парижской конференции по климату (2015) заключалась в выработке такого соглашения, которое позволило бы на первом этапе замедлить потепление климата, а потом и остановить его. В качестве таких мер на ней были сформулированы [4]:

- недопущение повышения концентрации парниковых газов в атмосфере выше таких уровней, на которых предотвращение опасного антропогенного воздействия на климат является возможным;

- адаптация отраслей экономики и других сфер деятельности к изменению климата.

Очевидно, что решение этих проблем требует проведения исследований изменений климата и их последствий для различных сфер деятельности, формулировки задач адаптации отраслей экономики к из-

менениям климата и разработки методов их решения, разработки методов снижения рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями и т.д. [12-14].

*Формулировки задач плана адаптации
регионального аграрного сектора
к изменению климата*

На уровне регионов проблема адаптации к изменению климата, по нашему мнению, должна быть рассмотрена для системы «сельское хозяйство – перерабатывающая сельскохозяйственную продукцию отрасль» с учетом взаимосвязи между ее элементами. Это повысит эффективность АПК и ее элементов и, таким образом, доходы региона.

Остановимся на выборе интервала адаптации, т.е. отрезка времени, на котором должна быть рассмотрена проблема адаптации АПК к изменению климата. Длина данного интервала зависит от того, для какого отрезка времени могут быть решены задачи формирования плана адаптации с приемлемой точностью. Например, одной из этих задач является определение внешних и внутренних условий (природных, экономических, политических, социальных, демографических и т.д.), которые влияют на функционирование АПК и его элементов. Интервал адаптации не должен превышать отрезок времени, на котором эти условия могут быть определены с точностью, достаточной для решения задач адаптации. План адаптации АПК, видимо, должен быть составлен на 5-7-летний период времени, т.е. интервал адаптации для него не должен превышать данный отрезок времени.

Задачи адаптации АПК региона можно объединить в группы [3]: задачи формирования плана адаптации данного сектора экономики; задачи, решение которых направлено на снижение уязвимости АПК изменением климата; задачи, решение которых направлено на снижение влияния АПК на климат; задачи, решение которых необходимо для использования благоприятных последствий изменения климата.

Отметим, что при решении задач первой группы должны быть учтены отмеченные выше цели и задачи адаптации данного сектора экономики.

Что касается задач последних трех групп, то их можно рассматривать как направления, по которым должны проводиться постоянные исследования с целью получения новых методов, моделей, технологий, информации и т.д., которые будут использоваться для повышения эффективности от-

расли с учетом влияния изменения климата. Если такие результаты будут получены до завершения плана адаптации, то он может быть скорректирован с их учетом.

В этих исследованиях особое внимание, по нашему мнению, должно быть уделено разработке методов снижения рисков, связанных с опасными погодными явлениями (засухи, градобития), что связано с ростом частоты и воздействия этих явлений вследствие потепления климата [3].

Не останавливаясь на задачах этих групп, приведем формулировки задач формирования плана адаптации АПК к изменению климата [3]:

1) анализ и прогноз изменения климата и климатических факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур;

2) построение моделей и исследование изменений на интервале адаптации агроклиматических ресурсов территорий;

3) анализ и прогноз изменений внешних и внутренних условий (природных, экономических, технологических, политических, социальных, демографических и т.д.), под влиянием которых будет развиваться АПК региона;

4) разработка модели и решение задачи формирования и согласования целевых индикаторов отраслей, производящих и перерабатывающих растениеводческую продукцию;

5) определение комплекса климатосберегающих мероприятий, которые позволят повысить урожайности сельскохозяйственных культур, обусловленных природными факторами, до целевых значений;

6) разработка модели производства и переработки сельскохозяйственных культур и исследование на ее основе возможных сценариев развития АПК на интервале адаптации, выбор наиболее приемлемого из них;

7) разработка метода и выбор наиболее приемлемого сценария адаптации АПК к изменению климата;

8) оптимизация структуры вспомогательных служб АПК с учетом изменения климата;

9) выбор системы целевых показателей, разработка методов и проведение анализа эффективности мер адаптации и контроля реализации планов адаптации АПК к изменению климата, усовершенствование планов адаптации.

