

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,807

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,807.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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

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

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 31.05.2023

Дата выхода номера – 30.06.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

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

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 11,1

Тираж – 1000 экз.

Заказ УСЕ 2023/5

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬЯ

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф. 7

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

СТАТЬЯ

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА В МОЛОДНЯКАХ
И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ДРЕВОСТОЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТАХ
В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Богданов А.П., Третьяков С.В., Цветков И.В. 13

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕДУЩИХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
РОССИЙСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ:
ЦЕНТРО-ПЕРИФЕРИЙНАЯ ПРОЕКЦИЯ

Гонтарь Н.В. 19

КОМПЕНСАЦИОННАЯ ПЕРЕСАДКА *RHODODENDRON AUREUM GEORGI*
(ERICACEAE) В ВЫСОКОГОРЬЕ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЯ

Желибо Т.В. 27

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ОТХОДОВ В СТРАНАХ РЕГИОНА
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Никанорова А.А., Манвелова А.Б. 33

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФА ПО ДАННЫМ
СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Смертин Г.Ю., Насырова Э.С. 42

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КАК ИНСТРУМЕНТ
ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шкрабтак Н.В., Праскова Ю.А., Фролова Н.А. 48

Географические науки (1.6.20. Геоинформатика, картография)

СТАТЬЯ

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ЭКОГЕОСИСТЕМ ЕВРАЗИИ:
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

Лобанов Л.В., Барaboшкина Т.А. 56

Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)**СТАТЬЯ**

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОБРАЖНЫХ ФОРМ НА ТЕРРИТОРИИ
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Саблина О.М. 62

Физико-математические науки (1.6.22)**СТАТЬЯ**

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОИДА
НА ТЕРРИТОРИИ АФГАНИСТАНА

Сафари М.А., Льюнг Т.Л. 68

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)**СТАТЬЯ**

ПРИРОДНЫЙ ПАРК РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
«ПТИЧЬЯ ГАВАНЬ» В ГОРОДЕ ОМСКЕ КАК
ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ РЕКРЕАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Демешко В.Н. 76

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

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ

Калабина М.В. 82

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1. General farming and crop production)

ARTICLE

DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK MODELS
FOR AUTOMATIC MONITORING OF AGRICULTURAL LAND
DEGRADATION BASED ON SATELLITE IMAGERY

Tuganova R.S., Yulmetova R.F. 7

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

ARTICLE

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE STOCK
IN YOUNG AND MIDDLE-AGED STANDS BASED ON THE RESULTS
OF OBSERVATIONS AT STATIONARY FACILITIES
IN THE MURMANSK REGION IN VARIOUS WAYS

Bogdanov A.P., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V. 13

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

TRANSFORMATION OF LEADING ECONOMIC ELEMENTS
OF THE RUSSIAN BLACK SEA REGION UNDER INFLUENCE
OF SANCTIONS: CENTRAL-PERIPHERAL ASPECTS

Gontar N.V. 19

COMPENSATORY TRANSPLANTATION OF *RHODODENDRON
AUREUM* GEORGI (ERICACEAE) IN THE HIGH MOUNTAINS
OF NORTHERN TRANS-BAIKAL TERRITORY

Zhelibo T.V. 27

WASTE MANAGEMENT ANALYSIS IN THE COUNTRIES
OF THE BALTIC SEA REGION

Nikanorova A.A., Manvelova A.B. 33

RESEARCH OF HEAT ISLAND IN UFA CITY ACCORDING
TO SATELLITE IMAGES

Smertin G.Y., Nasyrova E.S. 42

AIR QUALITY MONITORING AS A TOOL OF THE STATE
ENVIRONMENTAL PROTECTION MECHANISM

Shkrabtak N.V., Praskova Yu.A., Frolova N.A. 48

Geographical sciences (1.6.20. Geoinformatics, cartography)

ARTICLE

MAPPING OF GAS TRANSMISSION ECOGEOSEYSTEMS OF EURASIA:
FROM THEORY TO PRACTICE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS

Lobanov L.V., Baraboshkina T.A. 56

Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)**ARTICLE**FEATURES OF DEVELOPMENT OF GULLY FORMS ON THE TERRITORY
OF THE BELGOROD REGION*Sablina O.M.*62**Physical and mathematical sciences (1.6.22)****ARTICLE**ACCURACY ASSESSMENT OF GLOBAL GEOID MODELS
ON THE TERRITORY AFGHANISTAN*Safari M.A., Luong T.L.*68**Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)****ARTICLE**NATURAL PARK OF REGIONAL IMPORTANCE «BIRD HARBOR»
IN THE CITY OF OMSK AS A TERRITORIAL RECREATIONAL SYSTEM*Demeshko V.N.*76**Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)****ARTICLE**LABORATORY STUDIES OF MECHANICAL PROPERTIES
OF THAWING SOILS*Kalabina M.V.*82

СТАТЬИ

УДК 631.96

DOI 10.17513/use.38034

**РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ**

Туганова Р.С., Юльметова Р.Ф.

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург,
e-mail: tuganovaregina@yandex.ru, liya974@mail.ru*

Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом проблем, таких как повышенный спрос на продукты питания, изменение климата, а также истощение природных ресурсов. Для улучшения состояния сельского хозяйства активно используются методы точного земледелия, основным механизмом которого является машинное обучение, позволяющее обрабатывать большие объемы данных дистанционного зондирования Земли и определять оптимальные решения для продуктивности сельскохозяйственных полей. Поэтому для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения затрат на мелиорацию необходимо разрабатывать и внедрять автоматический мониторинг. В данном исследовании разрабатываются нейросетевые модели, которые позволяют своевременно осуществлять мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения. Для этого используются алгоритмы машинного обучения и анализ спутниковых снимков Sentinel-2. Основной целью работы является создание нейронной сети для автоматизации картирования полей и определения типов сельскохозяйственных культур. Для разработки нейросетевых моделей были поставлены следующие задачи: сбор и анализ спутниковых снимков, идентификация полей путем инстанс-сегментации и идентификация культур путем классификации. Результаты обучения нейронной сети показали точность 0,974 и 0,898 при определении границ полей и идентификации культур соответственно. Данные показатели демонстрируют высокое качество и безошибочность работы моделей. Использование подобных методов автоматического мониторинга может значительно повысить производительность сельского хозяйства, а также помочь в сохранении ресурсов и борьбе с деградацией почв. Более того, применение нейросетевых моделей также сокращает затраты на мониторинг и обработку данных, делая этот подход более эффективным и экономически выгодным.

Ключевые слова: точное земледелие, машинное обучение, нейронные сети, автоматический мониторинг, дистанционное зондирование, идентификация культур, картирование полей

**DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK MODELS
FOR AUTOMATIC MONITORING OF AGRICULTURAL LAND
DEGRADATION BASED ON SATELLITE IMAGERY**

Tuganova R.S., Yulmetova R.F.

ITMO University, Saint Petersburg, e-mail: tuganovaregina@yandex.ru, liya974@mail.ru

Modern agriculture faces a number of challenges, such as increased demand for food, climate change, and depletion of natural resources. Precision farming techniques are actively used to improve agriculture, the main mechanism of which is machine learning, which allows processing large volumes of remote sensing data and determining optimal solutions for the productivity of agricultural fields. Therefore, automatic monitoring needs to be developed and implemented to improve crop yields and reduce land reclamation costs. In this study, neural network models are developed that allow timely monitoring of agricultural land conditions. Machine learning algorithms and Sentinel-2 satellite image analysis are used for this purpose. The main objective of the work is to create a neural network to automate field mapping and crop type identification. To develop the neural network models the following tasks were set: collection and analysis of satellite images, field identification by instances-segmentation and crop identification by classification. The results of neural network training showed an accuracy of 0.974 and 0.898 for field delineation and crop identification, respectively. These figures demonstrate the high quality and error-free performance of the models. The use of such automatic monitoring methods can significantly improve agricultural productivity, as well as help to conserve resources and combat soil degradation. Moreover, the application of neural network models also reduces the costs of monitoring and data processing, making this approach more efficient and cost-effective.

Keywords: precision farming, machine learning, neural networks, automatic monitoring, remote sensing, crop identification, field mapping

Современное сельское хозяйство ежедневно сталкивается с рядом проблем, в том числе с растущим спросом на продукты питания вследствие увеличения численности Земли, неизбежным изменением климатических условий, а также истощением полезных ископаемых и природных ресурсов [1, 2]. Ожидается, что к концу 2050 г.

население мира увеличится до 9 млрд чел. и прирост составит примерно 15% на сегодняшний день. Следовательно, проблема производства продовольствия становится все более острой в связи с неправильными методами сбора урожая и орошения, сокращением доступа к водным ресурсам и негативными последствиями для окружающей

среды, вызванными интенсивным растениеводством и животноводством. Более того, из-за быстрой урбанизации доступность земли для сельского хозяйства может резко сократиться в ближайшие годы [3].

Основным способом для решения вышперечисленных проблем является непрерывный процесс инноваций, который происходит с использованием современных информационных технологий для улучшения показателей производительности сельского хозяйства [4]. В настоящее время считается, что переход к более устойчивому сельскому хозяйству в значительной степени будет зависеть от развития растениеводства, если рацион человека будет включать большое количество продуктов растительного происхождения [5]. Для улучшения управления растениеводством важен сбор данных. Однако, чтобы улучшить производительность системы, требуется эффективное применение «больших данных» в сельскохозяйственной науке. Соответственно, для того, чтобы развивать сельское хозяйство, необходимо объединить усовершенствованные данные и аналитику с агрономической наукой. Для этого используется цифровое сельское хозяйство, представляющее собой сборник цифровых и геопространственных технологий, включающий датчики, аналитику и автоматизацию для мониторинга, оценки и управления почвенными и климатическими ресурсами в полевых и ландшафтных масштабах. Таким образом, мы переходим к понятию точного земледелия, которое стало инновационным инструментом для решения задач устойчивого сельского хозяйства [6, 7].

Точное земледелие – это наукоемкая дисциплина, которая охватывает сбор, хранение, обработку и распространение цифровых данных из различных источников. Это позволяет анализировать и понимать пространственно-временную изменчивость сельскохозяйственного производства, разрабатывать разумные стратегии управления полями и отслеживать результаты таких стратегий. В технологическом плане точное земледелие основано на использовании цифровых технологий и анализе данных для улучшения производства и оптимизации использования ресурсов.

Но для того, чтобы точное земледелие было эффективным, необходимо достоверное описание состояния местных культур для выполнения специфических методов управления с использованием автоматического оборудования. Наличие достоверной

и своевременной информации о состоянии земель является критически важным фактором для развития устойчивого сельского хозяйства. Актуальные данные позволяют разрабатывать сельскохозяйственную политику, направленную на повышение производительности продовольствия и обновление географических баз данных. Соответственно, для того чтобы иметь точную информацию о землях сельскохозяйственного назначения, контуры полевых участков должны быть правильно обозначены и иметь возможность быстро их обновлять.

На данном этапе одним из основных источников информации о сельскохозяйственных землях являются кадастровые карты, фиксирующие границы полей. Однако для того, чтобы эта информация была актуальной, она нуждается в периодическом обновлении, что актуализирует проблему распознавания границ сельскохозяйственных полей. Обычно процесс разметки земель со спутниковых снимков выполняется вручную, но данный метод является неэффективным и трудоемким, особенно на больших территориях, таких как округа или регионы [8].

Точное земледелие основано на использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), таких как снимки или видеоизображения, получаемые с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) либо спутников. Эти снимки позволяют увидеть поверхность Земли с высоким разрешением, а также идентифицировать, локализовать и охарактеризовать ее особенности. В настоящей работе в качестве данных используются спутниковые снимки, поскольку они охватывают большие площади сельскохозяйственных полей в отличие от БПЛА. Несмотря на наличие снимков, сохранение точности и соблюдение временных требований при обработке этих данных представляет собой актуальную проблему, которая решается с помощью машинного обучения [9]. Машинным обучением является отрасль искусственного интеллекта, которая фокусируется на использовании данных и алгоритмов для имитации обучения, постепенно повышая их точность. Оно помогает повысить урожайность, составить карту полей, осуществлять интеллектуальный мониторинг посевов и культур. Основной вектор данной работы направлен на применение методов машинного обучения для автоматического картирования полей и идентификации выращиваемых культур для получения своевременной информации о состоянии сельскохозяйственных полей.

Исследование направлено на разработку автоматической системы мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения на основе нейронных сетей с использованием спутниковых снимков.

Материалы и методы исследования

В данной работе в качестве моделей использовались нейронные сети. В настоящее время они нашли применение в различных областях, особенно в машинном обучении. В области компьютерного зрения существует множество задач, которые могут быть решены с помощью нейронных сетей. Среди наиболее распространенных можно выделить четыре типа: классификация, локализация, семантическая сегментация и инстанс-сегментация. Наше исследование фокусируется на двух из них – классификации и инстанс-сегментации.

Первоочередная задача исследования заключается в сборе детальной информации с помощью спутникового зондирования для последующего использования в обучении нейронной сети. Далее проводится анализ данных и их подготовка для максимально эффективного использования в обучении. Вторым важным этапом является сегментация полей, и только после этого будет возможно точное определение типов культур. При этом применяется современная техника инстанс-сегментации, предоставляющая высокую точность облачных вычислений. Финальной задачей работы является использование классификации для идентификации различных культур. Благодаря данному этапу появится возможность автоматически определять тип посевов и состояние растительности. Это важно для выявления факторов, влияющих на урожайность, и управления севооборотом с целью повышения устойчивости и продуктивности культур.

Центральным элементом данной работы являются алгоритмы машинного обучения, которые основаны на анализе спутниковых снимков Sentinel-2. Эта группировка спутников была разработана для проекта глобального экологического мониторинга программы «Коперник». Sentinel-2 систематически предоставляет оптические изображения с высоким пространственным разрешением.

Для достижения эффективности работы нейронной сети необходимо обеспечить ее обучение на соответствующих данных, такой набор данных называется датасетом. Для успешного обучения нейронной сети требуется, чтобы она могла распознавать и понимать закономерности в данных, на которых она будет обучаться. В нашей работе были использованы четыре набора данных. Первый датасет состоит из четырех изображений со спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B и экспертной разметки границ полей [8]. Изображения были подобраны таким образом, чтобы на них, помимо полей, присутствовали леса, вода, болота и городская застройка. Пример изображения и его разметки показан на рис. 1. Второй набор данных также включает в себя четыре изображения со спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B, однако предоставляет большее количество данных – изображение площадью 1 км² содержит 35924 отмеченные границы полей (рис. 1) [10].

Третий датасет под названием USDA NASS Cropland Data Layers – это набор данных, который предоставляет информацию о расположении и площади пахотных земель в Соединенных Штатах Америки на основе данных ДЗЗ. Датасет представляет собой попиксельную карту сельскохозяйственных культур, выращиваемых на континентальной части США с 1997 г. Набор данных содержит 254 различные сельскохозяйственные культуры и маркировки (рис. 2).

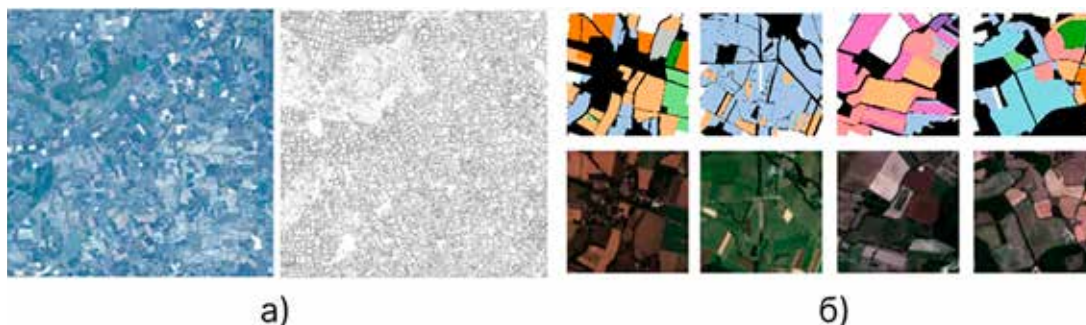


Рис. 1. Пример изображений и их разметки из первого (а) и второго датасета (б) [8, 10]



Рис. 2. Пример изображения и его маркировки из третьего (а) и четвертого (б) наборов данных

Набор данных ежегодно публикуется Национальной службой сельскохозяйственной статистики (NASS). Четвертый набор данных (Canada AAFC Annual Crop Inventory) является ежегодным инвентарем сельскохозяйственных культур Канады, который проводит Министерство сельского хозяйства и агропродовольствия Канады (AAFC). Датасет представляет собой попиксельную карту сельскохозяйственных культур, выращиваемых в период с 2009 по 2020 г. Она была создана с помощью оптических спутников Landsat-5, AWiFS, DMC, радиоспутника Radarsat-2 и содержит 72 различные культуры (рис. 2).

Первый шаг обучения нейронной сети включает изучение спутниковых изображений Sentinel-2 с последующим определением границ полей посредством сегментации. Чтобы повысить точность этого процесса, была использована более совершенная модель для обнаружения объектов на изображениях Mask R-CNN с архитектурой ResNet-50-FPN, которая улучшает производительность инстанс-сегментации. Это необходимо для того, чтобы на выходе получить разметку сельскохозяйственных полей с наиболее высокой точностью, что значительно облегчит процесс мониторинга и сделает процесс распознавания эффективнее.

Для идентификации различных сельскохозяйственных культур были использованы архитектуры EfficientNet-b3, EfficientNet-b5, предназначенные для достижения высокой точности при использовании меньшего количества вычислительных ресурсов. Отличие модели EfficientNet-b5 от EfficientNet-b3 заключается в том, что она имеет больше параметров и повышает производительность системы при выполнении конкретных задач. Однако это также требует больше вычислительных ресурсов для обучения и вывода.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам инстанс-сегментации для определения границ полей была составлена таблица точности разработанной нейронной сети (табл. 1). Точность показывает, насколько качественно будет произведена разметка полей. Это является важным фактором для повышения эффективности автоматического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

Таблица 1

Валидационные метрики для модели сегментации

Метрика	Архитектура модели maskrcnn_resnet50_fpn
mAP	0,974
Box IOU	0,950
Mask IOU	0,926

Метрика mAP учитывает как точность модели при обнаружении объектов, так и количество объектов, которые она может обнаружить. Более высокий показатель mAP указывает на лучшую производительность модели. В нашем случае показатель составляет 0,974, при том, что максимальное значение параметра составляет 1,0. Box IOU используется в качестве оценочной метрики для измерения точности моделей обнаружения объектов и составляет 0,950. Данные результаты говорят о качественно составленной модели, что позволяет утверждать, что в 100% случаев границы полей на спутниковом снимке будут размечены с высокой точностью и без возникновения ошибок системы. Пример предсказаний модели сегментации, автоматически определяющей границы сельскохозяйственного поля, представлен на изображениях (рис. 3).



Рис. 3. Пример предсказаний модели сегментации

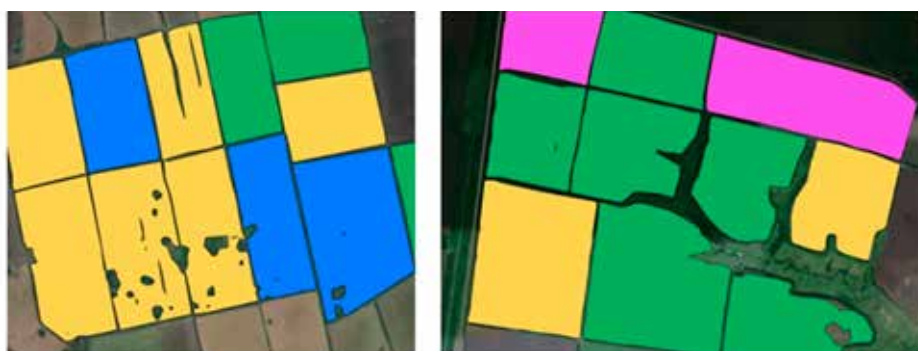


Рис. 4. Пример предсказаний модели классификации, автоматически определяющей типы культур

Автоматизированное картографирование полей посредством инстанс-сегментации может предотвратить ухудшение состояния сельскохозяйственных угодий благодаря точному распознаванию и дифференциации отдельных культур и разновидностей почвы в пределах поля. Далее данную информацию можно использовать для оптимизации методов ведения сельского хозяйства, таких как внесение удобрений, орошение и севооборот, что приведет к более эффективному и устойчивому сельскохозяйственному производству.

Следующим шагом является идентификация сельскохозяйственных культур с помощью классификации. Результаты обучения нейронной сети представлены в табл. 2.

Таблица 2

Валидационные метрики для модели классификации

Метрика	EfficientNet-b3	EfficientNet-b5
Accuracy	0,876	0,898
Precision	0,805	0,792
Recall	0,852	0,886

Модель с архитектурой EfficientNet-b5 имеет лучшие значения по метрикам accuracy (0,898) и recall (0,886). Все показатели отвечают за производительность и точность разработанной модели. Полученные значения метрик указывают на то, что на выходе модель с высокой точностью будет определять тип культур, не допуская ошибок при идентификации. Визуализация предсказаний классификатора представлена на изображениях (рис. 4).

Идентификация культур с помощью классификации может помочь в борьбе с деградацией сельскохозяйственных земель, предоставляя информацию о типах выращиваемых культур и их состоянии. Эта информация может быть использована для разработки целевых стратегий улучшения состояния почвы, уменьшения эрозионных процессов, борьбы с вредителями и оптимизации севооборота. Благодаря этому можно обеспечить продуктивность сельскохозяйственных полей в долгосрочной перспективе и снизить риск деградации почвы.

Заключение

Мы обучили нейронную сеть для определения границ сельскохозяйственных по-

лей с помощью инстанс-сегментации для дальнейшей классификации культур с целью улучшения состояния поля и снижения риска деградации почвы. По итогам обучения нейросетевых моделей были получены следующие результаты: точность идентификации полей и типов культур составила 0,974 и 0,898 соответственно. Результаты говорят о высокой точности разработанных моделей, что может быть использовано для разработки стратегий улучшения состояния почвы и обеспечения продуктивности сельскохозяйственных полей в долгосрочной перспективе. Таким образом, автоматический мониторинг может предотвратить ухудшение состояния сельскохозяйственных угодий, позволяя точно распознавать и отличать различные культуры в пределах размеченного поля, что может быть использовано для борьбы с деградацией земель и оптимизации севооборота.

Список литературы

1. Lanucara S., Oggioni A., Di Fazio S., Modica G. A prototype of service-oriented architecture for precision agriculture // *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production: International Mid-Term Conference 2019 of the Italian Association of Agricultural Engineering (AIIA)*. 2020. P. 765–774.
2. Nassani A.A., Awan U., Zaman K., Hyder S., Aldakhil A.M., Abro M.M.Q. Management of natural resources and material pricing: Global evidence // *Resources Policy*. 2019. Vol. 64. P. 101500.
3. Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review // *IEEE Access*. 2020. Vol. 9. P. 4843–4873.
4. Bucci G., Bentivoglio D., Finco A., Belletti M. Exploring the impact of innovation adoption in agriculture: how and where Precision Agriculture Technologies can be suitable for the Italian farm system? // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 275, Is. 1.
5. Basso B., Antle J. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems // *Nature Sustainability*. 2020. Vol. 3, Is. 4. P. 254–256.
6. Shamin A., Frolova O., Makarychev V., Yashkova N., Kornilova L., Akimov A. Digital transformation of agricultural industry // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 346. Is. 1.
7. Mendes J.A.J., Carvalho N.G.P., Mourarias M.N., Careta C.B., Zuin V.G., Gerolamo M.C. Dimensions of digital transformation in the context of modern agriculture // *Sustainable Production and Consumption*. 2022. Vol. 34. P. 613–637.
8. Pavlova M., Timofeev V., Bocharov D., Kunina I., Smagina A., Zagarev M. Segmentation of Agricultural Parcels in Satellite Images Based on Historical Vegetation Index Data. 2021.
9. Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review // *IEEE Access*. 2020. Vol. 9. P. 4843–4873.
10. Garnot V.S.F., Landrieu L. Panoptic segmentation of satellite image time series with convolutional temporal attention networks // *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. 2021. P. 4872–4881.

УДК 630*96

DOI 10.17513/use.38035

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА В МОЛОДНЯКАХ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ДРЕВОСТОЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТАХ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Богданов А.П., Третьяков С.В., Цветков И.В.

ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Архангельск,

e-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

Определение основных таксационных показателей является важной задачей в лесохозяйственной практике. В Российской Федерации лесохозяйственная деятельность регламентирована нормативно-правовыми актами, разработаны региональные нормативно-справочные материалы для таксации и рекомендации, в общесоюзных (общероссийских) нормативах не отрицалось создание региональных нормативов, учитывающих зонально-типологические и экономические особенности лесов. Предметом исследования являются таксационные нормативы для оценки насаждений сосны обыкновенной на северном пределе их распространения в Архангельской и Мурманской областях, Республиках Карелии и Коми. Повышение точности и снижение трудоемкости полевых работ для определения запаса и других таксационных показателей необходимо для планирования лесохозяйственных мероприятий, а также правильной оценки ресурсного и экологического потенциала лесных экосистем. Для оценки точности получения запаса были использованы различные уравнения и упрощенные формулы. По результатам проведенной работы выявлено и статистически обосновано заключение о недостоверном различии полученных значений запасов, полученных разными методами, в том числе для северо-восточного лесотаксационного района. Систематическая ошибка составляет от -7,2 до 8,2%. Проведена оценка по критерию Пирсона, по результатам которой можно сделать вывод о том, что отличие запасов, установленных по формулам от данных перечислительной таксации, является случайным. По упрощенной формуле различие оказалось также несущественным, а систематическая ошибка составляет 9,9%. Однако данный метод можно рекомендовать только для предварительной оценки запаса на труднодоступных участках.

Ключевые слова: сосняк, запас, нормативы таксации, точность, молодняки, средневозрастные, систематическая ошибка, критерий согласия

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

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE STOCK IN YOUNG AND MIDDLE-AGED STANDS BASED ON THE RESULTS OF OBSERVATIONS AT STATIONARY FACILITIES IN THE MURMANSK REGION IN VARIOUS WAYS

Bogdanov A.P., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V.

FBU "Northern Research Institute of Forestry", Arkhangelsk, e-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

Determination of the main taxation indicators is an important task in forestry practice. In the Russian Federation, forestry activities are regulated by normative legal acts, regional normative reference materials for taxation and recommendations have been developed, the creation of regional standards taking into account the zonal, typological and economic features of forests has not been denied in the All-Union (all-Russian) standards. The subject of the study is the taxation standards for assessing stands of scots pine at the northern limit of their distribution in the Arkhangelsk and Murmansk regions, the Republics of Karelia and Komi. Improving the accuracy and reducing the complexity of field work to determine the stock and other tax indicators is necessary for planning forestry activities, as well as the correct assessment of the resource and ecological potential of forest ecosystems. Various equations and simplified formulas were used to assess the accuracy of obtaining the stock. Based on the results of the work carried out, the conclusion about the unreliable difference in the obtained values of reserves obtained by various methods, including for the north-eastern forest taxation area, was revealed and statistically substantiated. The systematic error ranges from -8,2 – -9,2%. An assessment was carried out according to the Pearson criterion, according to the results of which it can be concluded that the difference between stocks found by formulas from the data of enumerative taxation is random. According to the simplified formula, the difference was also insignificant, and the systematic error is -9,9%. However, this method can only be recommended for a preliminary assessment of the stock in hard-to-reach areas.

Keywords: pine forest, stock, taxation standards, accuracy, young, middle-aged, systematic error, criterion of consent

The publication was prepared based on the results of research carried out as part of the state task of the FBU "SevNIILKH" to conduct applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency "Development of forest inventory standards for Scots pine plantations at the northern limit of their distribution, located on the border with open spaces: tundra, wetland areas (sea) in the area of near-tundra forests and sparse taiga and in protective forests of the north-taiga region of the European part of the Russian Federation and the development of recommendations for managing them" (registration number of the topic: 122012600067-9).

В настоящее время изменения климата существенно влияют на все природные экосистемы, особенно в Арктической зоне. Прослеживается некоторый тренд увеличения фитомассы на арктических территориях, что обусловлено повышением проективного покрытия и продукцией фитомассы в условиях роста продолжительности вегетационного периода, теплового режима почв и большей доступности питательных веществ для растений, что может положительно сказываться на росте и развитии лесных экосистем [1]. Изменение климата может нести также угрозы [2]. В ближайшее время могут потребоваться новые нормативы для определения основных таксационных показателей лесообразующих пород, расположенных на границе с открытыми пространствами: тундрами, водноболотными участками (морем) в районе притундровых лесов и редкостойной тайги и в защитных лесах северо-таежного района европейской части Российской Федерации. Проблемы притундрового лесоводства являются актуальным направлением для исследования [3–5].

В статье приведены оценки точности определения запаса в молодняках и средневозрастных древостоях сосны в Мурманской области. Кольский полуостров входит в сухопутную территорию Арктики [6, 7], по лесорастительному районированию входит в район притундровых лесов и редкостойной тайги и северо-таежный район европейской части Российской Федерации [8]. По таксационному районированию входит в Северо-Западный лесотаксационный район [9].

Целью проведения исследования является оценка возможности разработки унифицированных нормативов для определения запаса для сосняков на северном переломе их распространения на территории Европейского Севера.

Материалы и методы исследования

Для оценки точности определения запаса использованы результаты обследования стационарных объектов в молодняках и средневозрастных сосняках в Мурманской области. Собраны материалы постоянных наблюдений, в частности паспорта пробных площадей. Месторасположение постоянных пробных площадей – Оленегорское участковое лесничество Мончегорского лесничества.

Средний диаметр определен через площадь поперечного сечения среднего дерева. Распределение числа деревьев по диаметру осуществлялось с градацией в 1 см.

Перечислительные данные сведены в одну ведомость. Средняя высота находилась графическим способом. Старое видовое число определено как отношение объема ствола к объему цилиндра, имеющего со стволом одинаковую высоту и площадь сечения на высоте 1,3 м по формуле

$$f = V_c / V_{ц} = V_c / (g_{1,3}H), \quad (1)$$

где V_c – объем ствола, м³;

$V_{ц}$ – объем цилиндра, м³.

Средний возраст древостоя определен по модельным деревьям, а в случае повторного обследования путем прибавления количества лет, прошедших после последнего обследования, к определенному ранее возрасту.

Класс бонитета определен по соотношению средней высоты преобладающей породы и среднего возраста по бонитировочной шкале М.М. Орлова [10].

Относительная полнота древостоя (P) определена по формуле (2) как отношение сумм площадей сечений деревьев ($\sum G_d$) в квадратных метрах на гектаре таксируемого древостоя на высоте 1,3 м (абсолютная полнота) к сумме площадей сечений деревьев ($\sum G_n$) нормального древостоя [10]:

$$P = \sum G_d / \sum G_n, \quad (2)$$

Запас по данным перечислительной таксации, принятый за истинный, рассчитывался путем суммирования объемов стволов по ступеням толщины, по общеизвестной формуле [9]:

$$M = v_1 n_1 + v_2 n_2 + v_n n_n, \quad (3)$$

где n – число деревьев по ступеням толщины, шт.;

v – объем средних деревьев этих ступеней, м³.

В общей сложности имеется 21 характеристика пробных площадей в различном возрасте, от 33 лет до 49 лет. Класс бонитета составляет IV–V, средняя высота варьируется от 5,6 м до 8,2 м, средний диаметр от 4,6 см до 10,4 см, количество деревьев на пробных площадях составляет от 1940 шт./га до 9560 шт./га, запас на 1 га от 52 м³/га до 163,4 м³/га. Таксационные характеристики пробных площадей приведены в табл. 1.

Данные по запасам перечислительной таксации сравнивались с запасами, полученными следующим образом:

1) по простейшей формуле для сосновых древостоев высотой до 10 м [11]:

$$M = 17(H - 2)P, \quad (4)$$

где P – относительная полнота;

Таблица 1

Характеристика древостоев на пробных площадях по годам наблюдения

№	Тип леса	Порода	Средние			N, здор./га	N, сух./га	G, м ² /га	Объем среднего ствола, м ³	Полнога	Кэф. формы	J вид. число	Запас, м ³ /га	
			A, лет	H, м	D, см								Раст.	Сух.
1*62 1962	С.бр.	С	33	5,6	4,6	9560	65	20,80	0,00678	1,24	0,809	0,695	92,8	0,2
		С	38	6	5,4	9510	115	27,06	0,0094	1,56			116,7	0,3
		С	43	6,3	5,7	9570	160	31,38	0,0112	1,77			147,0	0,8
2*62 1962	С.бр.	С	35	5,6	5,11	8964	84	23,98	0,00767	1,43	0,854	0,667	107,8	0,6
		С	40	6,37	6,07	8960	276	31,31	0,0124	1,75			146,4	1,3
		С	45	7	6,3	8960	360	34,43	0,0145	1,83			173,2	
3*62 1962	С.бр.	С	34	6,35	7,15	3456	32	19,26	0,0163	1,08	0,842	0,69	92,9	0,2
		С	39	6,8	8,2	3796	48	23,82	0,0228	1,29			114,1	0,6
		С	44	7,1	8,3	3772	72	26,39	0,0265	1,39			132,1	1,5
4*62 1962	С.лиш.	С	34	6,35	8,19	1876		11,74	0,0215	0,66	0,797	0,67	52,5	
		С	39	7,24	9,8	1856	20	16,04	0,0366	0,84			80,4	0,5
		С	44	8,2	10,4	1844	32	18,14	0,0466	0,88			96,5	0,9
5*62 1962	С.лиш.	С	33	7,3	8,5	2264		15,52	0,0248	0,81	0,758	0,624	73,9	
		С	43	8,4	10,4	2264	16	22,71	0,0445	1,09			122,9	0,5
7*62 1962	С.бр.	С	39	6,4	6,4	6972		22,22	0,01006	1,24	0,795	0,658	110,2	0,4
		С	44	7,1	7	5804		27,70	0,0172	1,46			138,9	3,4
		С	49	7,6	7,4	5796		30,19	0,0215	1,54			163,4	3,4
1*65 1965	С.бр.	С	39	6,6	7,8	1960	20	11,32	0,0206	0,62		0,653	56,1	0,2
		С	45	7,4	8,6	1940	40	13,74	0,0281	0,71			70,2	4,7
2*65 1965	С.бр.	С	39	7,4	7,1	3616	52	18,41	0,02032	0,95		0,638	95,1	0,8
		С	45	7,5	7,7	3536	132	21,94	0,0223	1,12			119,4	1,5

2) с помощью видовой высоты сосновых древостоев, найденной по формуле [9, 11]:

$$Hf = 1,4 + 0,4H, \quad (5)$$

3) с помощью видовой высоты для сосновых древостоев притундрового района, найденной по формуле [10, 12]:

$$Hf = 1,33 + 0,4H; \quad (6)$$

4) по объемным таблицам для маломерных стволов и разрядным таблицам для

Мурманской области по Северо-Западному таксационному району [11];

5) по формулам для маломерных стволов сосны в коре при высоте 1,5–4,5 м произведен по формуле Е.Г. Тюрина, преобразованной Г.С. Войновым по формуле [10]:

$$V = 0,0000136 \times d^2 \times h + 0,000180 \times d^2 \quad (7)$$

Расчет объемов стволов сосны при высоте 5 м и более произведен по формуле В.И. Левина, преобразованной Г.С. Войновым по формуле [10]:

$$V = \frac{0,0000208 \times d^2 \times h^2 + 0,0000972 \times d^2 \times h + 0,000058 \times d}{0,641 \times h + 0,908}, \quad (8)$$

где V – объем стволов, м³;

d – диаметр стволов на высоте 1,3 см;

h – высота стволов, м.

Результаты исследования и их обсуждение

Таблица 2

Таблица запасов на пробных площадях, найденных различными способами

№	Запас, м ³ /га растущей древесины	1) По простейшей формуле, M = 17(H-2)П	2) По видовой высоте G×Hf = G×(1,4+0,4H)	3) По видовой высоте G×Hf = G×(1,33+0,4H)	4) По объемным разрядным таблицам для Северо-Западного таксационного района	5) По таблице объемов стволов для Северо-Восточного таксационного района
1*62 1962	92,8	76,0	75,7	74,3	82,4	84,1
	116,7	106,2	102,8	100,9	112,6	115,6
	147,0	129,2	123,0	120,8	131,9	134,3
2*62 1962	107,8	87,7	87,3	85,6	97,7	101,2
	146,4	130,2	123,6	121,4	133,6	135,8
	173,2	155,9	144,6	142,2	151,0	159,8
3*62 1962	92,9	79,9	75,9	74,5	86,6	85,0
	114,1	105,1	98,1	96,5	108,6	104,7
	132,1	120,9	111,9	110,0	122,7	120,7
4*62 1962	52,5	48,7	46,3	45,4	53,2	47,5
	80,4	74,7	68,9	67,8	76,7	74,2
	96,5	93,2	84,9	83,6	88,8	90,3
5*62 1962	73,9	72,8	67,0	66,0	71,2	68,3
	122,9	118,7	108,1	106,5	115,7	115,4
7*62 1962	110,2	92,8	88,0	86,4	95,0	101,1
	138,9	126,9	117,4	115,5	124,2	132,9
	163,4	146,3	134,0	131,9	138,2	148,1
1*65 1965	56,1	48,7	45,7	44,9	51,3	52,1
	70,2	65,2	59,9	58,9	64,9	65,0
2*65 1965	95,1	87,3	80,3	79,0	85,6	89,3
	119,4	105,2	96,5	95,0	107,1	112,2
Систематическая ошибка, %		-9,9	-15,5	-17,0	-8,2	-7,2
Средняя квадратичная ошибка, % ³		4,52	11,1	11,62	3,87	1,96
Критерий хи-квадрат χ^2		31,2	70,4	84,7	23,7	13,8

Для сравнения и нахождения систематической и средней квадратичной ошибки данные по запасам приведены в табл. 2. Для оценки найденных запасов и получения статистических критериев точности рассчитана систематическая ошибка; средняя квадратичная ошибка по формулам (9) и (10) [13]:

$$\Delta_C = \frac{\sum(x_{изм} - x_{ист}) \times 100\%}{x_{ист} \times \sum n}, \quad (9)$$

где Δ_C – систематическая ошибка, %;

$x_{изм}$ – измеренные значения запаса, м³;
 $x_{ист}$ – истинные значения запаса, м³;
 $\sum n$ – количество пробных площадей, шт.

Систематическая ошибка характеризует, на сколько в среднем отличаются измеренные данные от истинных. Наряду с систематической ошибкой вычисляется средняя квадратичная ошибка. Средняя квадратичная ошибка показывает, на сколько в основном (68 %) единиц наблюдения отличаются отдельные измеренные значения признака от истинных.

Средняя квадратичная ошибка вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum[(\sum(x_{изм} - x_{ист}) \pm \Delta c)]}{\sum n - 1}}, \quad (10)$$

где σ – средняя квадратичная ошибка.

В табл. 2 приведены данные по запасам древостоя на пробных площадях по результатам перечислительной таксации и запасы, полученные способами по формулам (1)–(8).

Стандартные значения $\chi^2 st = 31,4; 37,8; 45,3$. Фактическое значение $\chi^2 = 31,2; 23,7; 13,8$ меньше стандартного $\chi^2 st = 31,4$ что значит, что различие недостоверно. Отличие запасов, найденных по указанным формулам, от перечислительной таксации является случайным, так как эмпирический критерий меньше стандартных значений по соответствующим уровням надежности $\chi^2 = 31,4; 37,8; 45,3$.

Выводы

1. Значения запаса, найденные по стандартной формуле $V = GHF$ для сосны в молодняках и средневозрастных древостоях в зависимости от выбранной формулы для определения видовой высоты, приводят к занижению запаса древесины на 15,5–17,0%, что может быть существенным при таксации молодняков и средневозрастных насаждений [14]. Средняя высота древостоя на пробных площадях имеет высокую изменчивость, согласно данным перечета и замеров высот коэффициент изменчивости высоты составляет в среднем 28,3%, что говорит о средней и высокой степени изменчивости средних высот древостоев. Согласно устоявшейся практике определение средней высоты осуществляется графическим способом в зависимости от среднего диаметра, по графику высот, построенному по замерам высот и диаметров деревьев на пробной площади. Занижение запаса по формуле $V = GHF$ для молодняков и средневозрастных древостоев связано с определением средней высоты. Применение другого подхода с использованием тех же формул (5) и (6), но с расчетом по ступеням толщины и с определением высоты по графику высот позволяет повысить точность. В этом случае систематическая ошибка при определении запаса составит 4,6% и 6,0%, а критерий Пирсона χ^2 составит 6,2 и 9,9.

По результатам полевых и камеральных работ, а также исследований по данному направлению, проведенных В.Ф. Цветковым [15], можно отметить, что в связи с небольшими высотами древостоев и высокой сбежистостью стволов коэффициенты формы сосны в Мурманской области несколько ниже, чем в Архангельской области, однако видовые числа стволов сосны в Мурманской области также несколько ниже, чем в более южных районах (в сравнении с данными В.И. Левина), и близки к таковым по притундровым лесам Архангельской области и Республики Коми, что может быть основой для разработки унифицированных объемных таблиц.

2. На Европейском Севере России в экотопе «тайга – тундра» для Северо-Восточного и Северо-Западного таксационного района могут быть составлены общие унифицированные таблицы объема стволов для молодняков и средневозрастных древостоев.

3. Разработка общих унифицированных таблиц объемов стволов для насаждений сосны обыкновенной на северном пределе их распространения основана на изучении видовой высоты для исследуемых сосняков.

Список литературы

1. Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 5. С. 310–323. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-310-323.
2. Королева Т.С., Константинов А.В., Шунькина Е.А. Угрозы и социально-экономические последствия изменения климата для лесного сектора // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. № 3. С. 55–71.
3. Желдак В.И., Чижов Б.Е., Гаркунов Г.А., Захаров А.И. О лесоводственных мероприятиях в притундровых лесах Западной Сибири // Лесоведение. 2013. № 3. С. 19–29.
4. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Григорьев И.В., Каляшов В.А., Рудов С.Е., Иванов В.А. Проблемы и перспективы лесозаготовительного производства в условиях районов распространения вечной мерзлоты // Системы. Методы. Технологии. Проблемы и перспективы. 2021. № 3 (51). С. 59–67.
5. Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В. Скорость роста и структура фитомассы *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в средневозрастных сосняках Мурманской области // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56, № 4. С. 314–325. DOI: 10.31857/S0033994620040093.
6. Указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения: 24.04.2023).
7. Федеральный закон от 13.07.2020 № 193-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45677> (дата обращения: 24.04.2023).

8. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 «Перечень лесорастительных зон Российской Федерации и перечень лесных районов Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 24.04.2023).
9. Загребев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справочник. М: Колос, 1992. 494 с.
10. Лесотаксационный справочник по северо-востоку Европейской части Российской Федерации (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской области и республики Коми). Архангельск, 2012. 672 с.
11. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР. Ленинградской, Новгородской, Псковской, Мурманской областей и Республики Карелия. Л.: ЛТА, 1984. 320 с.
12. Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса Европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск, 1998. 332 с.
13. Коптев С.В., Бахтин А.А. Моделирование экосистем: методические указания к выполнению лабораторных работ. Архангельск: САФУ, 2014. 52 с.
14. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек и о внесении изменений в Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211300033> (дата обращения: 24.04.2023).
15. Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ, 2002. 380 с.

СТАТЬИ

УДК 911.9:338.222

DOI 10.17513/use.38036

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕДУЩИХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
РОССИЙСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ:
ЦЕНТРО-ПЕРИФЕРИЙНАЯ ПРОЕКЦИЯ**

Гонтарь Н.В.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: passat01@mail.ru

Санкции в отношении России, введенные странами Запада в феврале 2022 – марте 2023 г., стали качественным фактором экономической динамики РФ. Элементом такой динамики стала трансформация центрально-периферийного положения макрорегионов и регионов РФ, в разной мере затронутых санкционным воздействием. Причерноморье (Юг России) явилось ареалом реализации компенсаторных внешнеэкономических стратегий РФ (переориентации связей на страны «глобального Юга»). Также ряд отраслей и компаний Причерноморья оказались выведены из-под санкций в силу их жизнеобеспечивающего значения. В статье исследуется траектория трансформации экономики российского Причерноморья на уровне его ключевых субъектов (Ростовская область и Краснодарский край), отраслей и ведущих компаний. Материалами анализа послужили статистические наблюдения, информация компаний и аналитических агентств. Представлены модели реакции на санкции со стороны российских и иностранных компаний. Сделаны выводы о сохранении реального производственного потенциала регионов, несмотря на уход крупных иностранных компаний. Оценена трансформация центрально-периферийного положения регионов и отраслей Причерноморья. Обосновано относительное сохранение (и фрагментарное наращивание) ими своих центрально-узловых позиций в условиях общероссийского спада хозяйственных параметров в исследуемый период.

Ключевые слова: Причерноморье, санкции, центрально-периферия, Ростовская область, Краснодарский край, бизнес-стратегии

Исследование выполнено за счет гранта РНФ 22-28-00022 «Геоэкономические и геополитические детерминанты трансформации центрально-периферийных структур в трансграничных «морских» регионах: концептуализация, мониторинг и моделирование в интересах государственного управления (на материалах Балтики, Каспия и Причерноморья)» в Южном федеральном университете.