*Анализ методов решения задач
формирования плана адаптации АПК*

Остановимся на информационном обеспечении и методах решения задач форми-

рования планов адаптации отраслей АПК к изменению климата.

1. Цель решения первой задачи заключается в исследовании формирования природных условий производства сельхозкультур на интервале адаптации. При решении данной задачи в качестве климатических переменных следует использовать такие, на основе которых возможно определение изменений основных природных факторов, влияющих на урожайность сельхозкультур.

К ним можно отнести метеорологические параметры, характеризующие режим атмосферных осадков и температурный режим воздуха в различные сезоны года: количество и интенсивность атмосферных осадков, число дней с осадками выше 20 мм, средняя, максимальная и минимальная температуры воздуха. В случае необходимости (в зависимости от природно-климатических условий региона и производимых сельхозкультур) перечень и число этих факторов можно изменить.

Для анализа и прогноза временных рядов метеорологических параметров можно использовать существующие методы. В работе [3] для этой цели использовались математико-статистические методы анализа временных рядов, для их прогноза использован сингулярно-спектральный метод «Гусеница» – SSA.

2. Цель решения следующей задачи заключается в построении интегральной функции, связывающей урожайность сельхозкультур с природными факторами. С помощью данной функции на интервале адаптации определяется динамика агроклиматических ресурсов (урожайность сельхозкультур, формируемая природными факторами). Для построения данной функции можно использовать существующие модели или разработать новые, которые корректируются с использованием данных, характеризующих природные условия конкретных регионов: многолетние данные о природных факторах, формирующих урожаи сельхозкультур, об урожайности сельхозкультур, сформированных этими факторами. Сбор данных о климатических факторах не встречает особых трудностей. Что касается формирования данных об урожайности сельхозкультур, сформированных природными факторами, то на его пути возникают серьезные проблемы. Для получения таких данных целесообразным, на наш взгляд, является использование результатов полевых экспериментов.

3. Цель решения третьей задачи заключается в определении производственно-эко-

номических условий функционирования АПК на интервале адаптации. Для этой цели необходимо использование информации, характеризующей производство сельхозкультур на всех уровнях, себестоимость ее производства и переработки, спрос на продукцию АПК, развитие и доступность технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции и т.д. Такая информация необходима для прогноза динамики этих показателей на интервале адаптации. При решении данной задачи климатическая информация непосредственно не используется. Но в зависимости от решаемой задачи и требований к этим условиям может возникнуть необходимость учета изменений климата и его влияния на производственно-экономические условия. В этом случае в качестве климатической информации для решения данной задачи можно использовать временные ряды отмеченных метеорологических параметров. При решении данной задачи перспективным может оказаться использование экспертных методов.

4. Цель решения следующей задачи состоит в определении целевых индикаторов системы «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль» в конце интервала адаптации [3]. Эти индикаторы должны быть согласованы между собой в рамках имеющихся ресурсов, наложенных на объемы производства продукции требований и т.д. При этом известны только целевые индикаторы и производственно-экономические показатели сельского хозяйства, а структура и показатели перерабатывающей отрасли должны определяться с учетом показателей сельского хозяйства, причем необходимо оптимизировать функционирование отмеченной системы.

Решение данной задачи требует разработки модели, связывающей показатели сельского хозяйства с показателями перерабатывающей отрасли (урожайности сельхозкультур с объемами продукции перерабатывающей отрасли). Для этой цели можно использовать модель оптимизации структуры продукции, производимой системой «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль», которая позволяет оптимизировать структуру производимой данной системой продукции с использованием в качестве критерия оптимальности, например максимума прибыли (или доходов отраслей). Ниже излагается модель, которую можно использовать для этой цели.

5. Решение пятой задачи направлено на разработку таких климатосберегающих агротехнических мероприятий, на основе

которых возможно доведение урожайности сельхозкультур, обусловленных природными условиями, до целевых индикаторов.

Если для каких-то культур доведение их урожайности до целевых индикаторов окажется невозможным или оно потребует больших затрат, то эти культуры необходимо заменить другими, т.к. природные условия уже являются непригодными для их производства.

6. Решение следующей задачи направлено на определение сценариев развития системы «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль» на интервале адаптации для возможных сценариев изменений условий ее функционирования. Для этой цели на первом этапе определяется траектория изменений агроклиматических ресурсов, на втором определяются наиболее вероятные сценарии изменений условий функционирования системы «с/хозяйство – перерабатывающая отрасль». Затем вдоль траектории изменения агроклиматических ресурсов моделируются сценарии развития данной системы, соответствующие сценариям изменений условий ее функционирования.

7. Цель решения следующей задачи состоит в выборе наиболее приемлемого из возможных сценариев развития системы «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль». Решение данной задачи может потребовать разработки специального метода. В качестве приемлемого может быть выбран сценарий, при котором показатели системы будут наиболее близкими к целевым индикаторам.

8. Цель решения восьмой задачи (оптимизация функционирования вспомогательных служб на интервале адаптации) заключается в адаптации функционирования вспомогательных служб к возможным изменениям условий и технологий производства продукции. При этом ставится цель, заключающаяся в том, чтобы вспомогательные службы были в состоянии эффективно выполнять свои функции.

9. Цель решения девятой задачи, по нашему мнению, должна заключаться в определении направлений, по которым следует усовершенствовать план адаптации отрасли экономики к изменению климата. Данную задачу можно не включать в задачи формирования плана адаптации.

Метод и результаты решения задачи определения траектории развития АПК на интервале адаптации

Остановимся на методе и некоторых результатах решения задачи 6, которая, по на-

шему мнению, относится к наиболее сложным из задач плана адаптации АПК.

В результате решения данной задачи должны быть получены траектории изменений показателей отраслей АПК на интервале адаптации, соответствующие возможным сценариям изменения состояния внешней среды. Необходимость рассмотрения различных сценариев в данном случае, как было отмечено, связана с тем, что определение состояния внешней среды и влияния ее изменений на АПК возможно лишь приближенно. В большей степени это относится к производственно-экономическим, социальным, политическим и другим условиям. Что касается природных факторов (температура воздуха и количество осадков в различные сезоны года), то результаты исследований показали, что динамика этих факторов на интервале адаптации может быть получена с высокой точностью.

В предположении, что состояние внешней среды известно, остановимся на алгоритме определения соответствующей ему траектории развития АПК. Пусть интервал адаптации равен K лет. Определение показателей системы «растениеводческая отрасль – перерабатывающая отрасль» на данном интервале требует решения следующих задач:

- прогноз изменений климата (или динамики природных факторов, формирующих урожаи сельхозкультур) (задача 1). Методы и результаты решения данной задачи для юга европейской территории РФ подробно изложены в работе [3];

- определение динамики урожайности культур на интервале адаптации, формируемой природными факторами. Обозначим их Y_{ni}^k ($k=1,2,3,...,K$; $i=1,2,3,...,n$), т.е. Y_{ni}^k – есть формируемая природными факторами урожайность i -й культуры в k -м году интервала адаптации. Значения Y_{ni}^k ($k=1,2,3,...,K$; $i=1,2,3,...,n$) определяются в результате решения задачи 2. При этом используются результаты решения задачи 1. В работе [3] приводится модель агроклиматических ресурсов, которая используется для решения данной задачи;