**TRANSFORMATION OF LEADING ECONOMIC ELEMENTS
OF THE RUSSIAN BLACK SEA REGION UNDER INFLUENCE
OF SANCTIONS: CENTRAL-PERIPHERAL ASPECTS**

Gontar N.V.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: passat01@mail.ru

Sanctions against Russia, introduced by Western countries in February 2022-March 2023, have become a qualitative factor in the economic dynamics of the Russian Federation. An element of such dynamics was the transformation of the central-peripheral position of macro-regions and regions of the Russian Federation, to varying degrees affected by the sanctions impact. The Black Sea region (South of Russia) was the range for the implementation of compensatory foreign trade strategies of the Russian Federation (reorienting ties to the countries of the "global South"). Also, a number of industries and companies of the Black Sea region were withdrawn from sanctions due to their life-supporting importance. The article examines the trajectory of transformation under the influence of sanctions in the Russian Black Sea region at the level of its key subjects (Rostov Region and Krasnodar Territory), industries, and – the most significant companies. The analysis materials were statistical observations, information from companies and analytical agencies. Models of reaction to sanctions of Russian and foreign companies are presented. Conclusions were made about the preservation of the real production potential of the regions despite the exit of large foreign companies. The transformation of the central-peripheral position of the regions and industries of the Black Sea region was assessed. It shows the relative preservation (and fragmentary growth) of their central-nodal positions in the context of the all-Russian decline in economic parameters during the period under study.

Keywords: Black Sea region, sanctions, center-periphery, Rostov region, Krasnodar region, business strategies

The study was funded by the RSF grant 22-28-00022 "Gеоeconomic and geopolitical determinants of the transformation of center-peripheral structures in transboundary "marine" regions: conceptualization, monitoring and modeling in the interests of public administration (based on the materials of the Baltic, Caspian and Black Sea regions)" in the Southern Federal university.

Пространственная центрально-периферийная структура экономики России во многом находится под влиянием открытости и динамичности социально-экономической системы, развития международных связей и включения в производственную структуру транснациональных компаний. Локализация соответствующих процессов и акторов хозяйственной динамики на фоне реали-

зации масштабных санкций в отношении РФ после ввода войск России на Украину 24 февраля 2022 г. предопределила дифференциацию влияния вводимых ограничений на отдельные системы мезоуровня и их центрально-периферийное положение.

В целом в отношении РФ к марту 2023 г. были задействованы 10 пакетов санкций со стороны ЕС [1] в отношении

1275 физических и 435 юридических лиц РФ, включая КБ и НИИ, госорганы и государственные компании ряда отраслей, банки и иные структуры. Санкции также введены США, Японией, Швейцарией, другими странами; задействованы вторичные санкции, препятствующие торговому обмену РФ со странами «глобального Юга». Если до февраля 2022 г. в отношении РФ действовали, согласно [2], 2754 санкционные меры, то в феврале 2023 г. – 14081 мера. По количеству санкций РФ обошла Иран.

Проекция санкционных ограничений на социально-экономические системы мезоуровня явилась следствием сложившейся до 2022 г. географии глобальных (иностранных) ТНК в РФ, хозяйственной структуры и экспортной ориентации экономик субъектов РФ, географии контрагентов российских компаний (отрасли демонстрировали различную реакцию на трансформацию географии поставок и сбыта, логистических потоков).

В настоящее время отсутствуют системные оценки проекции кризисно-санкционной трансформации производственного потенциала на уровне субъектов РФ, что позволяет говорить об актуальности настоящей проблематики, в особенности – применительно к российскому Причерноморью. Последнее, как отмечалось, в частности, А.Г. Дружининым и соавт. [3, с. 33], «являет собой значимое коммуникационное пространство, выступает геокультурным, геополитическим барьером, что существенно трансформирует... складывающуюся акватерриториальную центрально-периферийную структуру». В условиях актуального сложившегося компенсаторного переформатирования глобальных коммуникаций РФ Причерноморье становится одним из двух ключевых (наряду с Дальним Востоком) коридоров торгово-экономического взаимодействия, призванного заместить обмены с ЕС и другими странами «глобального Запада». Следствием этого становится относительное усиление как транзитной функции, так и собственного вклада в хозяйственную динамику ряда структур Причерноморья, осложненное санкционными ограничениями, которые также затронули компании макрорегиона.

Цель исследования состоит в анализе спектра санкционных ограничений, их влияния на трансформацию пространственных хозяйственных процессов, отраслевой динамики, и центрально-периферийного положения ключевых структурных элементов российского Причерноморья в краткосрочной ретроспективе. В этой связи реша-

лись задачи выявления спектра реакций на санкционную трансформацию ключевых (определяющих динамику макрорегиона) структурных элементов российского Причерноморья (базовых по социально-экономическому статусу субъектов РФ, их ключевых отраслей и компаний), оценивалось влияние такой реакции на центрально-периферийное положение данных элементов.

Материалы и методы исследования

Исследование исходит из представления о доминирующей роли центрально-узловых элементов в формировании траектории системы в целом, что позволяет сконцентрироваться, прежде всего, на анализе таких элементов. Одновременно система рассматривается как элемент надсистемы более высокого уровня, где ей присуща собственная динамическая центрально-периферийная позиция. Как следствие, объектом анализа в рамках настоящей статьи явились:

- системы субнационального уровня – Ростовская область и Краснодарский край, концентрировавшие к 2022 г. 60% населения и к 2021 г. 64,2% ВРП Юга России [4], определяя, таким образом, траекторию хозяйственной системы макрорегиона в целом.

- наиболее значимые отрасли обозначенных регионов, реализующие общенациональные функции (АПК, сельскохозяйственное машиностроение, отрасли морехозяйственного комплекса, туризм и рекреация).

- ключевые производственные компании Причерноморья (входящие в топ-лист компаний РФ), с учетом ключевой роли бизнеса в восстановлении и поддержании экономического равновесия в силу ранее отмеченной [5] значимой проактивности и адаптивности его субъектов.

Материалами анализа послужили: спектр корпоративной информации, оперативная статистика Росстата, материалы опросов и открытые экспертные мнения представителей бизнеса исследуемых регионов, отраженные на федеральном и региональном уровне такими источниками, как РБК, «Эксперт», «Эксперт-ЮГ», региональными деловыми изданиями. Предметом исследования явились детерминированные санкционным воздействием процессы трансформации бизнесов и параметров развития пространственных систем. Анализ дифференцирован в отношении рыночных компаний в зависимости от их российского/инострannого статуса в силу существенной разницы их реакций на санкционную повестку. Хронологические рамки анализа:

март 2022 г. – март 2023 г. – период формирования и введения в действие санкций и выстраивания моделей реакции на них.

Результаты исследования и их обсуждение

Центрально-узловые позиции в системе Российского Причерноморья могут быть охарактеризованы применительно к его базовым структурным элементам. Так, на уровне Юга России Краснодарский край и Ростовская область являются лидерами по демографическому потенциалу (3,9% и 2,9% населения РФ соответственно; 3-е и 6-е место в РФ). На них приходится 6,4% занятых в экономике РФ, 4,1% инвестиций в ОПФ, 4% обрабатывающих производств, 12,5% производства в сельском хозяйстве, 5,1% объема строительных работ и 7,7% оборота розничной торговли [4]. На уровне Юга России доля данных субъектов составляла: ВРП – 64,2%, инвестиций – 62,3%, обрабатывающих производств – 73,6%, производства продукции в сельском хозяйстве – 69,6%, ввода в действие жилья – 74,7%, розничного товарооборота – 70,7% [4]. Из 256 реализуемых на Юге инвестиционных проектов объемом от 300 млн руб. 125 локализованы в Краснодарском крае (41% инвестиционного портфеля ЮФО в 2022 г.) [6]. Центры регионов – единственные на Юге России города-миллионники (Ростов – 1142 тыс. чел, Краснодар – 1099 тыс. чел.), концентрирующие также управленческие функции на уровне Юга России (Ростов-на-Дону – центр как ЮФО, так и Южного военного округа).

На *отраслевом уровне* имеет место общероссийская специализация обоих регионов в машиностроении: регионы обеспечивают подавляющую часть поставок комбайнов и зерноуборочной техники (доля рынка компании «Ростсельмаш» в РФ – 70%), поставки продукции для атомной промышленности («АЭМ-технологии» – часть машиностроительного дивизиона Росатома – «Атомэнергомаш»), металлургической продукции. В сельском хозяйстве два региона в сумме сосредотачивают 11% посевных площадей РФ (в том числе более 13% – под зерновыми и зернобобовыми, подсолнечником, 19% – под сахарной свеклой, 16% – под овощами), обеспечивая четверть сбора зерна и сахарной свеклы в РФ, 20% сбора подсолнечника [4]. Долины Дона и Кубани, Черноморское побережье Краснодарского края являются ключевыми регионами виноградарства и виноделия России. Морехозяй-

ственный комплекс Азово-Черноморского бассейна – логистический хаб национального уровня на южном направлении (включая крупнейший порт РФ – Новороссийск, обеспечивший 17,5% грузооборота портов РФ в 2022 г.).

Черноморское побережье Краснодарского края является центром внутреннего туризма (в 2022 г. турпоток достиг 9 млн чел., в зимний сезон 2022/2023 гг. – 2,5 млн чел., согласно Министерству курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края).

На *корпоративном уровне* компании регионов традиционно присутствуют в рейтингах крупнейших компаний РФ: так, в рейтинге РБК-500 [7] значились:

– в Ростовской области: НЗНП, ТД «РИФ», «Астон», «Ростсельмаш», «Глория Джинс», «АХ Степь», «Юг Руси», Группа ЭПМ (ныне – ЭЛ6), PepsiCo Россия (филиал), «Метро Кэш энд Керри» (филиал), Роствертол («Вертолеты России»), «ИКЕА Дом» (Ingka), «Кока-Кола Эйчбиси Евразия» (Coca-Cola), «Макдоналдс»,

– в Краснодарском крае: «Магнит», «Славянск Эко», Агрокомплекс «Выселковский», «Инвестнефтьтрейд» (Краснодар), Независимая энергосбытовая компания Краснодарского края, «Юг-Авто», «Данон» (Danone) (производства).

В Ростовской области крупнейшими работодателями в 2022 г. являлись ГК «Ростсельмаш» – более 14 тыс. чел., ГРУППА АГРОКОМ – ок. 12 тыс. чел., «Магнит» в Ростовской области – 9,2 тыс. чел., X5Retail Group – 8 тыс. чел., Роствертол, Донэнерго, ТНТК им. Бериева, ГК Юг Руси, Тагмет, НЭВЗ, Глория Джинс, Атоммаш, АО Алюминий металлург Рус, ГК Дамате (птицеводство), АО Астон – более 3 тыс. чел. каждая.

Санкционные факторы трансформации траекторий ключевых структурных элементов российского Причерноморья на *мезоуровне* были обусловлены положением исследуемых регионов на путях внешне-торговых коммуникаций РФ с «глобальным Югом», который приобрел доминирующее положение в ВЭД РФ с учетом санкционных ограничений со стороны ЕС (так, по данным Минэкономразвития [8], доля «недружественных» стран, включая ЕС, в экспорте РФ уменьшилась в 2022 г. с 58 до 35%).

Динамика региональных систем Причерноморья обуславливалась отсутствием опоры на подсанкционный экспорт нефти и газа (осуществляется лишь их перевалка в Туапсе и Новороссийске). Основу экспорта составляют продукты аграрной отрасли, ко-

торые оказались выведены из-под санкций (более половины экспорта Ростовской области – это продовольствие; сельхозпродукции в 2021 г. экспортирована на 6,8 млрд долл.; область в 2021 г. заняла 6 место в РФ по объему несырьевого неэнергетического экспорта – свыше 3 тыс. позиций). Преимуществом обменов регионов стала и география торговли, ориентированная во многом на страны, не введшие санкции; в частности, из Ростовской области 20% товаров отправлялось в Турцию; 11% – в ОАЭ, 8% – в Египет. В Китай поставляются мясо, молочные продукты, шоколад [9].

Несмотря на вводимые ограничения, грузооборот морских портов России в 2022 г. вырос на 0,7% г/г до 841,5 млн т; грузооборот морских портов Азово-Черноморского бассейна достиг 263,6 млн т (+2,7%); на Новороссийск пришлось 147,4 млн т, на Тамань – 42,8 млн т, Туапсе – 21,7 млн т, порт Кавказ – 16,6 млн т, Ростов-на-Дону – 15,0 млн т. Рост грузооборота бассейна продолжился и в январе – феврале 2023 г. (43,8 млн т или +3,5% г/г) [10].

На корпоративном уровне, согласно РБК Краснодар (по данным «СКБ Контур»), в январе 2023 г. в ЮФО и СКФО под санкциями находились 430 юридических лиц, из которых в Ростовской области – 81, в Краснодарском крае – 76. Часть компаний стала объектами санкций в силу их принадлежности к отраслям двойного назначения (так, санкции Японии коснулись «Роствертола» («Вертолеты России»)).

Санкции реализовывались посредством прекращения деятельности иностранных компаний в РФ, ограничений на торговые обмены с Россией, поставок технологического оборудования и компонентов, сырья, прекращения поддержки технических решений в производстве (технологий в промышленности, IT-решений в сельском хозяйстве, доступа к системам бронирования в туризме), касались покупки российских ресурсов, введения потолка цен на них.

Компании встали перед необходимостью поиска новых рынков сбыта, поставщиков сырья и комплектующих, что обнажило ряд проблем при попытке замещения: отсутствие производства в России (лабораторного оборудования, техники для семеноводства, питомниковой техники, саженцев для виноградников, иной номенклатуры); невозможность заместить технологические линии, выстроенные на оборудовании и компонентах из ЕС (примеры – импорт-

ное происхождение 90% хлебопекарного оборудования; практически полная опора на импорт закваски и ферментов для сыров) [11]; отсутствие достаточного отечественного предложения (доля российского пищевого оборудования – лишь 40%); низкое качество аналогов; несовместимость деталей из КНР с европейским оборудованием. Однако, согласно опросу бизнеса весной 2022 г., 42% компаний Ростовской области и Краснодарского края указывали, что не критично зависимы от импорта, 23% – что практически не зависят от него [12].

Следствием санкционного кризиса стало преобладание в первом полугодии 2022 г. инерционных трендов, но во втором полугодии 2022 г. – сокращение прибыли крупных и средних компаний РФ на 45,4% г/г. [13]. Вместе с тем сокращение экономических параметров бизнеса в узловых точках Причерноморья носило разнонаправленный характер.

Модели трансформации траекторий развития бизнеса в ключевых регионах Юга России дифференцировались для российских и иностранных компаний. Анализ за исследуемый период (с конца февраля 2022 г.) открытых сведений о динамике запасов, выпуска и прибыли, а также планах инвестиций, расширения, сохранения или реформирования бизнеса компаний исследуемых регионов показал, что, если для российских бизнесов речь идет о моделях адаптации, то для иностранных (представленных в ключевых регионах Причерноморья) фирм – преимущественно о траекториях выхода из РФ. Модели реакции на санкции российских компаний дифференцируются на (табл. 1):

- сохранение присутствия на рынке с отказом от расширения, инвестиций в маркетинг,
- сохранение поступательной динамики, продолжение реализации проектов, инвестиций,
- активное расширение, занятие освободившихся ниш, упрочение позиций.

Иностранные компании в исследуемый период реализовали несколько сценариев (преимущественно) выхода с рынка РФ. В целом, согласно Financial Times, ок. 2000 иностранных компаний к марту 2023 г. планировали покинуть РФ, ожидая одобрения комиссии Правительства РФ по иностранным инвестициям. Из примерно 1400 крупных иностранных компаний в РФ с выручкой от 5 млн долл./год лишь 206 закрыли бизнес в России.

Таблица 1

Примеры реализации моделей санкционной адаптации компаний Ростовской области и Краснодарского края (2022 – начало 2023 г.)

Модель реакции	Пример компаний	Содержание реакции
Сохранение присутствия на рынке с отказом от расширения, инвестиций в маркетинг	Агрохолдинг «Степь» и «Агрокомплекс им. Н.И. Ткачева»	Отказ от инвестиций в новые молочные фермы в Ростовской области
	АО «Элис Фэшн Рус» (Ростов; одежда)	Отказ от инвестиционных проектов
	«Золотой Колос» (Аксай, Ростовская обл.)	Перенос ввода кондитерского комбината
	«Дон-Металл» (Каменск-Шахтинский; Рост. обл.)	Приостановка строительства завода по выпуску строительной арматуры
	Кубанский строительный холдинг AVA Group в Ростовской обл.	Перенос запуска производства ЖБИ на «ДСК Монолите» в хуторе Красный Луч
Сохранение поступательной динамики, продолжение реализации проектов	Группа сельхозкомпаний «Светлый»	Отложен ввод маслоэкстракционного завода (МЭЗ) за 3 млрд руб. в ст. Мальчевской Миллеровского р-на (Рост. обл.)
	«Ростовский морской мультимодальный порт» (РММП, столичный концерн «ПРАМО»)	Планируется ввод в Ростове второй очереди зернового терминала годовой мощностью 1 млн т
	Производитель маринованных огурцов «Аграм-Юг» (поставщик Макдональдс), Ростовская область	Продолжение работы с новыми сетевыми ресторанами
	«Ростсельмаш»	Промышленный редулопмент в Таганроге, релокация из Ростова дивизиона прицепной и навесной техники); строительство нового тракторного завода в Ростове-на-Дону
	«Фанагория», «Кубань-вино» (Краснодарский край)	Расширение производства вин, организация маточников для расширения виноградников
	Новошахтинский завод нефтепродуктов (НЗНП), Рост. обл.	Инвестиции в 2022 г. в 40 млрд руб.
Замещение	Новый металлургический комбинат ООО «Донэлектросталь» в Шахтах (Ростовская обл.)	Запуск нового оборудования
	Порт Тамань (Краснодарский край)	Строительство аммиачного терминала
	Автодилер Fresh Auto	Заккрытие автосалонов Renault и Skoda в Ростове, ориентация на автомобили из КНР
Активное расширение, занятие освободившихся ниш, упрочнение имеющихся позиций	Производитель ковров «Шахинтекс» (Ростовская обл.)	Новые поставщики сырья – «Азрус текстиль» (Azrus Textile, Бухара)
	Компания «Калория» (Краснодарский край).	Замещение поставщиков заквасочных культур на биофабрики в Барнауле и Угличе
	«АтлантисПАК» (пищевая упаковка, Ростовская обл.)	Загрузка 100% мощностей после запрета ввоза упаковки из-за рубежа
	Волгодонский производитель мебели «Алмаз»	Открытие магазинов «Любимый дом» на прежних локациях ИКЕА
	Ростовский производитель одежды и аксессуаров «Глория Джинс»	В 2022 г. открыто 70 магазинов (всего – 710). Открыт магазин на месте флагманского магазина H&M на Пушкинской пл. в Москве

Примечание: составлено по материалам исследования.

Модели поведения иностранных компаний в ключевых регионах Причерноморья Российской Федерации наглядно отражены в табл. 2:

- уход с рынка Российской Федерации и освобождение ниш для российских и иностранных компаний;
- сохранение производства с продажей собственно бизнеса, со сменой собственника и ренеймингом компаний и продукции;

- сохранение бизнеса с приостановкой сопутствующей маркетинговой деятельности;
- сохранение бизнеса в сочетании с ребрендингом и ренеймингом.

Ключевая особенность моделей выхода иностранных компаний с рынка РФ в исследуемых регионах – сохранение производства. Передача бизнеса российскому менеджменту компаний сохраняла и преемственность управления.

Таблица 2

Примеры моделей санкционной реакции иностранных бизнесов в Ростовской области и Краснодарском крае (2022 – начало 2023 г.)

Модель реакции	Пример компаний	Содержание реакции
Уход с рынка РФ и освобождение ниш	АО «ДонБиоТех» (Волгодонск)	Представители немецкой Evonik Industries AG досрочно вышли из совета директоров
	Ingka Group («ИКЕА»)	Приостановлена работа в России и Беларуси
	«Леруа Мерлен»	Заявлено об уходе из РФ
	Ростовская «дочка» «Луи Дрейфус»	С 1 июля 2023 г. – прекращение экспорта зерна из России
Сохранение производства с продажей собственному бизнесу, сменой собственника и ренеймингом	Итальянский инвестор Азовской ВЭС – «Энел» (Enel)	Продажа свою долю (56,43%) «Лукойлу» и «Газпрому»
	Ростовский «Карлсберг» (Carlsberg Group)	Продажа Ростовского пивоваренного завода «Южная Заря 1974»
	«Макдоналдс»	Закрытие ресторанов в РФ
	Британский складской девелопер «Рэйвен пропери групп» (Raven Property Group, логотип «Дон»)	Передача управления местному менеджменту
	«Гардиан стекло Ростов» – американская «Гардиан индастрис» (Guardian Industries)	Продажа компании столичной группе компаний «ФСК» Смена названия на «Ларта гласс Ростов»
	Air Products Manufacturing Corporation (ООО «Эйр продактс газ», Рост. Обл.)	Продажа компании российским собственникам
Сохранение бизнеса с приостановкой сопутствующей деятельности	«Джапан табакко» (Japan Tobacco), Ростов-на-Дону	Приостановила новые инвестиции и маркетинговую деятельность
	PepsiCo (Рост. обл.), завод снеков	Приостановка продаж напитков и рекламной деятельности
	Ростовская Marriott International	Отключение от системы бронирования
Сохранение бизнеса в сочетании с ребрендингом и ренеймингом	Danone	Отказ от брендов Activia, Alpro, Actimel в России
	Ростовский завод «Coca-Cola HBC Россия» (Азовский район)	Отказ от международных брендов напитков

Примечание: составлено по материалам исследования.

Относительная динамика центро-периферийного положения российского Причерноморья в исследуемый период характеризовалась ростом относительных позиций исследуемых субъектов в производстве ВРП. Если спад экономики РФ в 2022 г. составил 2,1%, то в Ростовской области, напротив, индекс физического объема ВРП составил 100,1%, в Краснодарском крае – 100,5%. Расходы консолидированного бюджета Ростовской области выросли на 21%, доходы – на 14% (до 343,1 млрд руб.). Рост общих налоговых поступлений составил 35,6 млрд руб. [13]. В Краснодарском крае доходы бюджета составили 524,3 млрд руб. (110% от плана), расходы – 513,4 млрд руб. (94,1%), рост налоговых и неналоговых доходов достиг 8,8%.

Также оба региона сформировали значимые инвестиционные портфели. Так,

в активной стадии реализации в Краснодарском крае в 2022 г. находилось 483 проекта стоимостью свыше 100 млн руб. (общей суммой около 2,6 трлн руб.). В Ростовской области в 2022 г. завершены более 400 проектов итоговой стоимостью свыше 51 млрд руб. Значительный вклад в инвестиционное лидерство вносят инвестиции в морехозяйственном комплексе Краснодарского края: строительство НПЗ «НК «Роснефть» мощностью 12 млн т/год на площадке «РН-Туапсинский НПЗ» (466 млрд руб.), развитие в порту Тамань портово-индустриального (промышленного) парка ОТЭКО (385 млрд руб.), развитие порта Новороссийск («НМТП»; 133,2 млрд руб.) [14].

Отраслевой уровень демонстрировал, согласно данным Росстата, рост ключевых параметров отраслей Краснодарского края и Ростовской области.

Таблица 3

Динамика и относительное изменение позиций ключевых отраслей базовых регионов Причерноморья в 2022 г. (индекс, 2022 к 2021)

Индикатор	РФ	Краснодарский край	Ростовская область	Относительное изменение позиций базовых отраслей
Объем ВВП/ВРП	97,9	100,5	100,1	усиление позиций
Промышленное производство	99,4	100,8	107,8	усиление позиций
Производство по виду деятельности «Обрабатывающие производства»	98,7	102,4	110,5	усиление позиций
Производство в сельском хозяйстве	110,2	109,9	110,1	сохранение позиций
Объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство»	105,2	90,5	101,9	сокращение позиций
Розничный товарооборот	93,3	96,1	98,0	усиление позиций
Инвестиции в основной капитал	104,6	107,1	102,1	сохранение позиций
Объем платных услуг	103,2	103,1	104,7	сохранение позиций
Грузооборот портов	100,7	102,7		усиление позиций

Примечание: составлено по [15].

В целом векторы трансформации центрально-узловых позиций в рамках системы могут быть охарактеризованы как:

- усиление позиций (при росте подсистемы в сочетании со стагнацией или сокращением параметров системы; при падении показателей подсистемы меньшем, чем системы в целом);
- сохранение позиций (однаправленное одинаковое изменение параметров подсистемы и вмещающей системы);
- сокращение позиций (сокращение параметров подсистемы при стагнации/росте системы; сокращение большими темпами, чем сокращение в системе в целом).

С учетом такого рода вариативности трансформации центрально-периферийного положения региональных систем и отраслей (с учетом динамики их ключевых представителей) Причерноморья выглядят неоднородно (табл. 3).

Можно говорить о сохранении или усилении относительных позиций базовых регионов Причерноморья на федеральном уровне. Характерно, что во многом оно достигнуто за счет отраслей специализации регионов: так, объем туристских услуг в РФ в сопоставимых ценах выросший в 2022 г. на 67,3% [15], во многом увеличился за счет роста туристического потока на курорты Кубани, рост продемонстрировали отрасли АПК обоих субъектов [15].

На уровне компаний трансформация центрально-периферийного положения была разнонаправлена в силу сложности соче-

тания положения на рынке и перенастройки поставок и сбыта. Так, «Ростсельмаш» (по данным компании) во втором полугодии 2022 г. сократил производство на 39%, однако также сократил долю иностранных поставщиков с 10 до 3%, оставшись при этом лидером рынка. Компании Ростовской области заняли лидирующие позиции в списке экспортеров зерна. Ростовский порт вошел в топ-3 по экспорту продовольствия в сезон 2021/2022 (3,9 млн т агропродукции). К компаниям, значимо усилившим позиции на рынке, можно отнести «Глорию Джинс», расширившую присутствие в регионе и России. Сохранили позиции на рынке компании агросферы обоих регионов.

Заключение

Особенности санкционной повестки, несмотря на ее масштабность, позволили ключевым регионам российского Причерноморья и отраслям его специализации избежать значимого ограничения производственной и внешнеторговой деятельности. Структура отраслей и ключевые рынки сбыта исследуемых регионов оказались относительно менее затронуты санкциями, чем отрасли специализации РФ. Ряд значимых отраслей (туристско-рекреационный комплекс, портовое хозяйство, АПК, машиностроение) получили импульс компенсационного роста, в том числе в силу значимой опоры на внутренний спрос и спрос со стороны стран «глобального Юга».

Анализ факторов и траекторий динамики отечественного и иностранного бизнеса позволили продемонстрировать разницу моделей их поведения. Проекция используемых подходов на уровень субъектов РФ позволит говорить о возможности оценки различий моделей региональной реакции на санкционную повестку, что, в свою очередь, может служить основанием для выстраивания спектра соответствующих таким моделям подходов региональной политики.

Список литературы

1. Official journal of the European Union. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A62022TB0166&qid=1682099287954>; (дата обращения: 15.04.2022).
2. Number of international sanctions imposed worldwide as of January 12, 2023, by target country. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/1294726/number-of-global-sanctions-by-target-country/> (дата обращения: 13.04.2022).
3. Дружинин А.Г. и др. Центро-периферийное структурирование в морской трансграничной регионализации (на примере Балтики, Каспия и Причерноморья) // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2022. Т. 15, № 3. С. 24–46.
4. Регионы России. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 10.04.2022).
5. Гонтарь Н.В. Проактивность в стратегиях бизнеса и государства в контексте задач модернизации экономики территорий // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. 2019. № 4 (60). С. 2.
6. Воробьев В. Половину крупнейших инвестпроектов Юга России реализуют в Краснодарском крае. [Электронный ресурс]. URL: <https://kubnews.ru/ekonomika/2023/03/13/polovinu-krupneyshikh-investproektov-yuga-rossii-realizuyut-v-krasnodarskom-krae/> (дата обращения: 11.04.2022).
7. Рейтинг крупнейших по выручке компаний России. [Электронный ресурс]. URL: <https://pro.rbc.ru/rbc500> (дата обращения: 11.04.2022).
8. Минэкономразвития впервые оценило изменения экспорта по «дружественности» стран. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/484784-minekonomrazvitiia-vpervye-ocenilo-izmenenia-eksporta-po-druzhestvennosti-stran> (дата обращения: 19.04.2022).
9. Курушина О. Основные внешнеторговые партнеры Ростовской области пока не участвуют в санкциях // *Город N*. 2022. 9 марта. № 08 (1467).
10. Грузооборот морских портов России за 12 месяцев 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-12-mesyacev-2022-g> (дата обращения: 11.04.2022).
11. Бессонов А., Сальникова Ю. Адаптация южных аграриев – промежуточный итог // *Эксперт-Юг*. 2022. № 11.
12. Козлов В., Сальникова Ю. Успеть помочь промышленности, пока у нее есть запасы на складах // *Эксперт-Юг*. 2022. № 5.
13. Падение прибыли бизнеса во второй половине 2022 года достигло пандемийного пика. [Электронный ресурс]. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2023/pad-en-prib-bizn-22/> (дата обращения: 11.04.2022).
14. На Кубань в 2022 году пришелся 41% инвестпортфеля ЮФО. [Электронный ресурс]. URL: <https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/6400c0759a7947783b1b07b0> (дата обращения: 12.04.2022).
15. Социально-экономическое положение России. 2022 год. Минэкономразвития России. Росстат. М., 2022. 340 с.

УДК 502.753

DOI 10.17513/use.38037

**КОМПЕНСАЦИОННАЯ ПЕРЕСАДКА
RHODODENDRON AUREUM GEORGI (ERICACEAE)
В ВЫСОКОГОРЬЕ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Желибо Т.В.

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

В статье описывается опыт компенсационной пересадки рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum* Georgi (Ericaceae)), занесенного в Красную книгу Забайкальского края как редкий вид (категория статуса – 3, редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность, связанную со специфическими условиями обитания). Данная работа имеет ряд особенностей, связанных с высокогорными условиями проведения работ на территории Удоканского месторождения меди. С целью сохранения естественной популяции *R. aureum*, на объектах строительства горно-металлургического комбината «Удокан» проведен выбор участков пересадки, имеющих похожие условия, как экологические, фитоценоотические, так и почвенные. Статья содержит геоботанические описания сообществ изъятия и пересадки, а также результаты химического анализа почв, описание почвенных разрезов. Мониторинговые работы, проведенные в следующие три года после пересадки, в ходе которых проводились фенологические наблюдения, определяющие жизнеспособность перенесенных особей, подтверждают успешность проведенных мероприятий. Так же можно говорить о сохранении биоразнообразия растений на участке посадки, по сравнению с территорией подготовленной (нанесение почвенно-растительного слоя), но не засаженной перенесенными особями. Восстановление утраченного биоразнообразия послужит устойчивости искусственно созданной популяции.

Ключевые слова: *Rhododendron aureum*, биологическое разнообразие, пересадка, редкий и охраняемый вид, хребет Удокан

**COMPENSATORY TRANSPLANTATION
OF RHODODENDRON AUREUM GEORGI (ERICACEAE)
IN THE HIGH MOUNTAINS OF NORTHERN TRANS-BAIKAL TERRITORY**

Zhelibo T.V.

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

The article describes the experience of compensatory transplantation of *Rhododendron aureum* Georgi (Ericaceae), listed in the Red Book of Trans-Baikal Territory as a rare species (status category – 3 rare species with a narrow ecological confinement associated with specific habitat conditions). This work has a number of peculiarities connected with high-mountainous conditions of the Udokan copper deposit. In order to preserve the natural population of *R. aureum* at the construction sites of the Udokan mining and smelting plant a selection of replanting sites with similar environmental, phytocenotic and soil conditions was made. The article contains geobotanical descriptions of the removal and replanting sites, as well as the results of chemical analysis of soils and description of soil profiles. Monitoring works carried out in the next three years after replanting, during which phenological observations were carried out and the viability of the transferred individuals was determined, confirm the success of the measures taken. We can also talk about the preservation of plant biodiversity at the planting site, compared to the area prepared (application of topsoil) but not planted with transplanted individuals. Restoration of lost biodiversity will serve the sustainability of artificially created population.

Keywords: *Rhododendron aureum*, biodiversity, transplanting, rare and protected species, ridge Udokan

На территории, подлежащей освоению при размещении объектов горно-металлургического комбината (ГМК) «Удокан», в результате инженерно-экологических изысканий 2018 г. были выявлены существенные площади произрастания рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum* Georgi) – вечзеленого кустарника, внесенного в Красную книгу Забайкальского края [1]. Согласно законодательству РФ (ст. 60 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»), при невозможности сохранения сообществ необходим перенос охраняемых растений в альтернативное, безопасное и сходное с естественным по экологи-

ческим условиям место произрастания [2]. В начале июля 2019 г. нами были проведены специальные исследования по выявлению возможности осуществления компенсационных мероприятий. Данная работа учитывала особенности условий произрастания рододендрона золотистого в различных местообитаниях хребта Удокан, особенности биологии вида, опыт интродукции данного вида и проектные решения строительства ГМК «Удокан». В работе была установлена возможность проведения мероприятий по пересадке и реабилитации данного вида, а также предложены конкретные участки под изъятие и посадку.

Цель исследования заключается в сохранении популяции *Rhododendron aureum* Georgi методом компенсационной пересадки с территории, которая в дальнейшем будет занята объектами ГМК «Удокан».

Материалы и методы исследования

Объектом нашего исследования является рододендрон золотистый *Rhododendron aureum* Georgi (Ericaceae). Это кустарник от 30 до 60 см высотой с прижатыми к почве и приподнимающимися темно-бурыми ветвями [3]. «Ахиллесовой пятой» рододендронов является отсутствие у них на корнях корневых волосков, которые полностью заменены гифами микоризных эрикоидных грибов [4]. Североазиатский горный общепоясный вид [5]. Растет рододендрон золотистый довольно медленно. Плодоношение начинается в среднем на 12 году жизни [6]. В пределах хребта Удокан произрастает в верхнем поясе гор на высотах от 1250 до 2500 м над уровнем моря, на выровненных поверхностях вершин, крутых каменистых склонах, в нижней и средней части горно-тундрового пояса, то есть в местообитаниях, которые характеризуются высоким атмосферным увлажнением и хорошим дренажом. Отмечен в разных биотопах: редкостойных ерниковых лиственничниках, лиственничниках с подлеском из кедрового стланика, кедрово-стланиковых зарослях, мохово-лишайниковых тундрах высокогорий [7]. Данный вид охраняемых растений широко распространен в пределах Кодаро-Удоканского горного района, участвует в составе кустарникового яруса в большинстве лесорастительных формаций, успешно восстанавливается и адаптируется при резких изменениях экологической обстановки.

Специфичность местообитаний, приуроченность к верхним поясам гор являются лимитирующими факторами его распространения. Заготовка в качестве лекарственного сырья и нарушение естественных местообитаний может привести к снижению его численности. Интродукция рододендрона золотистого не имела успеха в Сибири [3]. Неоднократные попытки интродукции не увенчались успехом. Растения, полученные из природы, не приживаются [8]. По данным Т.Н. Встовской, испытывался в ботанических садах Абакана, Барнаула, Новосибирска и Красноярска [9].

Исследования растительного покрова проводились по общепринятым геоботаническим методам [10–13]. Для оценки степе-

ни покрытия видами и оценки жизненности (виталитета) растений использовали шкалу проективного покрытия Браун-Бланке, отбор проб почв проводили методом конверта с глубины 10 см. Изучение физико-химических свойств почв и субстратов, а также их химический анализ проводился по общепринятым в почвоведении методикам.

Мероприятия по пересадке включали в себя несколько этапов:

- проведение инженерно-экологических изысканий в зоне строительства горно-металлургического комбината «Удокан», выявление мест произрастания растений, занесенных в Красную книгу РФ и Забайкальского края;

- получение разрешения на добычу охраняемых видов растений, согласно постановлению Правительства Забайкальского края № 683 от 09.12.2014 г. «О Порядке добытия объектов животного и растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края» [14];

- подготовка участка для пересадки (на участке изъятия: вырубка деревьев; на участке посадки: заполнение карьера с водой скальным грунтом, выравнивание площадки (уклон до 10°, перекрытие скального грунта почвенно-торфяной смесью, а затем ранее снятым почвенно-растительным слоем (ППС);

- пересадка;

- мониторинг за состоянием перенесенных особей.

Пересадка производилась методом перевалки, цельными куртинами в мохово-лишайниковой подушке в предварительно подготовленные посадочные места (лунки) размером 40×40 см или 50×50 см. Все этапы непосредственно пересадки, во избежание просушивания корней, проводились в течение одного дня. Транспортировка осуществлялась в жесткой таре и сопровождалась актированием каждой партии. Пересаженные куртины, во избежание зависания корней, посыпались щебнем и поливались. Оценка состояния пересаженного материала фиксировалась в акте посадки. Охраняемые растения переносили в место в пределах того же высотного пояса, в относительно безопасную для жизнедеятельности растений зону, но за пределами строительных площадок. Данная территория была нарушена в ходе подготовительных работ и рекомендована под рекультивацию.

После пересадки на площадке были установлены таблички и аншлаги с информацией о мероприятии, о дате пересад-

ке и необходимости сохранения данного участка, недопустимости проезда и прочих нарушений.

Исходя из особенностей экологии вида, для подготовки выполнены условия отсутствия застоя воды и соответствия почвенным условиям произрастания вида.

1) выровнена площадка, с соблюдением естественного уклона местности, не превышающего 10°;

2) нарушенная территория – карьер с водой заполнен скальным грунтом, размерностью от 10 до 60 см, выполняющим роль естественного дренажа;

3) скальный грунт перекрыт почвенно-торфяной смесью, без уплотнения, с нанесением почвенно-растительного слоя (ПРС) ранее снятого и складированного рядом.

Шаг посадки саженцев в ряду варьировал в пределах от 0,5 до 1,5 м, в зависимости от величины посадочного материала. Ширина междурядий варьировала от 0,5 до 1,0 м. Размеры посадочного места соответствовали величине мохово-лишайникового слоя.

Оценка состояния пересаженного материала фиксировалась сразу же и отражалась в акте посадки. В дальнейшем была проведена поэтапная оценка состояния посадок – через месяц после посадки, и в дальнейшем двукратное мониторинговое обследование (июнь, август-сентябрь) ежегодно, что позволило оценить степень приживаемости растений. Оценка качества посадки и приживаемости позволяет скорректировать процедуру пересадки при проведении последующих работ по сохранению редких видов и рекультивации территории.

Результаты исследования и их обсуждение

Место изъятия представляет собой участок склона северной ориентации межгорного понижения на высоте 1465 м над уровнем моря. Общий уклон местности 3–6°, территория с признаками переувлажнения. Почвенный покров представлен горно-таежными торфянисто-мерзлотными почвами. Морфологическое описание почв на участке изъятия: Горизонт А0 (0–4 см) – мохово-лишайниковый покров. Горизонт Ат (4–9 см) – черный, влажный, слаборазложившийся торф, непрочнокомковатый, рыхлый, включения корней, переход заметный по цвету и по составу, граница волнистая. Горизонт В (9–16 см) – бурый, влажный, песчаный, наличие камней валунов (35%), вода с 18 см каменистый материал. Горизонт С (18–200 см) – глыбовый грунт

серо-коричневый, мерзлый, с супесчаным заполнителем до 30%, с включением дресвы и щебня до 10–15%. Почва на участке изъятия характеризуется: высоким содержанием органического вещества (12,37%); очень низким содержанием обменного кальция (менее 0,2 ммоль/100 г) и обменного магния (менее 0,2 ммоль/100 г); низким содержанием подвижного фосфора (36,0 мг/кг) и подвижного калия (26,0 мг/кг); среднекислой реакцией среды рН вод (4,8). Почвы слабозасоленные (сухой остаток 0,326%). По гранулометрическому составу почвы суглинистые.

В данном месте лиственница образует разреженный древостой, сомкнутостью не более 10%, средняя высота 12 м, средний диаметр 15–20 см. Кедровый стланик формирует довольно высокий подлесок 1,5 м. В подлеске рододендрон золотистый занимает ведущее место в сложении яруса, а также березы кустарниковой. Покрытие травяно-кустарничкового яруса 60–70%. В травяно-кустарничковом ярусе значительное покрытие брусники обыкновенной, осоки буреющей. Общее покрытие яруса 60–70%. Хорошо сформирован живой напочвенный покров. Мхи и лишайники покрывают до 70% поверхности почвы (табл. 1).

Территория под пересадку площадью находится в пределах межгорного понижения на высоте 1502 м над уровнем моря. Склон северо-северо-восточной ориентации, общий уклон местности 2–6°. Территория полностью преобразована и представлена частью карьера, где была произведена выемка грунта. Согласно проектным решениям данный участок не будет задействован при строительстве и эксплуатации объектов ГМК «Удокан».

Почвенный покров окружающего ландшафта участка переноса рододендрона золотистого представлен горно-таежными торфянисто-мерзлотными почвами. Морфологическое описание почв на участке пересадки: Горизонт А0 (0–4 см) – мохово-лишайниковый покров. Горизонт Ат (4–9 см) – черный, влажный, слаборазложившийся торф, непрочнокомковатый, рыхлый, включения корней, переход заметный по цвету и по составу, граница волнистая. Горизонт В (9–16 см) – бурый, влажный, песчаный, наличие камней валунов (35%), вода с 18 см каменистый материал. Горизонт С (18–200 см) – глыбовый грунт серо-коричневый, мерзлый, с супесчаным заполнителем до 30%, с включением дресвы и щебня до 10–15%.

Таблица 1

Вертикальная структура и флористический состав лиственничника ерникового

Название растения	Проективное покрытие, балл*	Жизненность, балл
Древесный ярус, средняя высота 12 м		
Лиственница Гмелина – <i>Larix gmelinii</i>	+	3
Подрост, средняя высота 1,5 м		
Лиственница Гмелина – <i>Larix gmelinii</i>	+	3
Кустарниковый ярус, средняя высота 1,5 м		
Береза растопыренная – <i>Betula divaricata</i> Ledeb	4	4
Рододендрон золотистый – <i>Rhododendron aureum</i> Georgi	4	4
Кедровый стланик – <i>Pinus pumila</i> (Pallas) Regel	1	4
Багульник болотный – <i>Ledum palustre</i> L. s.str.	1	4
Травяно-кустарничковый ярус, проективное покрытие 30%, средняя высота 40 см		
Брусника обыкновенная – <i>Rhodococcum vitis-idaea</i>	2	4
Голубика обыкновенная – <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1	4
Клюква мелкоплодная – <i>Oxycoccus mirtilus</i> L.	+	4
Осока буреющая – <i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poiret	3	4
Мохово-лишайниковый покров, проективное покрытие, 80%, преобладают мхи		

*Примечание. Шкала Браун-Бланке (перевод проективного покрытия в баллы):

r – Вид чрезвычайно редок, покрытие незначительное.

+ – Вид редок и имеет малое проективное покрытие.

1 – Особей много, но покрытие невелико, или особи разрежены, но покрытие большое.

2 – Число особей велико, проективное покрытие 5–25 %.

3 – Число особей любое, проективное покрытие 25–50 %.

4 – Число особей любое, проективное покрытие 50–75 %.

5 – Число особей любое, проективное покрытие более 75 %.

Таблица 2

Вертикальная структура и флористический состав лиственничника ерникового

Название растения	Проективное покрытие, балл	Жизненность, балл
Древесный ярус, средняя высота 12 м		
Лиственница Гмелина – <i>Larix gmelinii</i>	2	3
Подрост, средняя высота 1,5 м		
Лиственница Гмелина – <i>Larix gmelinii</i>	+	3
Кустарниковый ярус, средняя высота 1,5 м		
Береза растопыренная – <i>Betula divaricata</i> Ledeb	2	4
Рододендрон золотистый – <i>Rhododendron aureum</i> Georgi	3	4
Береза карликовая – <i>Betula nana</i> L.	1	4
Береза кустарниковая – <i>Betula fruticosa</i> Pallas	1	4
Ива черничная – <i>Salix myrtilloides</i> L	+	4
Ива мохнатая – <i>Salix lanata</i> L. s. str	1	4
Багульник болотный – <i>Ledum palustre</i> L. s.str.	1	4
Травяно-кустарничковый ярус, проективное покрытие 30%, средняя высота 40 см		
Брусника обыкновенная – <i>Rhodococcum vitis-idaea</i>	2	3
Голубика обыкновенная – <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	1	4
Осока бледная – <i>Carex pallida</i> C.A. Meyer	3	4
Мохово-лишайниковый покров, проективное покрытие 80 %		

Почва на участке пересадки характеризуется: содержанием органического вещества (12,46%); низким содержанием обменного кальция (менее 0,2 ммоль/100 г) и обменного магния (менее 0,2 ммоль/100 г); средним содержанием подвижного фосфора (42,0 мг/кг) и очень невысоким содержанием подвижного калия (28 мг/кг); слабокислой реакцией среды рН вод (4,5). Почвы средnezасоленные (сухой остаток 0,752%). По гранулометрическому составу почвы песчаные.