- определение динамики целевых индикаторов урожайности культур на интервале адаптации. Обозначим их Y_{ci}^k ($k=1,2,3,...,K$; $i=1,2,3,...,n$), т.е. Y_{ci}^k – есть целевой индикатор урожайности i -й культуры в k -м году. Для решения данной задачи используются значения Y_{ci}^k в начале ($k=1$) и конце ($k=K$) интервала адаптации. В первом случае ($k=1$) в качестве Y_{ci}^k используются фактические

значения урожайности культур, а во втором случае целевые индикаторы для урожайности культур. Предполагая, что урожайности культур на интервале адаптации меняются по известному закону, например по линейному, находятся значения Y_{ui}^k в промежуточных точках интервала адаптации, т.е. значения Y_{ui}^k ($k=2,3,\dots,K-1$; $i=1,2,3,\dots,n$).

После определения Y_{ni}^k и Y_{ui}^k ($k=1,2,3,\dots,K$; $i=1,2,3,\dots,n$) исследуются возможности доведения значений Y_{ni}^k до значений Y_{ui}^k (т.е. решается задача 5). В случае когда для какой-то культуры оно окажется невозможным или нецелесообразным с экономической точки зрения, данная культура заменяется другой. Зная значения Y_{ui}^k ($k=1,2,3,\dots,K$; $i=1,2,3,\dots,n$) на интервале адаптации, траекторию развития АПК на данном интервале можно определить путем решения задачи формирования и согласования целевых индикаторов АПК для каждого значения $k=1,2,3,\dots,K$ (т.е. для каждого сельскохозяйственного года). Таким образом, решение задачи 6 требует использования информации об изменении климата и о производственно-экономических показателях региона на интервале адаптации.

Остановимся на записи модели формирования и согласования целевых индикаторов АПК для производственно-экономической системы, элементами которой являются растениеводческая и перерабатывающая растениеводческую продукцию отрасли. Предположим, что в сельском хозяйстве производится n видов сельхозкультур, а в перерабатывающей отрасли m видов продуктов. В качестве сырья в перерабатывающей отрасли используется продукция сельского хозяйства. С целью упрощения модели ограничились учетом в ней использования земельных и финансовых ресурсов. Введем обозначения: $x_1, x_2, \dots, x_n$ – площади пашни, занимаемые сельскохозяйственными культурами, $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$ – объемы производства продукции перерабатывающей отрасли.

При записи целевой функции для простоты было предположено, что прибыль АПК приближенно равна прибыли перерабатывающей отрасли:

$$\Pi = \sum_{j=1}^m (c_{n+j} - z_{n+j}) x_{n+j} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где Π – прибыль перерабатывающей отрасли, c_{n+j} – цена реализации единицы j -го вида продукции, z_{n+j} – себестоимость производства единицы j -го вида продукции.

Система ограничений записывается в следующем виде:

- ограничение на использование земельных ресурсов для производства сельскохозяйственных культур:

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq x_0, \quad (2)$$

где x_0 – общая площадь пашни;

- ограничения, учитывающие соблюдение севооборота в сельском хозяйстве:

$$x_i = \alpha_i x_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где α_i – доля пашни, занимаемой i -й культурой;

- ограничения, наложенные на объемы производства сельскохозяйственных культур:

$$Y_i x_i \geq u_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где Y_i – урожайность и u_i – минимальный объем производства i -й культуры;

- ограничения, учитывающие использование финансовых ресурсов отрасли:

$$\sum_{i=1}^n Y_i s_i x_i \leq \Phi_0^{(1)}, \quad (5)$$

где s_i – себестоимость производства i -й культуры, $\Phi_0^{(1)}$ – финансовые ресурсы отрасли;

- ограничения, учитывающие технологию переработки сельскохозяйственных культур:

$$\sum_{j=1}^m \alpha_{i,n+j} x_{n+j} = Y_i x_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $\alpha_{i,n+j}$ – объем i -й культуры, затрачиваемый на производство единицы продукции вида j ;

- ограничения, наложенные на использование ограниченных финансовых ресурсов в перерабатывающей отрасли:

$$\sum_{j=1}^m x_{n+j} z_{n+j} \leq \Phi_0^{(2)}, \quad (7)$$

где $\Phi_0^{(2)}$ – финансовые ресурсы перерабатывающей отрасли;

- ограничения, наложенные на объемы производства продукции в перерабатывающей отрасли:

$$x_{n+j} \geq v_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

где v_j – минимальный объем производства продукции j -го вида $j = \overline{1, m}$.

Используя в качестве входных данных целевые индикаторы для урожаев сельскохозяйственных культур и значения производственно-экономических показателей отраслей, с помощью модели можно опре-

делить согласованные между собой целевые индикаторы развития АПК.

С целью исследования возможности решения задачи 6 на основе модели (1)-(8) для природно-климатических и производственно-экономических условий конкретного региона (КБР) были проведены модельные расчеты. Для этой цели предполагалось, что в конце интервала адаптации показатели сельского хозяйства региона должны быть на уровне Германии. Расчеты проводились для следующих сельхозкультур: озимая пшеница, зерновые культуры, кукуруза, подсолнечник, картофель, сахарная свекла, овощи, фрукты, виноград, лекарственные травы. Целевые индикаторы для урожайности культур равнялись: пшеницы 74 ц/га, ячменя 56 ц/га, кукурузы 92 ц/га, картофеля 403 ц/га, сахарной свеклы 593 ц/га, томатов 1244 ц/га, винограда 57 ц/га.

Обозначим площади пашни, занимаемые отмеченными культурами: (x_1) площадь озимой пшеницы, (x_2) зерновых культур (без озимой пшеницы и кукурузы), (x_3) кукурузы, (x_4) подсолнечника, (x_5) картофеля, (x_6) сахарной свеклы, (x_7) овощных культур, (x_8) садов, (x_9) виноградников, (x_{10}) лекарственных трав; $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{55}$ – объемы производства продукции предприятиями перерабатывающей отрасли.

В качестве продуктов переработки сельхозкультур рассматривались:

- пшеница: хлеб (x_{11}) , хлебобулочные изделия (x_{12}) , мука (x_{13}) , крупа (x_{14}) , макароны (x_{15}) , спирт (x_{16}) , крахмал (x_{17}) , кондитерские изделия (x_{18}) ;
- зерновые культуры: солод (x_{19}) , пиво (x_{20}) , спирт (x_{21}) , крупа (x_{22}) , хлеб (x_{23}) ;
- кукуруза: мука (x_{24}) , крупа (x_{25}) , хлопья (x_{26}) , спирт (x_{27}) , крахмал (x_{28}) , масло (x_{29}) ;
- картофель: замороженный картофель (x_{30}) , сушеная картошка (чипсы) (x_{31}) , спирт (x_{32}) , крахмал (x_{33}) , масло (x_{34}) ;
- свекла: сахар (x_{35}) , консервы (x_{36}) ;
- овощи: соки (x_{37}) , томат (x_{38}) , консервы (x_{39}) , косметические средства (x_{40}) ;
- подсолнечник: масло (x_{41}) , халва (x_{42}) , шрот (x_{43}) , козинаки (x_{44}) ;
- фрукты: соки (x_{45}) , джем (x_{46}) , варенье (x_{47}) , спирт (x_{48}) , вина (x_{49}) , уксус (x_{50}) , сухофрукты (x_{51}) , лекарства (x_{52}) ;
- виноград: соки (x_{53}) , вина (x_{54}) , изюм (x_{55}) .

Переработка лекарственных трав в модели не предусматривается.

- Затраты финансовых ресурсов на переработку сельхозкультур обозначим $x_{56} - x_{65}$, затраты на производство сельхозкультур $x_{66} - x_{74}$, а объемы финансовых ресурсов

перерабатывающей отрасли и сельского хозяйства обозначим x_{75}, x_{76} .