Участок нарушен планировочными работами, прилегающая территория представляет лиственничник ерниковый редкостойный, сомкнутость насаждения – 20–30%, средняя высота – 13–16 м, средний диаметр – 20–30 см. Имеется единичный подрост лиственницы Гмелина, высотой 1,5–2 м. Кустарниковый ярус формируют рододендрон золотистый, береза карликовая, береза кустарниковая, береза растопыренная. Общее покрытие подлеска – 50–60%, средняя высота – 50 см. Травяно-кустарниковый ярус разнообразен по флористическому составу: багульник болотный, осока, брусника и голубика. Значительное участие в его сложении принимают ивы мохнатая и черничная. Мхи и лишайники покрывают до 90% поверхности почвы, доминируют мхи (табл. 2).

По оценке на июнь 2022 г. приживаемость составила 93,9% [15]. Было отмечено несколько цветущих экземпляров, которые в июне на момент наблюдений имели семенную коробочку с семенами, что свидетельствует о прохождении данными экземплярами полного цикла развития. Отдельные особи заложили цветочную почку, что говорит об успешности подобранных условий для данных растений. Наблюдается повышение количества растений в рядах и проективного покрытия (14 видов, 80%) в межрядовых пространствах (7 видов, 9%), что превышает их количество за пределами участка посадки (2 вида, 3%).

Заключение

Пересадка рододендрона золотистого в сходные природные условия – наилучшая стратегия для долговременного сохранения популяции данного вида в природе. Пересадку рододендрона золотистого в условиях высокогорья Каларского района Забайкальского края целесообразнее проводить в конце лета – начале осени. Выбранные участки под проведение транслокации

должны иметь наиболее близкие по физико-географическим и экологическим характеристикам условия (экспозиция, уклон, тип и состав почвы). Выемка и транспортировка особей предусматривается щадящим способом – в естественной мохово-лишайниковой подушке, помещенной в жесткую тару. Время пересадки минимальное – сокращено до 1 суток.

Наблюдается более высокое видовое разнообразие и больший процент проективного покрытия растительности в рядах и межрядовых пространствах, на участке, на котором проводились работы, по сравнению с контрольным участком, оставленным под самовозобновление.

Приживаемость рододендрона золотистого составила 93,9%.

Результаты данной работы могут быть использованы при подготовке и проведении рекультивации на месторождении, после завершения его отработки, в качестве элемента реставрационных работ по восстановлению естественных местообитаний.

Список литературы

1. Красная книга Забайкальского края (растения). Новосибирск: ООО «Дом мира», 2017. 384 с.
2. Об охране окружающей среды: Федеральный Закон Российской Федерации от 20 декабря 2001 г. № 7-ФЗ: принят Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации 26 декабря 2001 г.: одобр. Советом 285 Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 10 января 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 06.04.2023).
3. Малышев Л.И. Семейство Ericaceae – Вересковые // Флора Сибири. Rubiaceae – Lamiaceae. Т. 11. Новосибирск: Наука, 1997. С. 14–29.
4. Englander L. *Rhododendron mycorrhizae* // Brooklyn Bot. Garden. Rec. PlantsGardens, 1980–1981. Vol. 36, Is. 4. P. 24–27.
5. Малышев Л.И., Пешкова Г.А. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1984. 264 с.
6. Инструкция по посадке и агротехнике рододендронов. [Электронный ресурс]. URL: https://rododendrons.ru/instrukciia_po_posadke.html (дата обращения: 24.04.2023).
7. Желибо Т.В. О краснокнижном виде *Rhododendron aureum* на территории Забайкальского края // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России: материалы Всероссийской научно-практической конференции, (Комсомольск-на-Амуре, 09 декабря 2021 г.). Комсомольск-на-Амуре: Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, 2021. С. 34–38.
8. Мишукова И.В., Хрынова Т.Р. Результаты интродукции рододендронов в НИИ Ботанический сад Нижегородского государственного университета // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 3-3.
9. Встовская Т.Н. Древесные растения – интродуценты Сибири. *Lonicera – Sorbus*. Новосибирск: Наука, 1986. С. 93.
10. Онопченко В.Г. Функциональная фитоценология. Синэкология растений. М.: Красанд, 2013. 640 с.

11. Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х. Практическая геоботаника. Анализ состава растительных сообществ. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2015. 166 с.
12. Дехтярева С.И., Дорофеева В.Д. Лесная геоботаника: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГЛТУ, 2018. 136 с.
13. Наумов С.Ю., Кирпичев И.В. Геоботаника: учебное пособие. Луганск: Элтон, 2017. 109 с.
14. Постановление Правительства Забайкальского края № 683 от 09.12.2014 г. «О Порядке добывания объектов животного и растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края» [Электронный ресурс]. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&backlink=1&nd=175066753&page=1&rd (дата обращения: 20.04.2023).
15. Желибо Т.В. Предварительные итоги компенсационной пересадки *Rhododendron aureum* Georgi (Ericaceae) // Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (Киров, 20 февраля 2023 г.). Уфа: ООО «Аэтерна», 2023. С. 281–283.

УДК 504.06
DOI 10.17513/use.38038

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ОТХОДОВ В СТРАНАХ РЕГИОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Никанорова А.А., Манвелова А.Б.

*ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»,
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук, Санкт-Петербург, e-mail: a.a.nikanorova@gmail.com*

Решение задач образования, накопления и последующего обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является основополагающим на современном этапе формирования экологической культуры общества в Российской Федерации, что позволит обеспечить фундамент устойчивого развития экономики замкнутого цикла. В статье дана оценка текущего и ретроспективного состояния систем обращения с отходами в странах региона Балтийского моря (некоторые страны ЕС и регионы РФ: Санкт-Петербург, Ленинградская и Калининградская области). Оценка была проведена на основе анализа ряда данных за 1985–2021 гг. по выбранным параметрам: удельное количество накопления и образования, морфологический состав твердых коммунальных отходов, преобладающие виды обращения с отходами, целевые показатели и темпы их достижения в странах региона Балтийского моря. Проведенный анализ показал, что темпы достижения целей утилизации отходов в РФ выше в мегаполисе Санкт-Петербург. Достижение поставленных целей для Калининградской области представляется более сложным ввиду территориальных особенностей расположения региона. В Санкт-Петербурге, Калининградской и Ленинградской областях типовые схемы движения потоков ТКО не согласуются с современными принципами управления отходами. Общая проблема систем обращения с отходами в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Калининградской областях – слабое развитие рынка по использованию полезных компонентов из состава отходов. Сравнительный анализ систем обращения с отходами в европейских странах региона Балтийского моря показал достаточно высокую их эффективность в решении задач по сбору, сортировке ТКО для последующего использования вторичных ресурсов.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, страны региона Балтийского моря, управление отходами, вторичное сырье, переработка отходов, утилизация отходов

WASTE MANAGEMENT ANALYSIS IN THE COUNTRIES OF THE BALTIC SEA REGION

Nikanorova A.A., Manvelova A.B.

*Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, e-mail: a.a.nikanorova@gmail.com*

Solving the problems of generation, accumulation and subsequent management of MSW are fundamental at the present stage of the formation of the ecological culture of society in the Russian Federation, which will provide the foundation for the sustainable development of the circular economy. The article gives an assessment of the current and retrospective state of waste management systems in the countries of the Baltic Sea region (some EU countries and regions of the Russian Federation: St. Petersburg, Leningrad and Kaliningrad regions). The estimate was based on an analysis of a series of data for the period 1985–2021. year according to the selected parameters: specific amount of accumulation and generation, morphological composition of municipal solid waste, prevailing types of waste management, targets and rates of their achievement in the countries of the Baltic Sea region. The analysis showed that the pace of achieving the goals of waste disposal in the Russian Federation is higher in the megapolis St. Petersburg. Achieving the set goals for the Kaliningrad region seems more difficult due to the territorial features of the location of the region. Typical schemes for the flow of MSW and estimates in St. Petersburg, Kaliningrad and Leningrad regions are not consistent with modern waste management principles in general and municipal waste in particular. A common problem of waste management systems in St. Petersburg, Leningrad and Kaliningrad regions is the poor development of the market for the use of useful components from the composition of the wastes. A comparative analysis of waste management systems in the European countries of the Baltic Sea region has shown their sufficiently high efficiency in solving the tasks of collecting and sorting MSW for the subsequent use of secondary resources.

Keywords: municipal solid waste, countries of the Baltic Sea region, waste management, secondary raw materials, waste processing, waste disposal

В последние годы обращение с отходами входит в ряд ключевых проблем, волнующих население как нашей страны, так и всего мира. Образование и накопление отходов непрерывно растет, что вызывает значительные проблемы для всех государств. В этой связи важным является выбор методов обращения с отходами, чтобы использовать их в качестве вторичного сырья, со-

кращая потребление природных ресурсов [1–3]. Иерархия задач экологической политики каждой страны определяет подходы в управлении отходами.

В странах Европейского союза установлен приоритетный порядок по управлению отходами: в первую очередь приоритет отдается предотвращению образования отходов, затем предварительной обработке

отходов для их повторного использования и переработке отходов (вторичных материальных ресурсов), далее иным видам утилизации [1, 2, 4]. В целях поэтапного сокращения накапливаемых отходов законодательные акты ЕС не только устанавливают целевые показатели и требования к различным методам обращения с отходами различного состава, но и создают благоприятные условия для их выполнения. В Российской Федерации развитие отрасли обращения с отходами демонстрирует тенденцию, направленную на снижение количества отходов, поступающих на захоронение на полигонах, за счет рециклинга отходов и извлечения полезных компонентов из их состава, подлежащих переработке и вторичному использованию. Наибольшего прогресса в усовершенствовании систем обращения с отходами добиваются регионы РФ, в которых расположены крупные мегаполисы, в том числе Санкт-Петербург. При этом особо актуальной для всех стран остается проблема внедрения раздельного накопления и сбора, так как захоронение большого объема отходов на полигонах наносит экологический и экономический ущерб, вызывает санитарные проблемы и социальный дискомфорт населения. ТКО с этой точки зрения могут представлять большой ресурсный потенциал и экономический интерес [1–3].

Целью данного исследования является анализ фактических данных о функционировании систем обращения с отходами и сравнение тенденций образования, накопления, утилизации и вторичной переработки коммунальных отходов в странах региона Балтийского моря (РБМ).

К государствам, имеющим выход к Балтийскому морю, относятся Дания, Швеция, Финляндия, Россия, Эстония, Латвия, Литва, Польша и Германия. К регионам Российской Федерации, прилегающим к побережью Балтийского моря, относятся Санкт-Петербург, Ленинградская и Калининградская области.

Материалы и методы исследования

Ретроспективный анализ показателей систем обращения с отходами на территории регионов РФ проводился на основании официальных сведений, предоставляемых муниципальными образованиями в Федеральную службу государственной статистики (2006–2021 гг.) [5], ежегодных отчетов региональных административных органов власти (2000–2016 гг.) [6], данных терри-

ториальной схемы обращения с отходами в соответствующих регионах [7–9], Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» (2018–2021 гг.) [10], отчетных данных Федеральной службы по надзору в сфере природопользования за 2019–2021 гг. [11], а также с использованием справочных данных за период с 1985 г. по настоящее время и нормативных правовых актов.

В качестве исходных данных об обращении с отходами в странах Европейского союза (далее – ЕС), расположенных на территориях, прилегающих к Балтийскому морю, использованы данные статистической службы ЕС, собранные в соответствии с Регламентом (ЕС) № 2150/2002 Европейского парламента и Совета по статистике отходов (*Eurostat*) на основании последних опубликованных данных [12].

При обработке и систематизации данных в сфере обращения с отходами в РФ и ЕС были приняты во внимание опорные нормативные правовые акты и программы обращения с отходами. Например, в РФ в настоящее время в стадии реализации находится национальный проект «Экология» (сроки реализации 01.10.2018–31.12.2024), одной из задач которого является увеличение доли ТКО, направленных на обработку и утилизацию [13]. В ЕС ключевыми нормативными правовыми актами являются: Директива 2018/851 Европейского парламента и Совета от 30 мая 2018 г., изменяющая Директиву 2008/98/ЕС «Об отходах», Директива 2018/852 Европейского парламента и Совета от 30 мая 2018 г., внесшая изменения в Директиву 94/62/ЕС, касающуюся упаковки и отходов от упаковки [14, 15].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ Территориальных схем обращения с отходами в избранных регионах РФ, а также ряда Генеральных схем санитарной очистки территорий муниципальных образований (фактические данные и материалы электронных моделей «МЕГАПОЛИС») [16], прилегающих к Балтийскому морю, показал схожесть их систем обращения с отходами. В Санкт-Петербурге, Ленинградской и Калининградской областях, как и в большинстве субъектов Российской Федерации, инфраструктура по вторичной переработке отходов находится на стадии формирования. Анализ фактических данных о системе обращения с отходами

в регионах Российской Федерации, расположенных на территориях, прилегающих к Балтийскому морю, проведен на основании отчетных данных Федеральной службы по надзору в сфере природопользования за 2019–2021 гг. (рис. 1) [11]. Целевые показатели использования вторичного сырья в производстве товаров в РФ не разработаны. К 2024 г. плановые показатели доли ТКО, направленных на утилизацию, должны вырасти с 7 до 36%; а доля ТКО, направленных на обработку, в общем объеме образованных ТКО должна была составить 38% в 2021 г. и 60% к 2024 г. (рис. 1) [13].

Как видно из рис. 1, большинство отходов в Ленинградской и Калининградской областях (порядка 75 и 99% соответственно) поступают на размещение на лицензированные полигоны. В Санкт-Петербурге доля отходов, захороненных на полигонах, значительно меньше, в 2020 г. она составляла 52,8%. Среди регионов Российской Федерации, прилегающих к побережью Балтийского моря, наибольшее значение доли ТКО, направленных на обработку от общей массы образованных ТКО, достигнуто

в Санкт-Петербурге, при этом в 2021 г. она составила 96,2%. Наименьшее значение данного показателя – в Калининградской области и составляет в 2020 г. 6,4%, в 2021 г. 7,8%. В 2021 г. общероссийские целевые показатели обработки и утилизации ТКО среди рассматриваемых регионов РФ были достигнуты только в г. Санкт-Петербурге.

Анализ динамики морфологического состава ТКО за период 1985–2021 гг. для г. Санкт-Петербурга, Ленинградской и Калининградской (до 2001 г.) областей показал, что в составе ТКО любого происхождения содержится около 50% материалов, которые могут быть переработаны и использованы либо как источник вторичного сырья (компостируемые – не менее 30%, а потенциальное вторичное сырье – около 50%), либо в качестве высококалорийных добавок к топливу (горючие фракции составляют до 20%) (рис. 2). Однако согласно [17] в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области переработке подвергаются не более 15% вторичных материальных ресурсов от потенциально содержащихся в образованных ТКО.

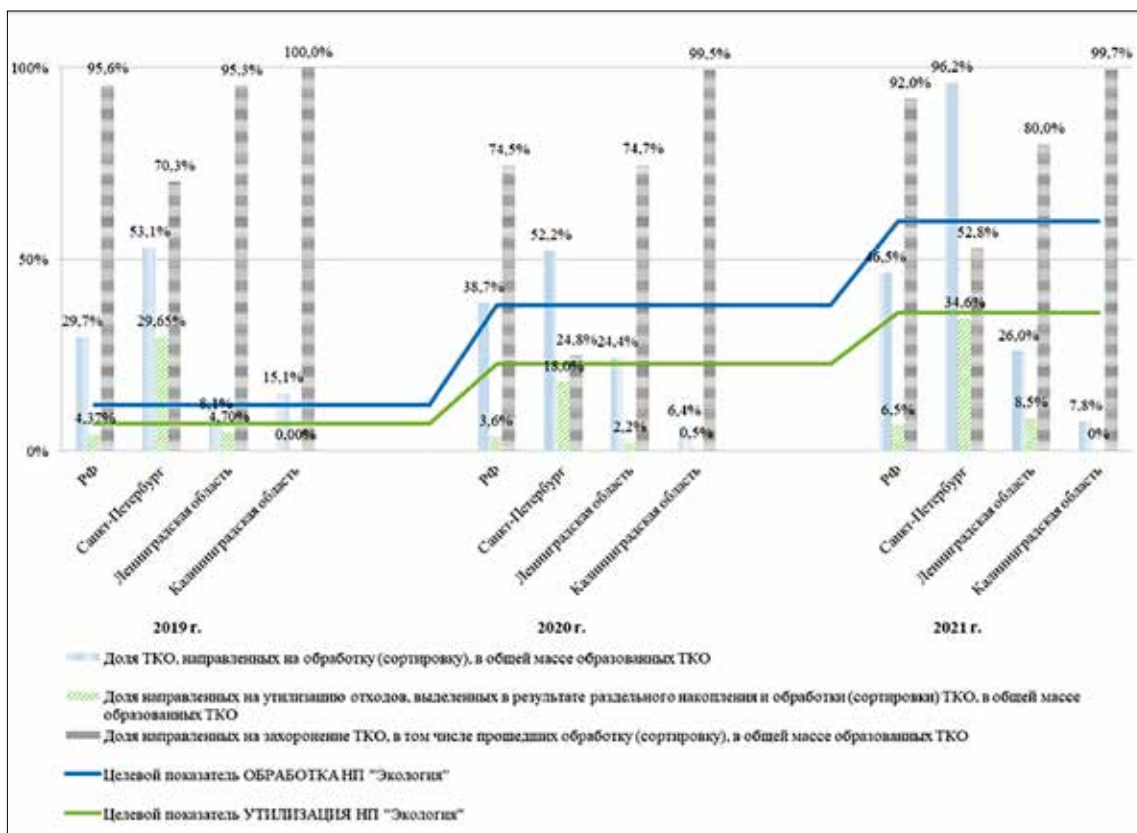


Рис. 1. Оценка достижения целевых показателей в РФ, Санкт-Петербурге, Ленинградской и Калининградской областях в рамках Национального проекта «Экология» в 2019–2021 гг.

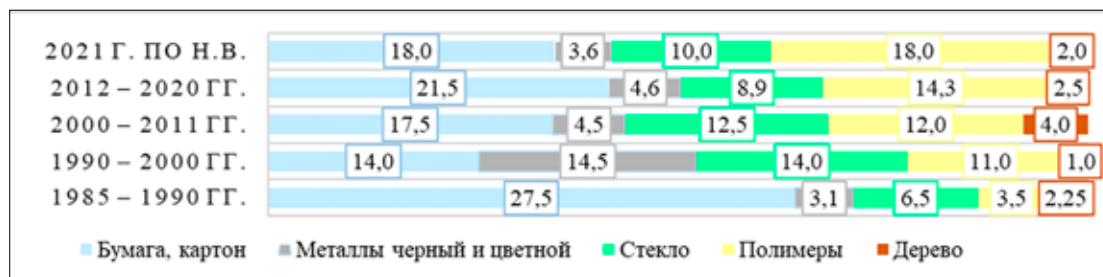


Рис. 2. Динамика содержания потенциального вторичного сырья в составе ТКО в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Калининградской областях в 1985–2021 гг. (% от общей массы образующихся в год отходов)

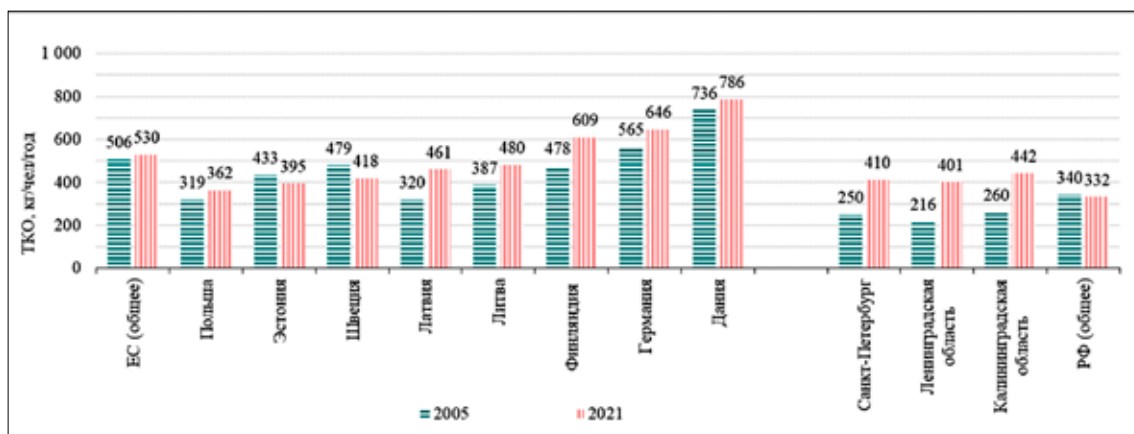


Рис. 3. Сравнение удельных показателей образования отходов от населения в РФ, ЕС и странах региона Балтийского моря в 2005 и 2021 гг. (кг/чел./год)

Политика Европейского союза в области управления отходами направлена на снижение воздействия отходов на окружающую среду и здоровье, а также на повышение эффективности использования ресурсов в ЕС. Долгосрочная цель этой политики состоит в том, чтобы уменьшить количество образующихся отходов, а когда образование отходов неизбежно, продвигать их как ресурс и добиваться более высоких уровней переработки и безопасного удаления отходов [4, 14, 15]. Основная цель в соответствии с Директивой ЕС об отходах состоит в том, чтобы к 2025 г. было подготовлено для повторного использования или переработки 55 % от массы образующихся муниципальных (коммунальных) отходов, 60 % от массы в 2030 г. и 65 % – в 2035 г. [15].

Сравнение удельных показателей образования муниципальных отходов показывает, что в РФ в целом по стране и в регионах Балтийского моря они соизмеримы со среднеевропейскими показателями (рис. 3), но ниже на 20–60 %, чем аналогичные показатели в ЕС в целом и в рассматриваемых

регионах на побережье Балтийского моря. Различия в удельных показателях могут быть объяснены разными методологическими подходами мониторинга количества отходов, ежегодно образующихся муниципальных отходов от населения. В качестве данных за 2021 г. по регионам РФ взяты нормативы образования ТКО [17, 18], утвержденные в рассматриваемых регионах РФ, ввиду того, что статистический учет данных о ТКО ведется региональными операторами и Росприроднадзором по форме 2-ТП отходы с учетом отходов, приравненных к ТКО по ФККО.

В рассматриваемых европейских странах РБМ в 2021 г. по сравнению с 2005 г. количество образующихся коммунальных отходов в килограммах на душу населения увеличилось, за исключением двух стран – Эстонии и Швеции.

Экологическая политика стран Европейского союза предусматривает переработку и восстановление отходов, то есть возвращение их во вторичный материальный оборот. Между государствами-членами ЕС наблю-

даются различные подходы в отношении использования различных видов обращения с отходами. Например, в некоторых странах РБМ отмечаются очень высокие показатели утилизации (Дания, Германия, Швеция, Финляндия), в других преобладающим видом обращения с отходами является захоронение (например, Латвия) (рис. 4). При этом во всех рассматриваемых странах возрос уровень переработки муниципальных отходов, и эта тенденция усиливается [12].