Можно заметить, что перерабатывающая отрасль производит 45 видов продуктов.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные о показателях и структуре отраслей АПК в конце второго и пятого года интервала адаптации (на 1000 га пашни), полученные в результате решения задачи 6, приведены в таблицах 1 и 2. При проведении расчетов было предположено, что интервал адаптации равен 5 годам. Данные, приведенные в таблице 1, относятся к концу второго года, а данные таблицы 2 – к концу интервала адаптации (пятого года данного интервала). Таким образом, таблица 2 является последней из пяти таблиц, получающихся при решении задачи 6. Остальные таблицы не приводятся.

Остановимся на результатах расчетов.

Из таблицы 1 видно, что по занимаемой площади пшеница находится на первом месте (358 га), затем следуют зерновые культуры (без пшеницы и кукурузы), кукуруза, картофель. Объемы отдельных видов продуктов переработки сельхозкультур равны нулю или незначительны. Это указывает на то, что их производство является экономически невыгодным. В качестве примера можно отметить следующие: крупа из пшеницы (x_{14}) , замороженный картофель (x_{30}) , масло из картофеля (x_{34}) , спирт из фруктов (x_{48}) и т.д. Затраты финансовых ресурсов на производство сельхозкультур примерно в два раза меньше, чем затраты на их переработку, что совпадает с соотношением в реальных случаях.

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что производственно-экономические показатели АПК на интервале адаптации заметно изменились. Это может быть связано с тем, что урожайности культур должны повышаться на интервале адаптации. Из таблицы 2 видно, что по занимаемой площади пшеница и в конце интервала адаптации оказалась на первом месте (364,0 га), за ней следуют зерновые. Кукуруза и картофель по занимаемой площади, по сравнению с таблицей 1, поменялись местами. Кроме этого, перечень продуктов переработки в таблице 1, производство которых было невыгодным, и в конце интервала адаптации остался неизменным. Поведение показателей АПК и их соотношение совпадают с их поведением в реальных случаях.

Таблица 1

Показатели регионального АПК в конце интервала адаптации

Площади пашни, занимаемые сельхозкультурами (га)			
$x_1 = 358,0$ $x_5 = 3,5$ $x_9 = 33,03$	$x_2 = 200,0$ $x_6 = 53,3$ $x_{10} = 0,5$	$x_3 = 148,0$ $x_7 = 30,0$	$x_4 = 141,8$ $x_8 = 0,25$
Объемы производства продукции в перерабатывающей отрасли (ц)			
$x_{11} = 877,0$ $x_{12} = 14,0$ $x_{13} = 1087,8$ $x_{14} = 0,0$ $x_{15} = 17,0$ $x_{16} = 21,0$ $x_{17} = 15,0$ $x_{18} = 17,0$ $x_{19} = 190,31$ $x_{20} = 0,0$ $x_{21} = 0,0$	$x_{22} = 10,0$ $x_{23} = 0,0$ $x_{24} = 7,7$ $x_{25} = 10,0$ $x_{26} = 10,0$ $x_{27} = 12,0$ $x_{28} = 10,0$ $x_{29} = 9,44$ $x_{30} = 0,0$ $x_{31} = 75,1$ $x_{32} = 0,0$	$x_{33} = 10,0$ $x_{34} = 0,0$ $x_{35} = 10,0$ $x_{36} = 0,0$ $x_{37} = 10,0$ $x_{38} = 10,0$ $x_{39} = 207,5$ $x_{40} = 10,0$ $x_{41} = 30,0$ $x_{42} = 10,0$ $x_{43} = 28,6$	$x_{44} = 10,0$ $x_{45} = 14,7$ $x_{46} = 0,0$ $x_{47} = 10,0$ $x_{48} = 0,0$ $x_{49} = 2,1$ $x_{50} = 10,0$ $x_{51} = 10,0$ $x_{52} = 10,0$ $x_{53} = 3,2258$ $x_{54} = 10,0$ $x_{55} = 10,0$
Финансовые затраты на переработку сельскохозяйственных культур (тыс. руб.)			
$x_{56} = 8235,5$ $x_{57} = 2000,0$ $x_{58} = 463,3$	$x_{59} = 55701,8$ $x_{60} = 200,0$ $x_{61} = 1866,7$	$x_{62} = 9163,1$ $x_{63} = 264,3$	$x_{64} = 600,0$ $x_{65} = 2117,5$
Объемы производства сельхозкультур (ц)			
$x_{66} = 1450,3$ $x_{67} = 286,8$ $x_{68} = 300,0$	$x_{69} = 1627,6$ $x_{70} = 70,0$	$x_{71} = 480,0$ $x_{72} = 52,3$	$x_{73} = 10,0$ $x_{74} = 106,0$
Затраты финансовых ресурсов на переработку сельхозкультур (тыс. руб.)		Затраты финансовых ресурсов на производство сельхозкультур (тыс. руб.)	
$x_{75} = 80612,1$		$x_{76} = 40000$	

Таблица 2

Показатели регионального АПК в конце интервала адаптации

Площади пашни, занимаемые сельскохозяйственными культурами (га)			
$x_1 = 364,0$ $x_5 = 3,5$ $x_9 = 33,0$	$x_2 = 200,0$ $x_6 = 40,0$ $x_{10} = 0,5$	$x_3 = 143,0$ $x_7 = 38,0$	$x_4 = 147,8$ $x_8 = 0,25$
Показатели (объемы производства продукции) перерабатывающей отрасли (ц)			
$x_{11} = 877,0$ $x_{12} = 14,0$ $x_{13} = 1370,0$ $x_{14} = 0,0$ $x_{15} = 10,0$ $x_{16} = 21,0$ $x_{17} = 15,0$ $x_{18} = 10,0$ $x_{19} = 190,31$ $x_{20} = 10,0$ $x_{21} = 10,0$	$x_{22} = 10$ $x_{23} = 165,0$ $x_{24} = 10,0$ $x_{25} = 12,0$ $x_{26} = 10,0$ $x_{27} = 21,0$ $x_{28} = 19,0$ $x_{29} = 6,44$ $x_{30} = 0,0$ $x_{31} = 215,4$ $x_{32} = 0,0$	$x_{33} = 14,0$ $x_{34} = 0,0$ $x_{35} = 115,0$ $x_{36} = 0,0$ $x_{37} = 141,7$ $x_{38} = 310,0$ $x_{39} = 10,0$ $x_{40} = 31,0$ $x_{41} = 30$ $x_{42} = 10,0$ $x_{43} = 949,2$	$x_{44} = 10,0$ $x_{45} = 14,7$ $x_{46} = 0,0$ $x_{47} = 10,0$ $x_{48} = 0,0$ $x_{49} = 2,1$ $x_{50} = 10$ $x_{51} = 10$ $x_{52} = 10$ $x_{53} = 10,0$ $x_{54} = 31,0$ $x_{55} = 10,0$
Финансовые затраты на переработку сельскохозяйственных культур (тыс. руб.)			
$x_{56} = 53310,7$ $x_{57} = 2000,0$ $x_{58} = 463,3$	$x_{59} = 4507,7$ $x_{60} = 2300,0$ $x_{61} = 1866,7$	$x_{62} = 13809,9$ $x_{63} = 1264,3$	$x_{64} = 600,0$ $x_{65} = 2117,5$
Объемы производства сельскохозяйственных культур (ц)			
$x_{66} = 2478,2$ $x_{67} = 300,0$ $x_{68} = 1053,2$	$x_{69} = 200,0$ $x_{70} = 974,0$	$x_{71} = 4140,0$ $x_{72} = 300,0$	$x_{73} = 20,0$ $x_{74} = 186,0$
Финансовые затраты на переработку сельскохозяйственных культур (тыс. руб.)		Финансовые затраты на производство сельскохозяйственных культур (тыс. руб.)	
$x_{75} = 82240,2$		$x_{76} = 25462,7$	

Важным выводом из результатов расчетов можно считать то, что мероприятия по адаптации должны непрерывно корректироваться на интервале адаптации, что требует решения задач плана адаптации на каждом шаге данного интервала.