Несмотря на то, что в ЕС образуется все больше отходов с каждым годом, общее количество муниципальных (коммунальных) отходов, поступающих на захоронение на полигоны, уменьшалось. За период с 1995 по 2021 г. общий объем захоронения бытовых отходов в ЕС сократился на 67 млн т, или на 55% – со 121 млн т (286 кг на душу населения) в 1995 г. до 54 млн т (115 кг на душу населения) в 2021 г. Это соответствует среднегодовому снижению количества отходов, поступающих на захоронение, на 2,1%. За более короткий период с 2005 по 2021 г. объем захоронения отходов

сократился на 38,4%. Что касается стран РБМ (за исключением РФ), то общее количество отходов, поступающих на захоронение, за 2005–2021 гг. сократилось с 16,6 млн т до 6,3 млн т. При этом наибольшего сокращения количества таких отходов – более 95% к уровню 2005 г. – среди стран РБМ добились такие страны, как Дания, Германия и Финляндия (рис. 4).

Рисунок 4 показывает долю вторичной переработки (включая компостирование) переработки отходов в энергию, сжигания отходов и захоронения муниципальных отходов в странах РБМ. Также отображены недостающие данные, которые включают разницу между отходами, образующимися в стране, и обработанными отходами.

Как видно из рис. 4, лидером по переработке отходов является Германия, где 71% муниципальных отходов либо переработаны, либо компостированы. В таких странах, как Дания, Германия, Швеция и Финляндия, подлежат захоронению менее 10% отходов, что является целевым показателем, установленным новой директивой о полигонах на 2035 г.

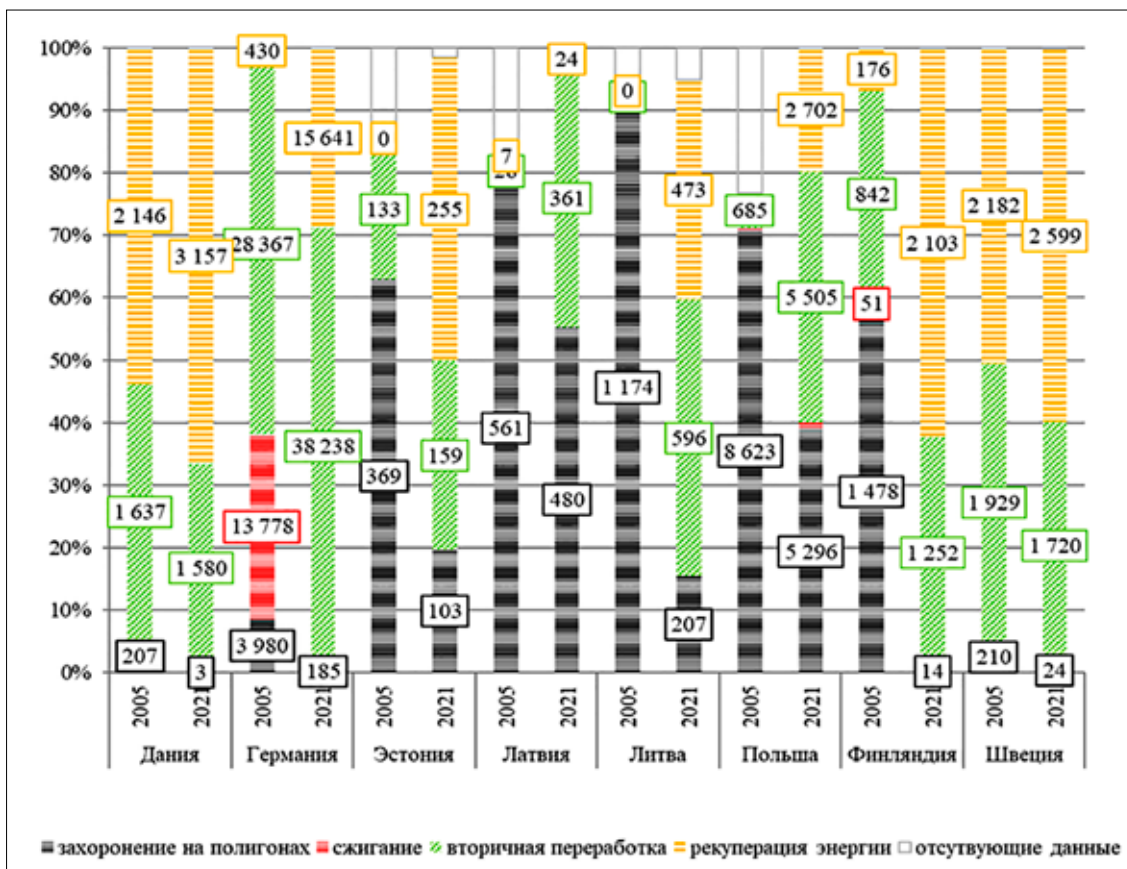


Рис. 4. Обращение с муниципальными отходами в странах региона Балтийского моря в 2005 и 2021 гг. (тыс. т) (данные по Латвии за 2020 г.)

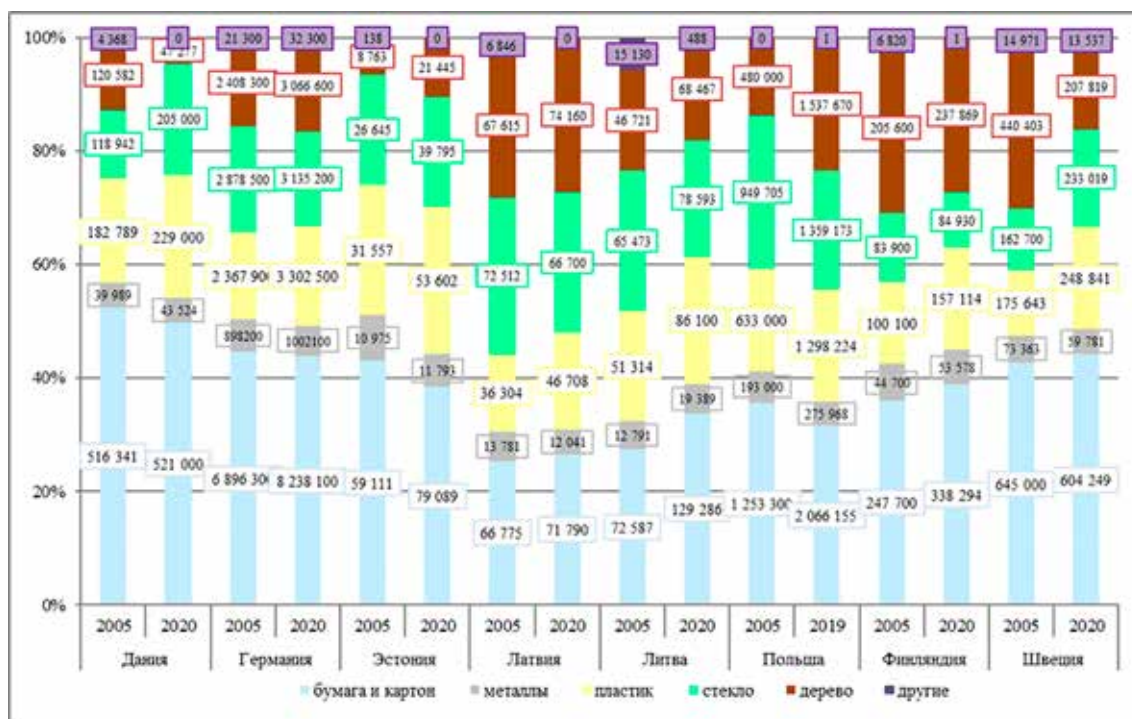


Рис. 5. Морфологический состав потока отходов тары и упаковки в составе ТКО в странах РБМ (2005 и 2020 гг.) (т/год)

Морфологический состав отходов в странах РБМ анализировался в разрезе отходов тары и упаковки (рис. 5) [12]. За 2005–2020 гг. образование всех видов упаковочных отходов увеличилось, хотя и в разной степени. Исключением является Швеция, где по сравнению с 2005 г. общее количество образования упаковочных отходов сократилось на 10%. Наибольший рост по сравнению с 2005 г. наблюдается по отходам пластиковой тары – в Эстонии, Литве, Польше и Финляндии, бумажно-картонной – Литве и Польше, деревянной тары – в Эстонии и Польше. В большинстве своем состав отходов упаковки, образующихся и перерабатываемых, представлен упаковочными материалами из стекла, бумаги и картона, металла, пластика, дерева. По данным Евростата в 2020 г. в целом в ЕС бумага и картон (41,2%), пластик (19,5%), стекло (19,1%), дерево (15,1%) и металлы (5,0%) являются наиболее распространенными видами упаковочных отходов, прочие материалы составляют 0,1% от общего объема упаковочных отходов, образовавшихся в 2020 г. В странах РБМ в составе отходов тары и упаковки бумага и картон также являются наиболее распространенными видами отходов (рис. 5) [12].

Следует отметить, что существуют некоторые различия в терминах и понятиях, используемых в РФ и ЕС. Например, используемое в ЕС понятие рекуперация (близкое к термину «утилизация» в РФ) включает рециклинг (повторное использование, переработка), рекуперацию энергии (близкий к термину «энергетическая утилизация» в РФ) и другие формы утилизации. Директива об отходах упаковки [14] устанавливает следующие минимальные требования по переработке отходов по компонентам: для бумаги и картона – 75%, для стекла – 70%, для алюминия – 50%, для черных металлов – 70%, для пластмасс – 50% и для древесины – 25%. Согласно Директиве об упаковке к концу декабря 2025 г. минимум 65% по весу всех упаковочных отходов должно поступать на переработку. Показатели рециклинга (переработки) и рекуперации отходов тары и упаковки в странах РБМ в 2020 г. в сравнении с 2005 г. показаны в таблице [12].

Основной формой утилизации отходов упаковки во всех странах ЕС является рециклинг (переработка). В 2020 г. самая высокая рекуперация энергии (близкое к понятию «энергетическая утилизация» в РФ) из упаковочных отходов среди стран – членов ЕС была зафиксирована в Финляндии (39,5%).

Уровень рециклинга (переработки) и рекуперации отходов тары и упаковки в странах региона Балтийского моря, 2005 и 2020 гг.

Страны ЕС РБМ	Уровень рециклинга (переработки), % на конец года		Уровень рекуперации (утилизации), % на конец года	
	2005 г.	2020 г.	2005 г.	2020 г.
ЕС	54,7	64,0	67,7	80,0
Финляндия	43,2	58,4	67,8	97,9
Германия	68,2	68,1	87,0	96,0
Дания	52,5	62,7	90,4	91,7
Латвия	47,0	61,4	59,3	65,4
Литва	32,5	61,8	32,9	69,8
Швеция	48,2	60,2	56,1	63,7
Польша	29,5	55,5*	41,0	59,9*
Эстония	40,3	71,4	41,1	95,5

Примечание. * – данные за 2019 г.

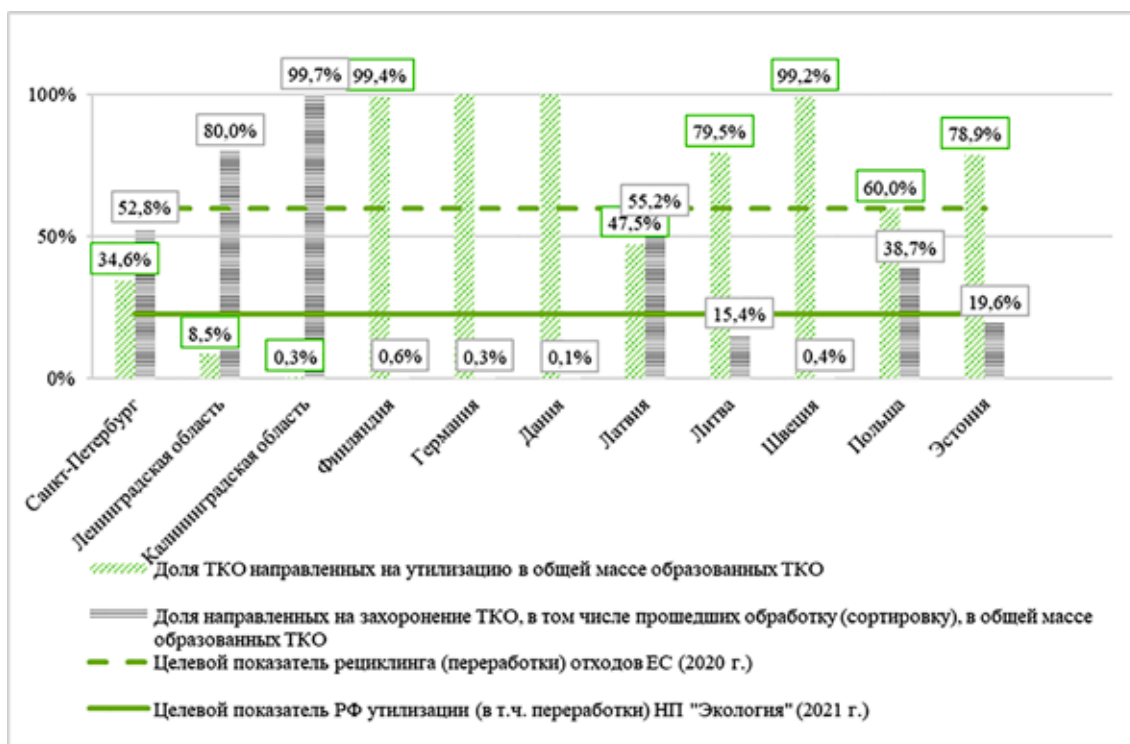


Рис. 6. Оценка достижения целевых показателей рециклинга и утилизации ТКО в ЕС и странах региона Балтийского моря в 2021 г.

По данным Евростата как в рассматриваемых странах, так и в целом в ЕС наблюдается рост темпов рециклинга и рекуперации (повторное использование) в 2005–2020 гг. В ЕС общий уровень рециклинга (переработки) упаковочных отходов вырос с 54,7% в 2005 г. до 64,0% в 2020 г. Коэффициент утилизации отходов с учетом сжигания на мусоросжигательных заводах в ЕС с ре-

куперацией энергии вырос с 75,8% в 2009 г. до 80,2% в 2020 г. [12]. В некоторых странах ЕС рекуперация энергии из упаковочных отходов не осуществлялась в период с 2005 по 2020 г.

На рис. 6 представлены показатели обращения с отходами в РФ и странах РБМ за 2005 и 2020 гг., целевые показатели соответственно приняты на 2020 и 2021 гг. со-

гласно Директиве ЕС об отходах и Национальному проекту «Экология» в РФ [13, 15]. Целевые показатели в странах Европейского союза выше и были впервые установлены в 1994 г., впоследствии скорректированы и дополнены в 2018 г. [15]. Требования к доле отходов ТКО в РФ, направляемых на утилизацию на 2020–2024 гг., были обозначены лишь в 2018 г.

Заключение

Рассмотрены особенности политики обращения с отходами в регионах Российской Федерации и в странах Европейского союза, расположенных на территориях, прилегающих к Балтийскому морю, отмечаются различия в понятийном аппарате. Политика ЕС в области обращения с отходами направлена на снижение воздействия отходов на окружающую среду и здоровье и повышение эффективности использования ресурсов в Европе.

Темпы достижения целей утилизации отходов в регионах РФ выше в мегаполисе Санкт-Петербург. Для удаленной от основной части страны Калининградской области достижение поставленных целей представляется более сложным ввиду территориальных особенностей расположения региона.

Типовые схемы движения потоков ТКО в Санкт-Петербурге, Калининградской и Ленинградской областях не согласуются с современными принципами управления отходами в целом и коммунальными отходами в частности. Общая проблема систем обращения с отходами в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Калининградской областях – слабое развитие рынка по использованию полезных компонентов из состава отходов.

Проведенный анализ состава отходов показал, что в современных бытовых и коммунальных отходах в России наблюдается тенденция к уменьшению доли пищевых отходов, металлов, как черных, так и цветных, стекла, печатной бумажной продукции, но растет доля бумажной и картонной упаковки, полимеров и пластиков, в том числе композитов различного состава. ТКО в Санкт-Петербурге и Ленинградской области содержат компоненты, пригодные для дальнейшей переработки, из бумаги, картона (18%), металлов (3,6%), стекла (10%), полимеров (18%), дерева (2,0%). Анализ морфологического состава отходов в странах РБМ в разрезе отходов тары и упаковки показал, что за период 2005–2020 гг. обра-

зование всех видов упаковочных отходов увеличилось, хотя и в разной степени. Исключением является Швеция, где по сравнению с 2005 г. общее количество образования упаковочных отходов сократилось на 10%. В странах ЕС региона Балтийского моря в составе содержится бумага и картон (40,9%), пластик (18,4%), стекло (17,7%), дерево (17,9%) и металлы (5,0%).

Сравнительный ретроспективный анализ характеристик систем обращения с отходами в ЕС показал, что действующие системы обращения с отходами в странах ЕС региона Балтийского моря достаточно эффективно решают задачи по сбору, сортировке ТКО для последующего использования вторичных ресурсов.

Проведенная оценка достижения целей по утилизации европейских стран РБМ показала, что намеченный к 2025 г. уровень утилизации муниципальных отходов уже достигнут семью странами РБМ. При этом Латвии придется активизировать свои усилия для достижения намеченной цели.

Обеспечение экологической безопасности Балтийского моря – трансграничного объекта совместного природопользования – является общей целью стран РБМ и представляет собой процесс действий, в котором каждый участник заинтересован в создании благоприятной окружающей среды для настоящего и будущих поколений.

Список литературы

1. Rios A.M., Picazo-Tadeo A.J. Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union – 28. Ecological Indicators. 2021. Vol. 123. P. 107328. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107328.
2. Sultanova D., Maliashova A., Gadelshina S. Waste management as an element of sustainable development of the circular economy in the European Union // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. T. 247. P. 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202124701007.
3. Никанорова А.А., Лебедев Д.А., Никаноров П.А., Пименов А.Н., Венцолис Л.С. Перспективы извлечения вторичных материальных ресурсов из ТКО в Ленинградской области // Региональная экология. 2019. № 2 (56). С. 72–85. DOI: 10.30694/1026-5600-2019-2-72-85.
4. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj> (дата обращения: 15.07.2022).
5. Официальная статистика «Окружающая среда». Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 11.12.2022).
6. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Ленинградской области в 2000–2016 гг. Официальный сайт Правительства ЛО, СПб., 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://lenobl.ru/> (дата обращения: 11.12.2022).
7. Территориальная схема обращения с отходами в Ленинградской области. Официальный сайт Управления Ле-

нинградской области по организации и контролю деятельности по обращению с отходами. СПб., 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://waste.lenobl.ru/deiatelnost/tershema/> (дата обращения: 11.12.2022).

8. Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления. Официальный сайт Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб., 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/obrashenie-othodami/rasporyazhenie-komiteta-ot-15062022-361-r-ob-utverzhdanii-territorialn/> (дата обращения: 11.12.2022).

9. Территориальная схема обращения с отходами. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области. Калининград, 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://minprirody.gov39.ru/deyatelnost/obrashchenie-s-otkhodami/territorialnaya-skhemabrashcheniya-s-otkhodami/> (дата обращения: 11.12.2022).

10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году». Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. М., 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 11.12.2022).

11. Фактические значения показателей федерального проекта «Комплексная система обращения с ТКО». Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М., 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://grn.gov.ru/> (дата обращения: 11.12.2022).

12. Waste statistics. Eurostat. Brussels, 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics (дата обращения: 02.03.2023).

13. Паспорт национального проекта «Экология». Официальный сайт правительства Российской Федерации. 2019 [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/35569/> (дата обращения: 17.12.2022).

14. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-eu-2018-852-of> (дата обращения: 17.12.2022).

15. Directive 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-eu-2018-851-of> (дата обращения: 15.07.2022).

16. Электронная модель МЕГАПОЛИС. Генеральная схема санитарной очистки территории. СПб., 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://model.themegapolis.ru/> (дата обращения: 12.12.2022).

17. Единая концепция обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (с возможностью разделения потоков ТКО). ООО «Институт проектирования, экологии и гигиены». СПб., 2021. 415 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://spb-neo.ru/dokumentatsiya/edinaya-kontseptsiya-obrashcheniya-s-tko/> (дата обращения: 17.01.2023).

18. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 14 мая 2018 года № 218 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Калининградской области и признании утратившим силу Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 4 мая 2018 года № 203». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550115261> (дата обращения: 11.12.2022).

УДК 551.588
DOI 10.17513/use.38039

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Смертин Г.Ю., Насырова Э.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su

Антропогенные преобразования земной поверхности в пределах городов привели к появлению такого явления, как городской остров тепла. Высотная застройка городов породила эффект городского каньона. В настоящее время эти два явления изучают не по отдельности, а вместе, и в основном исследуют особенности городского острова тепла в городском каньоне. Выделяют два основных типа островов тепла: связанный с температурой воздуха и с температурой земной поверхности (поверхностный остров тепла). В зависимости от типа острова тепла используются различные методы исследования. Для выявления первого типа анализируются данные температуры воздуха, измеряемые в городе на метеостанциях. Для выявления второго типа используются спутниковые снимки, охватывающие всю территорию города и также загородную зону. В работе обработаны снимки со спутника Landsat 8 (10 канал) в программе QGIS и получены температурные снимки поверхности города Уфа с 2014 по 2018 года по сезонам. В соответствии с полученными результатами обработанных снимков, видно, что остров тепла в городе Уфа присутствует во все сезоны и в каждом году. На снимках отчетливо выделяются водотоки и водоем-охладитель ТЭЦ. Внутри города выделяются зоны с наивысшей температурой поверхности, соответствующие скоплениям автомобилей, нагретым крышам, выбросам с предприятий и объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: городской острова тепла, городской каньон, температура поверхности, спутниковый снимок, Landsat 8, QGIS, город Уфа

RESEARCH OF HEAT ISLAND IN UFA CITY ACCORDING TO SATELLITE IMAGES

Smertin G.Y., Nasyrova E.S.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su

Anthropogenic transformations of the earth's surface within cities have led to the appearance of such a phenomenon as an urban heat island. High-rise urban development has generated the effect of an urban canyon. Currently, these two phenomena are not studied separately, but together and mainly investigate the features of the urban heat island in the urban canyon. There are two main types of heat islands: associated with air temperature and with the temperature of the earth's surface (surface heat island). Depending on the type of heat island, various research methods are used. To identify the first type, air temperature data measured in the city at weather stations are analyzed. To identify the second type, satellite images are used, covering the entire territory of the city and also the suburban area. The work processed images from the Landsat 8 satellite (channel 10) in the QGIS program and obtained surface temperature images of the Ufa city from 2014 to 2018 by season. According to the results of the processed images, it is clear that the heat island in the Ufa city is present in all seasons and in every year. The images clearly show the watercourses and the cooling reservoir of the CHP. Inside the city, zones with the highest surface temperature are allocated, corresponding to accumulations of cars, heated roofs, emissions from enterprises and electric power facilities.