Результаты расчетов показали, что предложенный алгоритм можно использовать для определения траектории развития АПК.

Заключение

Основные результаты настоящей работы, посвященной проблеме адаптации регионального агропромышленного комплекса к изменению климата, можно сформулировать следующим образом:

- с учетом невысокой устойчивости растениеводческой отрасли предложено на региональном уровне адаптировать к изменению климата систему отраслей, производящих и перерабатывающих сельскохозяйственные культуры, что более целесообразно с точки зрения повышения ее эффективности и улучшения финансового состояния региона;

- сформулированы цели адаптации к изменению климата отраслей экономики, включая и АПК;

- введено понятие интервала адаптации, величина которого не должна превышать длину отрезка времени, на котором достаточно надежно могут быть решены задачи формирования плана адаптации;

- приводятся задачи плана адаптации АПК к изменению климата и результаты анализа особенностей информационного обеспечения и методов решения задач плана адаптации;

- приводится метод решения одной из задач плана адаптации АПК – задачи определения траектории развития АПК на интервале адаптации. Приведены результаты модельных расчетов, проведенных для природно-климатических и производственно-экономических условий конкретного региона.

Список литературы

1. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Т. 1. С. 84-103.
2. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.
3. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. 476 с.
4. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Папчаури и Л.А. Мейер (ред.)]. Женева, Швейцария, 2014. 163 с.
5. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. СПб., 2017. 106 с.
6. Кухта А.Е., Максимова О.В. Воздействие климатических факторов вегетационного периода на приросты сосны обыкновенной в Среднем Поволжье и на побережье Белого моря // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 1. С. 72-83.
7. Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В., Самохина О.Ф., Кorieва И.А. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 5. С. 29-45.
8. Катцов В.М., Семенов С.М. Климат Земли: факторы изменения и причины беспокойности // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. С. 10-17.
9. Барвitenko Ю.Н., Росляков А.И., Елизарова И.О. Особенности влияния факторов погоды на обращаемость населения за медицинской помощью по поводу болезней сердечно-сосудистой системы // *Материалы междунар. научной конференции «Региональные эффекты глобальных изменений климата»* (Воронеж, 26-27 июня 2012 г.). 2012. С. 365-369.
10. Белова В.А., Ларина Е.С. Демографические последствия глобальных климатических изменений для России в XXI веке // *Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы): материалы международной научной конференции* (Воронеж, 26-27 июня 2012 г.). 2012. С. 375-377.
11. Либин И.Я., Перес П., Олейник Т.Л., Прудникова Р., Трейгер Е.М. Возможное влияние глобальных изменений климата на социальные процессы и экономику России // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 9. С. 105-108.
12. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Shapovalov A.V., Khavtsukov A.Kh. and Balkarova S.B. Modeling Risk Reduction in Agriculture Associated with Dangerous Agrometeorological Phenomena. in International scientific and practical conference AgroSMART. Smart solutions for agriculture. KnE Life Sciences. 2019. P. 223-231.
13. Бедринский А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Основы оптимальной адаптации экономики России к опасным проявлениям погоды и климата // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 4. С. 5-14.
14. Ashabokov B.A., Shapovalov A.V., Tashilova A.A. Analysis of Changes in the Natural and Climatic Conditions of the Functioning of the Construction Industry (Operation of Buildings and Structures) in the Region. Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. P. 1031-1036.