Keywords: urban heat island, urban canyon, surface temperature, satellite image, Landsat 8, QGIS, Ufa city

Урбанизированная территория изменяет температуру поверхности по сравнению с температурой природного окружения (загородной зоны) на несколько градусов. Данное явление назвали – феномен городского острова тепла (urban heat island). Основная причина повышения температуры воздуха и поверхности в городах – антропогенные преобразования земной поверхности за счет: плотной застройки; использования искусственных материалов, поглощающих тепловое излучение; уменьшения зеленых насаждений; увеличения автомобильного транспорта и промышленных предприятий; загрязнения атмосферного воздуха (изменения радиационных свойства атмосферы над городом) [1]. Формирование городского острова тепла связывают также с архитектурными особенностями урбанизи-

рованной территории. Современные города характеризуются точечными высотными застройками, которые имеют большую площадь поверхности для отражения и поглощения солнечного излучения, что приводит к увеличению нагрева прилегающих территорий, также они блокируют ветры и соответственно снижают интенсивность конвективного охлаждения. Данное явление назвали – эффект городского каньона (urban canyon effect).

В настоящее время эти два явления изучают не по отдельности, а вместе, и в основном исследуют особенности городского острова тепла в городском каньоне. Например, в работе [2] изучена связь между городским островом тепла в городском каньоне и параметрами улицы (соотношением сторон) по времени суток и по сезонам. Полу-

ченными авторами работы результаты показали, что соотношение между островом тепла и соотношением сторон здания определяют два противодействующих процесса: улавливание длинноволнового излучения, которое способствует формированию острова тепла и эффект затенения, который наоборот способствует формированию снижению острова тепла. Летом, осенью и весной эффект затенения уменьшают остров тепла, начиная с соотношения сторон от 0,5 до 1. В другой работе [3] разработан инструмент THIS для расчета максимальной интенсивности городских тепловых островов на основе данных городской планировки, а именно с использованием соотношения высоты и ширины городского каньона.

Georgakis С. и др. [4] проводили изменение температуры поверхности в летний период внутри глубокого городского каньона в центре Афин одновременно с CFD-моделированием температуры поверхности на фасадах зданий и на уровне улицы, а также температуры воздуха внутри каньона. Для решения проблемы острова тепла авторы предлагают использовать «холодные» покрытия, обеспечивающие высокую отражательную способность солнечного излучения. В работе [5] также изучались светоотражающие материалы в качестве потенциальной технологии смягчения последствий явления городского острова тепла.

Rajagopalan Р. и др. [6] в качестве меры снижения интенсивности острова тепла в городских районах рассматривают скорость ветра. Охлаждающий эффект ветра помогает смягчить неблагоприятное воздействие острова тепла на городской микроклимат и тепловой комфорт человека. Авторы исследуют причины возникновения острова тепла в городе Муар (Малайзия) и влияние различной городской планировки на поток ветра. Результаты этого исследования показывают, что конфигурация городской планировки в виде «step up» является наиболее эффективной планировкой, поскольку она позволяет равномерно распределять ветер и даже достигать ему подветренной стороны каждого здания.

Выделяют два основных типа островов тепла: 1) связанный с температурой воздуха; 2) связанный с температурой земной поверхности или поверхностный остров тепла. При этом разницу между температурой поверхности и воздуха является потенциалом теплового острова [7]. Кроме двух основных типов острова тепла в работе [8, 30 с.] выделяют следующие типы

городского теплового острова: подповерхностный, поверхностный, городского полога и городского пограничного слоя.

В зависимости от типа острова тепла используются различные методы исследования. Для выявления первого типа острова тепла анализируются данные температуры воздуха, измеряемые в городе на метеостанциях. Для выявления второго типа острова тепла используются спутниковые снимки, охватывающие всю территорию города и также загородную зону. Как известно, сами спутники не измеряют температуру, а фиксируют яркость в разнообразных диапазонах длин волн. Во многих работах основным источником информации являются данные космической съёмки в тепловом инфракрасном диапазоне. На инфракрасных снимках поверхностный остров тепла выделяется как зона повышенной яркости, соответствующей тепловой аномалии в пределах города.

Саргазаков А.А. и др. [9] проанализировали температуру поверхности земли города Бишкек по снимкам со спутника Landsat за 1994 и 2017 года с применением Quantum GIS и ENVI. Газимов Т.Ф. и Кужевская И.В. в своей работе [10] оценили интенсивность поверхностного городского острова тепла в городе Новосибирск в летний период с 2018 по 2020 г. по данным снимкам Landsat 8, используя каналы 4, 5 и 10. Балдина Е.А. и др. [11] рассматривают возможность применения для описания поверхностного острова тепла и выявления тепловых аномалий спутниковые снимки ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+/ Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно). Матузко А.К. и Якубайлик О.Е. изучали городской остров тепла в городе Красноярск по спутниковым снимкам Landsat-8 с 2013 по 2020 года [12]. Грищенко в своей работе [13] акцентирует внимание на будущую проблему недостатка спутниковых снимков высокого пространственного разрешения в тепловом инфракрасном диапазоне для исследования городского острова тепла из-за технического перевооружения спутников.

Примером урбанизированной территории с точечной высотной застройкой, для которой возможно наличие городского острова тепла и городского каньона является город-миллионер Уфа. Ранее авторами изучен эффект городского острова тепла в городе Уфа, связанный с температурой воздуха, по данным пунктов наблюдения за загрязнением воздуха [14]. В связи с этим целью данной работы является исследо-

вание поверхностного городского острова тепла по данным спутниковых снимков для дальнейшего выявления взаимосвязи между островом тепла и городским каньоном.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является город-миллионер Уфа. Для городского ландшафта характерно наличие различных функциональных зон (промышленные, жилые) с включением различных природных компонентов (р. Белая, р. Уфа, р. Дема, водоемы природного и искусственного происхождения, парковые зоны). Городская планировка относится к типу «город-холм».

Снимки со спутника Landsat 8 получены из открытого ресурса Earthexplorer. Спутник Landsat 8 получает данные, используя два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Первый набор получает изображения в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения, второй набор – в 2 диапазонах дальнего (теплого) инфракрасного излучения.

Для обнаружения острова тепла и оценки его сезонной изменчивости использовались спутниковые снимки Landsat 8 в канале 10 (дальний инфракрасный – Long Wavelength Infrared, TIR1) с 2014 по 2018 года за каждый сезон. Из 593 снимков, имеющих на ресурсе Earthexplorer, выбрано 17 качественных, т.е. город Уфа полностью попал в снимок и облачность менее 20% (рисунок 1).

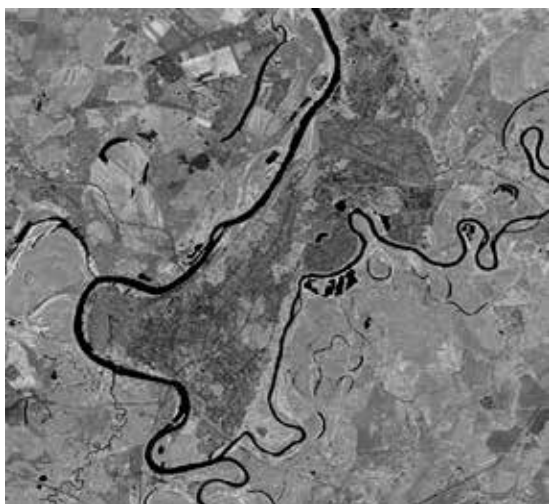


Рис. 1. Необработанный спутниковый снимок г. Уфа (2014 год)

Для обработки качественных спутниковых снимков использовалось программное

обеспечение QGIS – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, а именно плагин Semi-Automatic Classification Plugin.

Результаты исследования и их обсуждение

Метеорологическая характеристика исследуемого периода:

– 2014 год: теплый; осадки 526 мм – 104% от нормы; $t_{\text{ср.год.}} + 3,1^{\circ}\text{C}$ (на $0,6^{\circ}\text{C}$ выше среднего).

– 2015 год: теплый, осадки 605 мм – 120% от нормы; $t_{\text{ср.год.}} + 4,2^{\circ}\text{C}$ (на $1,7^{\circ}\text{C}$ выше среднего); положительные аномалии температуры воздуха; аномально теплые – февраль, июнь, декабрь; теплые – январь, март, май и сентябрь.

– 2016 год: осадки 495 мм – близко к норме 98%; $t_{\text{ср.год.}} + 4,5^{\circ}\text{C}$ (на $2,0^{\circ}\text{C}$ выше нормы); за последние 30 лет четвертый самый теплый год; с января по сентябрь положительные аномалии температуры воздуха; с 1937 года февраль ($+9,3^{\circ}\text{C}$) и август ($+6,7^{\circ}\text{C}$) рекордно теплые; 15 раз перебивались абсолютные максимумы температуры воздуха (в феврале, марте, апреле, августе) и 3 раза – абсолютные минимумы температуры воздуха в декабре.

– 2017 год: теплый; $t_{\text{ср.год.}} + 3,7^{\circ}\text{C}$ (на $1,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы); осадки 597 мм – 119% от нормы; высокое количество осадков в первом полугодии – 163% от нормы и позднее установление постоянного снежного покрова (на месяц позже многолетних сроков).

– 2018 год: умеренно теплый; $t_{\text{ср.год.}} + 2,9^{\circ}\text{C}$ (на $0,4^{\circ}\text{C}$ выше нормы); осадки 457 мм – 91% от среднеевропейских значений; самые теплые – июль и октябрь ($t_{\text{ср.мес.}}$ на $2,6^{\circ}\text{C}$ выше нормы); самый холодный – март (на $3,3^{\circ}\text{C}$ ниже нормы) [15].

Обработанные спутниковые снимки с картами температуры поверхности города Уфа и указанием среднесуточной температуры воздуха в этот день представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, основные водные артерии города Уфа – Белая и Уфа мандрирующие, и их отчетливо видно на всех снимках. По зимним и весенним снимкам отслеживается период ледостава и вскрытия рек. Другим отличительным водным объектом на снимках является пруд Теплый, который используется для круглогодичного сброса подогретых вод Уфимской ТЭЦ-2. Данный водоем отчетливо выделяется на зимних и осенних снимках, поскольку температура воды в это время $10-18^{\circ}\text{C}$ и во-

доем не замерзает. Сброс подогретых вод из пруда Теплый через шахтный водосброс осуществляется в реку Уфа, соответственно место сброса тоже не замерзает.

Анализируя все представленные снимки видно, что температура поверхности внутри города отличается от пригородной на несколько градусов.

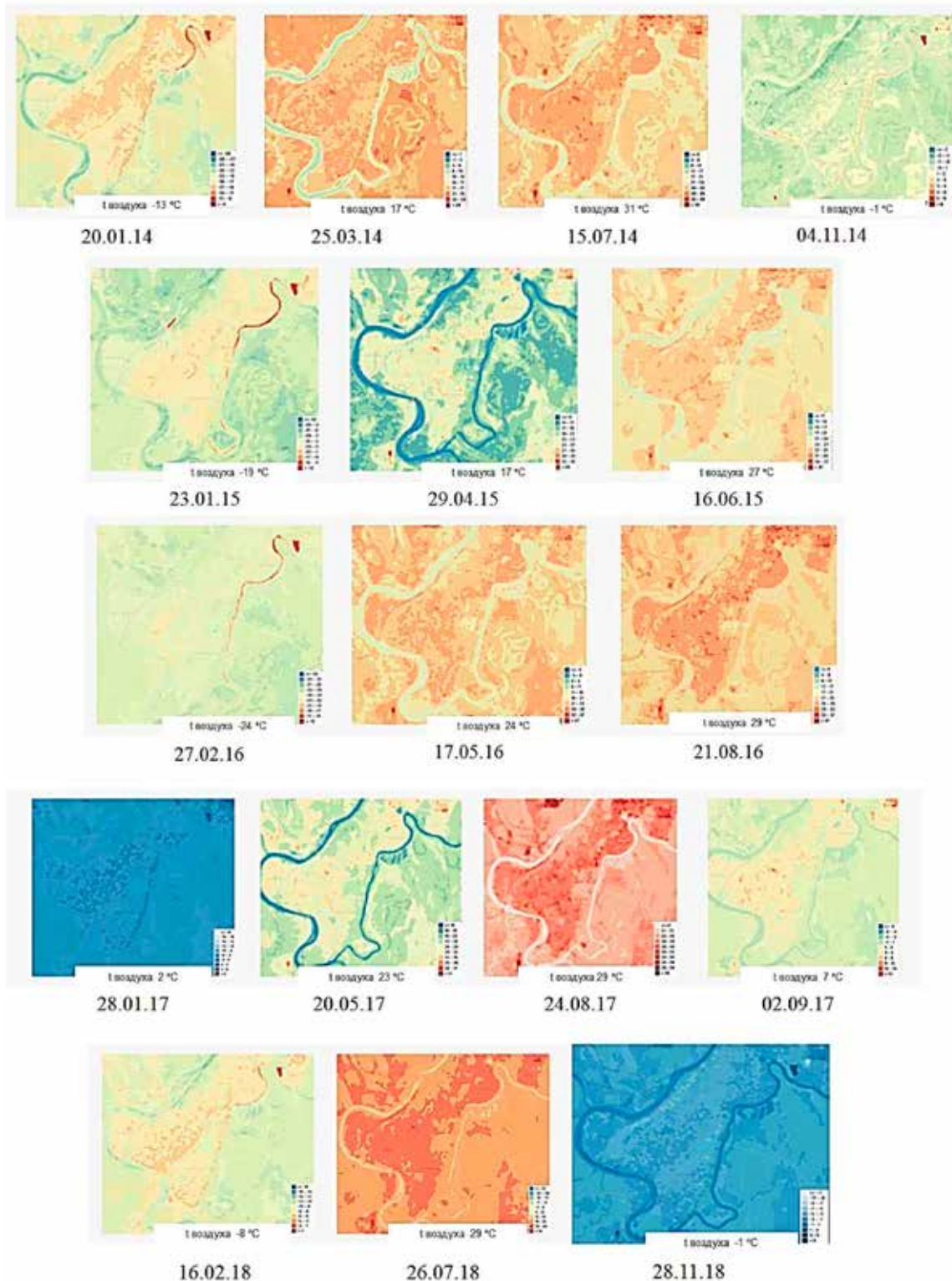


Рис. 2. Температурные снимки города Уфа за 2014-2018 года

На всех снимках присутствуют «яркие пятна» внутри города Уфа, т.е. места с повышенной температурой в отличие от окружающих объектов. Однако природа этих пятен разнородна в каждом отдельном случае: пробки на дорогах, крыши нагретых зданий, выбросы ТЭЦ и промышленных предприятий, потери тепла от зданий и с теплотрассы.

Как показал проведенный анализ работ в области исследования городского острова тепла, авторы детально рассматривают специфику острова тепла по спутниковым снимкам в летний период.

В 2014 году на летнем снимке яркие пятна с температурой поверхности более 39°C соответствуют промышленным предприятиям УМПО и УАП Гидравлика, гаражной кооперации и ТЦ Мега Уфа. Анализ фото 2GIS показал, что крыши промышленных зданий и гаражей покрыты рубероидом, имеющим коэффициент поглощения солнечной радиации 0,9, что и обуславливает температурные аномалии на снимках. ТЦ Мега крупнейший торговый центр города Уфа, имеющий площадь 141800 м². Повышение температуры поверхности предположительно обусловлено материалом крыши и системой вентиляции, имеющей многочисленные выходы на крышу.

В 2015 году на летнем снимке кроме ярких пятен, соответствующих проанализированному в 2014 году, присутствуют пятна с температурой поверхности 34-37°C территориально на проспекте Салавата Юлаева. Данный проспект является главной магистралью города Уфа с 8 полосами для движения. Предположительно на спутниковом снимке запечатлен момент пробки или затрудненного движения, как известно, отдельные элементы автомобиля нагреваются до 60-70°C.

В 2016 году на летнем снимке температура поверхности города достигала 33-37°C, в 2017 – 30-36°C, а в 2018 – более 34°C.

Следует отметить, что все снимки сделаны в разные дни, хронологический ряд в течение года и между годами отсутствует, что не позволяет оценить изменения острова тепла во времени.

Полученные снимки температуры поверхности города Уфа, а именно на центральных улицах, образующих городской каньон, позволяют провести детальное исследование температурного режима внутри каньона. Как элемент городской застройки городской каньон представляет собой упрощенную геометрическую форму ули-

цы в профиль: основание – улица, борта – стены зданий, расположенных вдоль нее. Дальнейшим этапом работы является исследование температурно-ветрового режима городских каньонов г. Уфа (Республика Башкортостан), расположенных рядом с учебными корпусами Уфимского университета науки и технологий.

Заключение

В работе обработаны снимки со спутника Landsat 8 (10 канал) в программе QGIS и получены температурные снимки поверхности города с 2014 по 2018 года по сезонам. В соответствии с полученными результатами обработанных снимков, видно, что остров тепла в городе Уфа присутствует во все сезоны и в каждом году. На снимках отчетливо выделяются водотоки и водоем-охладитель ТЭЦ. Внутри города выделяются зоны с наивысшей температурой поверхности, соответствующие скоплениям автомобилей, нагретым крышам, выбросам с предприятий и объектов электроэнергетики. Следует отметить, что спутниковый снимок позволяет запечатлеть одномоментную ситуацию в городе с широким охватом территории, но не позволяет оценить ежедневные изменения температурные изменения в виду отсутствия снимков. Расшифровка обработанных спутниковых снимков требует детального анализа сложившейся ситуации в городе в момент получения снимка и учета метеорологических параметров.

Список литературы

1. Michelin R.C., Kovács G.L. Life-Cycle Eco-Services for Sustainability // *Systems Engineering and Information Technologies*. 2020. Vol. 2, № 2 (4). P. 5-15.
2. Theeuwes N.E. et al. Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2014. Vol. 140, № 684. P. 2197-2210. DOI: 10.1002/qj.2289.
3. Nakata-Osaki C.M., Souza L.C.L., Rodrigues D.S. THIS – tool for heat island simulation: a GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018. Vol. 67. P. 157-168. DOI: 10.1016/j.compenvurbssys.2017.09.007.
4. Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. Studying the effect of «cool» coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique // *Sustainable Cities and Society*. 2014. Vol. 13. P. 20-31. DOI: 10.1016/j.scs.2014.04.002.
5. Rossi F., Castellani B., Presciutti A., Morini E., Anderini E., Filippini M., Nicolini A. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 126. P. 340-352. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.05.036.
6. Rajagopalan P., Lim K.C., Jamei E. Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city // *Solar Energy*. 2014. Vol. 107. P. 159-170. DOI: 10.1016/j.solener.2014.05.042.
7. Gülten A., Aksoy U.T., Öztöpe H.F. Influence of trees on heat island potential in an urban canyon // *Sustainable cit-*

- ies and society. 2016. Т. 26. С. 407-418. DOI: 10.1016/j.scs.2016.04.006.
8. Oke T., Mills G., Christen A., Voogt, J. Urban climates. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2017. 519 p.
9. Саргазаков А.А., Урмамбегова Т.К., Токтомамбетов И.К. Выявление температуры поверхности земли с применением космоснимков для изучения вопросов городского планирования // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 11. С. 15-21. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557.
10. Газимов Т.Ф., Кужевская И.В. Оценка летнего поверхностного городского острова тепла города Новосибирск по данным Landsat 8 // Географический вестник. 2021. № 4 (59). С. 84-98. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-84-98.
11. Балдина Е.А., Константинов П., Грищенко М., Варенцов М. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2015. № 5. С. 38-42.
12. Магузко А.К., Якубайлик О.Е. Моделирование городского острова тепла по многолетним спутниковым данным // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 4. С. 50-55.
13. Грищенко М.Ю. Аэрокосмические исследования городского острова тепла // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2013. Т. 19. С. 22-28.
14. Хайрулина С.Н., Смертин Г.Ю., Васильева Е.А., Насырова Э.С., Елизарьев А.Н., Хамитов А.Р. Исследование острова тепла города Уфы по данным пунктов наблюдения // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 84-89. DOI: 10.17513/use.37829.
15. Доклады об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2014-2018 годах: электронный ресурс. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/> (дата обращения 07.05.2023).

УДК 504.06

DOI 10.17513/use.38040

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КАК ИНСТРУМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шкрабтак Н.В., Праскова Ю.А., Фролова Н.А.

*ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Благовещенск,
e-mail: mmip2013@mail.ru*

В настоящее время проблема обеспечения необходимого уровня качества окружающей среды и в первую очередь атмосферного воздуха является достаточно острой для России. Одним из базовых инструментов государственного механизма охраны окружающей среды является мониторинг, обеспечивающий исходной информацией для последующего анализа и принятия решений в области экологической политики. Загрязнение воздуха представляет собой сложную смесь газообразных и взвешенных компонентов, меняющуюся в пространстве и во времени. После быстрой индустриализации загрязнение воздуха стало одной из самых важных экологических проблем во всем мире. Даже кратковременное воздействие загрязненного воздуха в концентрациях, превышающих нормативные, может вызвать кашель разной степени, затруднение дыхания и другие симптомы. Проведена сравнительная характеристика состава и структуры выбросов. Рассмотрено распределение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от стационарных и передвижных источников в разрезе федеральных округов. Авторами произведены исследования по определению выбросов на миллион рублей валового регионального продукта. Произведено сопоставление вклада каждого федерального округа в общее загрязнение атмосферного воздуха в стране с его вкладом в ВВП страны.

Ключевые слова: экология, мониторинг, качество воздуха, стационарные источники, передвижные источники, динамика выбросов

AIR QUALITY MONITORING AS A TOOL OF THE STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION MECHANISM

Shkrabtak N.V., Praskova Yu.A., Frolova N.A.

Amur State University, Blagoveschensk, e-mail: mmip2013@mail.ru

At present, the problem of ensuring the required level of environmental quality, and first of all, atmospheric air, is quite acute for modern Russia. One of the basic tools of the state mechanism of environmental protection is monitoring, which provides initial information for subsequent analysis and decision-making in the field of environmental policy. Air pollution is a complex mixture of gaseous and particulate components that varies in space and time. After rapid industrialization, air pollution has become one of the most important environmental problems worldwide. Even short-term exposure to polluted air at concentrations exceeding the guidelines can cause varying degrees of coughing, difficulty breathing, and other symptoms. A comparative characteristic of the composition and structure of emissions has been carried out. The distribution of pollutants in the atmospheric air from stationary and mobile sources in the context of federal districts is considered. The authors carried out studies to determine emissions per million rubles of gross regional product. The contribution of each federal district to the total atmospheric air pollution in the country is compared with its contribution to the country's GDP.

Keywords: ecology, monitoring, air quality, stationary sources, mobile sources, emission dynamics

Проблема обеспечения необходимого уровня качества окружающей среды и в первую очередь атмосферного воздуха является достаточно острой для современной России. Одним из базовых инструментов государственного механизма охраны окружающей среды является мониторинг, обеспечивающий исходной информацией для последующего анализа и принятия решений в области экологической политики. Загрязнение окружающей среды вызывает озабоченность уже много лет. Оно представляет собой сложную смесь газообразных и взвешенных компонентов, меняющуюся в пространстве и во времени. После быстрой индустриализации загрязнение воздуха стало одной из самых важных экологических проблем во всем мире. Россия добилась значительных успехов в экономике за последние десятилетия,

в то время как рост ВВП и защита окружающей среды были разбалансированы, что привело к таким тяжелым условиям, как высокое потребление ресурсов и сильное загрязнение окружающей среды. Защита окружающей среды, особенно защита воздуха, считается важной проблемой во всей России. Некоторые ученые обнаружили, что более крупная экономика может увеличить загрязнение воздуха, сохраняя при этом политику охраны окружающей среды неизменной. Другие ученые установили, что некоторые загрязнители воздуха оказывают негативное влияние на здоровье человека. Поэтому синергия между окружающей средой и экономикой и влияние окружающей среды на здоровье людей являются ключевыми вопросами, которые должны быть решены правительствами во всем мире [1].

Быстрая урбанизация и индустриализация ускорили загрязнение воздуха в городах. Качество жизни в городах напрямую зависит от состояния воздуха. Это касается в первую очередь здоровья горожан: загрязненный воздух негативно влияет на состояние легких и сердца, иммунной, нервной и репродуктивной систем и может стать одним из факторов, которые провоцируют развитие онкологических заболеваний. По данным Всемирной организации здравоохранения, дышат воздухом с повышенным содержанием загрязнителей 9 из 10 чел. При этом ежегодно умирают 7 млн чел. вследствие загрязнения воздуха внутри помещения и атмосферного [2].

Все чаще признается, что реализация стратегий по сокращению загрязнения может иметь существенные преимущества для здоровья. Это привело к созданию индексов качества воздуха, которые используются для анализа серьезности загрязнения воздуха и уровня риска для здоровья, возникающего в результате загрязнения воздуха твердыми частицами и газами. Хотя управление качеством воздуха в развитых странах было несколько успешным, есть возможности для дальнейшего совершенствования. Что касается развивающихся стран, то повышенный спрос на энергию, индустриализация и рост населения требуют более эффективного управления качеством воздуха. Индексы качества воздуха сообщают людям о точном состоянии качества воздуха, что приводит как к осознанию, так и к самоанализу необходимых изменений в правилах и действиях. В раз-

личных регионах мира используются различные индексы. Воздействие на людей загрязнителей, которые в основном находятся в открытом воздухе, также может влиять на внутреннюю среду. Здания лишь частично защищают находящихся внутри людей. Наружное загрязнение является достаточно стойким, чтобы проникать в окружающую среду внутри помещений и вызывать устойчивое сильное воздействие некоторых загрязняющих веществ на находящихся в них людей. Поэтому крайне важно понимать связь между конкретными источниками загрязняющих веществ и результирующим воздействием на население, чтобы иметь надлежащее управление качеством воздуха. Цель работы – проведение систематического обзора для оценки состояния атмосферного воздуха и определения выбросов на миллион рублей валового регионального продукта.

Материалы и методы исследования

Литературный обзор включал в себя полнотекстовые оригинальные и обзорные статьи на русском и английском языках. Глубина поиска составляет 10 лет, с 2012 по 2021 г. Общая методология междисциплинарных исследований представлена комплексом методологических подходов: экономического, экологического, аналитико-синтетического, статистического.

Результаты исследования и их обсуждение

Представим динамику объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Российской Федерации (рис. 1).

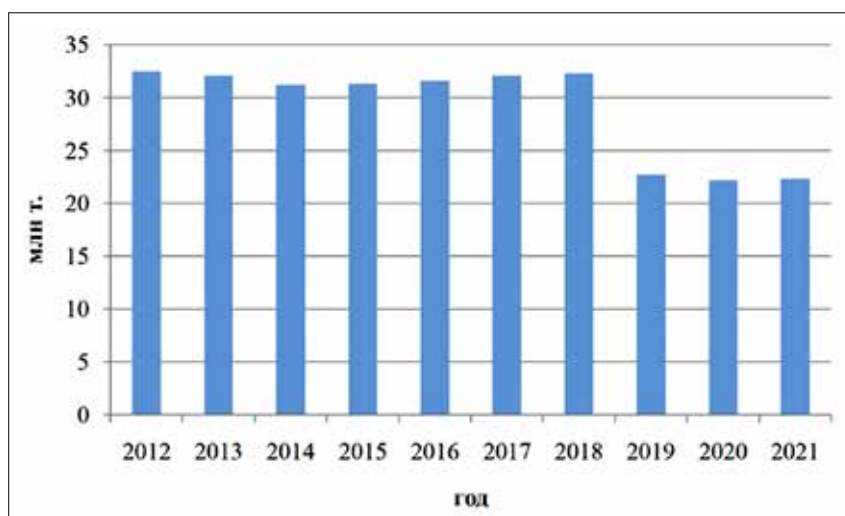


Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих атмосферу веществ за 2012–2021 гг.
 Источник: составлено авторами на основе данных Росстата (статистический сборник «Охрана окружающей среды в России») [3]

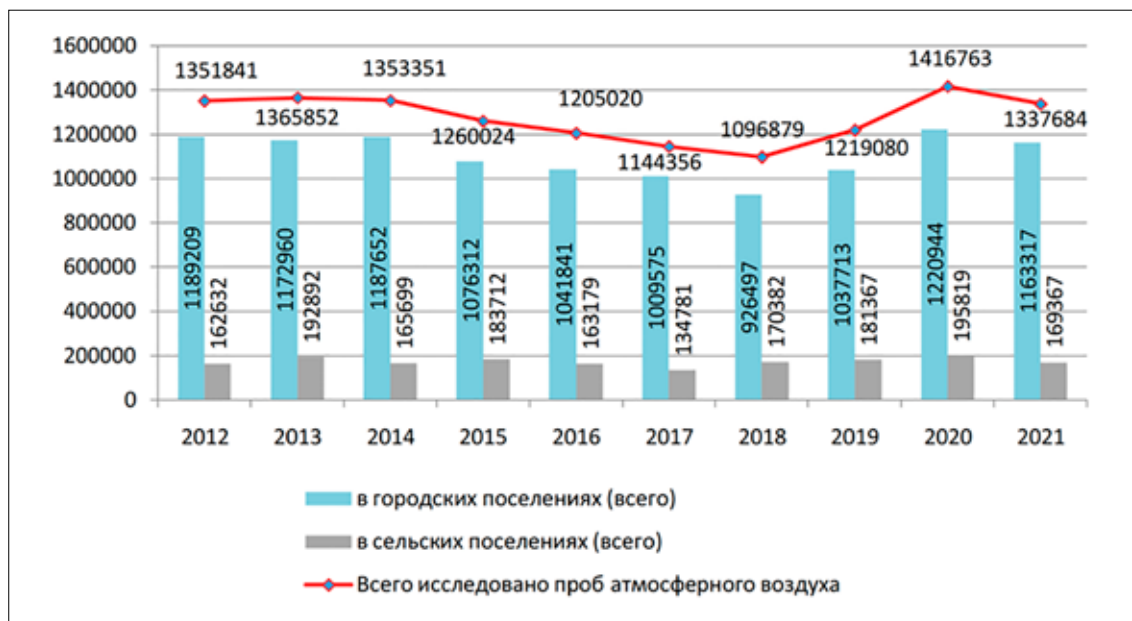


Рис. 2. Динамика количества проб атмосферного воздуха населенных мест
 Источник: данные Роспотребнадзора (Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году») [4]

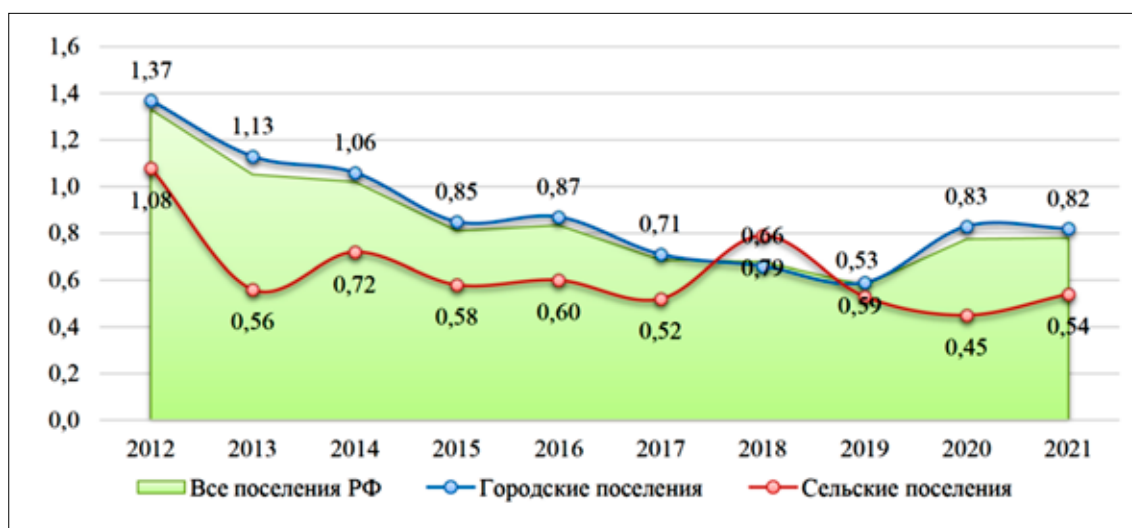


Рис. 3. Доля (%) проб атмосферного воздуха с превышением ПДК
 Источник: данные Роспотребнадзора (Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году») [4]

Как видно из представленных данных, количество выбросов загрязняющих атмосферу веществ в 2021 г. сократилось на 31,4%. При этом общий объем выбросов загрязняющих веществ в 2021 г. увеличился на 0,4% по сравнению с 2020 г. и составил 22,3 млн т [3].

В 2021 г. был проанализирован атмосферный воздух на территории Российской Федерации на содержание 54 химических веществ и групп веществ. Результаты по-

лученных исследований представлены на рис. 2. На территории сельских поселений проанализировано более 169,3 тыс. проб воздуха, что на 4,1% больше, чем в 2012 г., городских – свыше 1163 тыс. проб [4].

За анализируемый период (2012–2021 гг.) наблюдалась тенденция к снижению неудовлетворительных проб атмосферного воздуха с превышением ПДК на 44,5% по сравнению с уровнем 2012 г. (рис. 3).

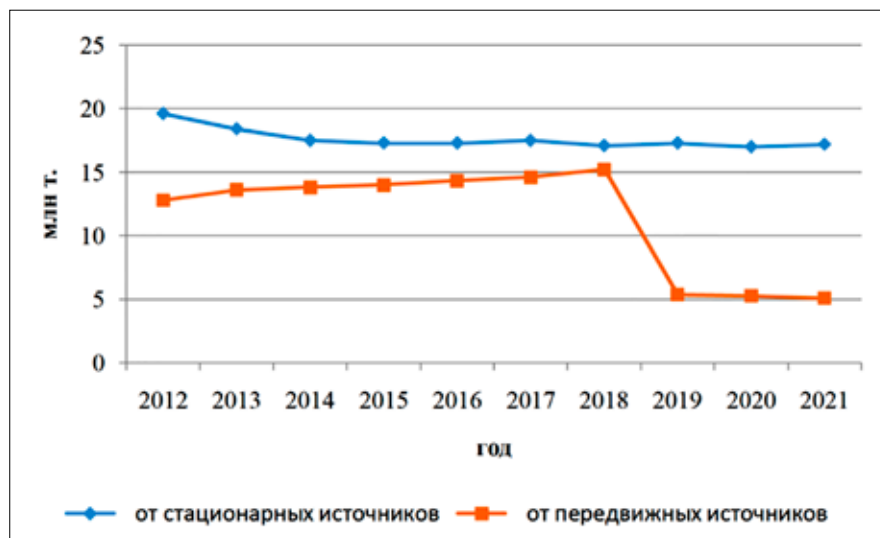


Рис. 4. Динамика выбросов от стационарных и передвижных источников
 Источник: составлено авторами на основе данных Росстата
 (статистический сборник «Охрана окружающей среды в России») [3]

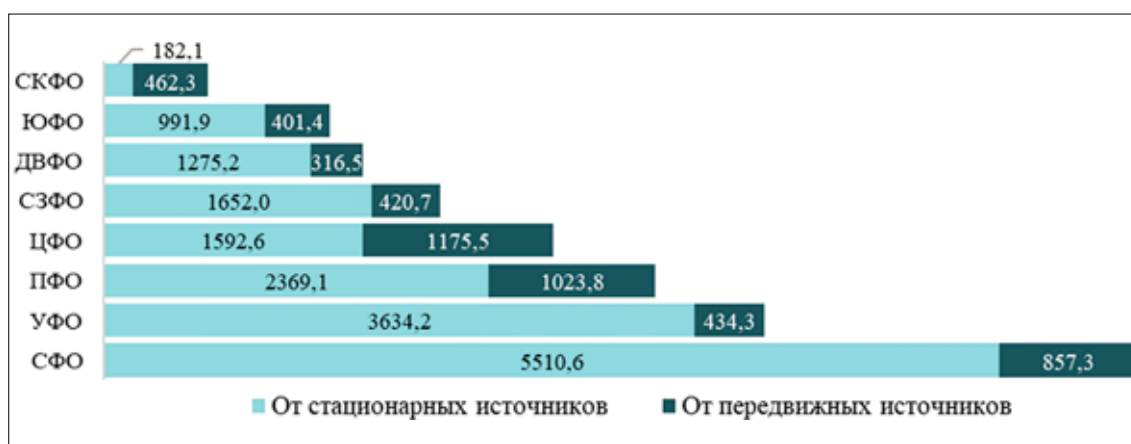


Рис. 5. Распределение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в разрезе федеральных округов в 2021 г., тыс. т.
 Источник: данные Росприроднадзора (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году») [5]

В городских поселениях данный показатель снизился на 40,1%, в сельских поселениях – на 50% [4].

Согласно данным Роспотребнадзора, в 68 регионах превышены предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. При этом превышение среднероссийского показателя доли проб атмосферного воздуха (0,82%), превышающего ПДК, отмечается на территории городских поселений в 19 субъектах Российской Федерации [4]. Выбросы от стационарных источников увеличились на 1,1% и в 2021 г. составили 17,2 млн т

(рис. 4) [3]. Согласно представленным данным количество вредных выбросов от передвижных источников сократилось на 60,1% по сравнению с 2012 г. и на 3,8% по сравнению с 2021 г.

Высокий уровень воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от стационарных источников в 2021 г. зафиксирован в Сибирском федеральном округе (5510,6 тыс. т). Наименьшее количество загрязняющих веществ в Северо-Кавказском федеральном округе от стационарных источников составило 182,1 тыс. т (рис. 5) [5].



Рис. 6. Динамика основных загрязняющих выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников, тыс. т.

Источник: данные Росстата (2012–2017 гг.) и Росприроднадзора (2018–2021 гг.) (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году») [5]

Поскольку промышленная деятельность способствует снижению качества воздуха, важно решить эту проблему и определить новые пути улучшения ситуации. Поскольку промышленные предприятия выбрасывают в окружающий воздух ряд загрязняющих веществ, нам необходимо понять источники загрязнения в этих отраслях и природу загрязняющих веществ, чтобы разработать эффективные стратегии контроля. Знание глобального сценария и тенденций выбросов на различных промышленных объектах может дать нам общую картину загрязнителей, которые обнаруживаются в атмосферном воздухе вокруг этих источников, и того, как они могут влиять на качество воздуха [6].

Среди загрязняющих веществ, выбрасываемых этими объектами, основными являются летучие органические соединения (ЛОС), твердые частицы и парниковые газы, обнаруживаемые в окружающем воздухе вблизи промышленных, относятся как к ароматическим, так и к алифатическим типам. Углеводороды, как алифатические, так и ароматические, являются основными ЛОС (летучими органическими соединениями).

Ароматические ЛОС в основном состоят из бензола, толуола, этилбензола и ксилола, и бензол вызывает особую озабоченность, поскольку он канцерогенен. ЛОС связаны

с рядом потенциальных последствий для здоровья. Кратковременное воздействие ЛОС может вызвать головокружение, усталость, тошноту и депрессию. Воздействие некоторых ЛОС может даже привести к мутациям и раку, а другие могут вызвать повреждение центральной нервной системы, почек и печени [7].

Динамика выбросов распространенных загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников представлена на рис. 6.

Эти выбросы могут значительно снизить качество воздуха и вызвать краткосрочные и долгосрочные последствия для здоровья людей. Единственный способ улучшить ситуацию – это детально проанализировать процесс и операции и определить области, где можно принять меры контроля для сокращения этих выбросов.

Обнаружение летучих органических соединений в воздухе обычно осуществляется по одной из двух стратегий: активного и пассивного отбора проб. При активном отборе проб насос всасывает воздух из места отбора проб через адсорбирующую подложку с определенной скоростью потока, либо в сборный контейнер, либо к находящемуся на месте датчику непрерывного действия, в зависимости от типа ЛОС и измеряемой концентрации.

Преимущества использования активных пробоотборников заключаются в сбо-

ре проб большего объема и независимости от факторов окружающей среды, в отличие от пассивных пробоотборников. С другой стороны, пассивный отбор проб не требует использования насосов для отбора проб воздуха, а использует принцип диффузии через статический слой воздуха в собирающую среду. Например, значок, содержащий сорбент, находится в контакте с воздухом в течение определенного времени. Поскольку пассивный отбор проб не требует использования насосов, он менее громоздкий и простой в использовании. Это дешевле, чем активный отбор проб, но зависит от неконтролируемых факторов окружающей среды.

В городских районах качество воздуха снижается из-за комбинированного воз-

действия промышленных выбросов и выбросов от транспортных средств. С учетом вышесказанного целесообразным видится использование результатов и анализа мониторинга качества атмосферного воздуха в качестве некоей отправной точки для определения основных направлений экологической политики в регионах.

Так, авторами были произведены исследования по определению выбросов на миллион рублей валового регионального продукта. В качестве исходной информации взяты данные рис. 5 и данные Федеральной службы государственной статистики по валовому продукту в Российской Федерации за 2021 г. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выбросы в атмосферный воздух, кг на 1 млн руб. валового продукта

Наименование субъекта	Выбросы в атмосферный воздух, тыс. т	Валовой продукт, тыс. руб.	Выбросы, кг/1 млн руб. ВП
Российская Федерация	22299,5	121 182 987 500	184,015
Центральный федеральный округ	2768,1	41 685 337 015,2	66,405
Северо-Западный федеральный округ	2072,7	16 611 895 275,5	124,772
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	1393,3	7 952 016 608,6	175,213
Северо-Кавказский федеральный округ	644,4	2 695 611 226,2	239,055
Приволжский федеральный округ	3392,9	16 878 414 373,3	201,020
Уральский федеральный округ	4068,5	16 698 970 133,8	243,638
Сибирский федеральный округ	6367,9	11 287 168 006,8	564,172
Дальневосточный федеральный округ	1591,7	7 373 574 860,6	215,865

Примечание: составлено авторами на основе данных Росстата (статистический сборник «Охрана окружающей среды в России») [3] и (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году») [5].



Рис. 7. Выбросы в атмосферный воздух по федеральным округам в 2021 г., кг на 1 млн руб. ВРП
Источник: составлено авторами

Таблица 2

Вклад федеральных округов в ВВП и в загрязнение атмосферного воздуха

Наименование субъекта	Валовой продукт, тыс. руб.	Доля субъекта в ВВП, %	Выбросы в атмосферный воздух, тыс. т	Доля субъекта в выбросах, %
Российская Федерация	121 182 987 500	100	22299,5	100
Центральный федеральный округ	41 685 337015,2	34,40	2768,1	12,41
Северо-Западный федеральный округ	16 611 895275,5	13,71	2072,7	9,29
Южный федеральный округ (с 29.07.2016)	7 952 016 608,6	6,56	1393,3	6,25
Северо-Кавказский федеральный округ	2 695 611 226,2	2,22	644,4	2,89
Приволжский федеральный округ	16 878 414373,3	13,93	3392,9	15,22
Уральский федеральный округ	16 698 970133,8	13,78	4068,5	18,24
Сибирский федеральный округ	11 287 168006,8	9,31	6367,9	28,56
Дальневосточный федеральный округ	7 373 574 860,6	6,08	1591,7	7,14

Примечание: составлено авторами на основе данных Росстата (статистический сборник «Охрана окружающей среды в России» [3] и Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году») [5].

Как видно из полученных результатов, из восьми федеральных округов только в трех (Центральном, Северо-Западном и Южном) выбросы в атмосферный воздух на 1 млн руб. валового регионального продукта ниже, чем в среднем по Российской Федерации. Самое значительное превышение этого показателя наблюдается в Сибирском федеральном округе (более чем в 3 раза). В Северо-Кавказском и Уральском округах превышение среднероссийского показателя составляет около 30% (рис. 7).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости корректировки реализуемой региональной экологической политики в сторону снижения выбросов в атмосферный воздух, прежде всего в Сибирском, Уральском и Северо-Кавказском федеральных округах.

Видится интересным также сопоставление вклада каждого федерального округа в общее загрязнение атмосферного воздуха в стране с его вкладом в ВВП страны. На основе данных рис. 5 и статистической информации нами получены следующие результаты (табл. 2).

Как видно из полученных данных, в целом вклад федеральных округов в создание валового внутреннего продукта Российской Федерации и в общее загрязнение атмосферы

воздуха совпадает. Позитивное исключение составляют Центральный федеральный округ (доля в ВВП страны составляет 34,4%, а в загрязнении атмосферного воздуха – всего 12,41%) и Северо-Западный федеральный округ (13,71 и 9,29% соответственно). Негативно отличается Сибирский федеральный округ: при вкладе в ВВП 9,31%, доля в загрязнении атмосферного воздуха составляет 28,56%.

Полученные результаты, основанные на мониторинге качества атмосферного воздуха, также свидетельствуют о том, что в Сибирском федеральном округе необходимо планировать и реализовывать региональную политику, в том числе и экологическую, с учетом этих данных.

Заключение

В результате проведенного анализа было установлено, что количество выбросов загрязняющих атмосферу веществ в десятилетнем разрезе сократилось. Однако отмечается увеличение количества выбросов от стационарных источников. При этом отмечается их неравномерность по федеральным округам. Так, высокий уровень воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от стационарных источников в 2021 г. зафиксирован в Сибирском

федеральном округе, наименьшее количество загрязняющих веществ – в Северо-Кавказском федеральном округе. Нами получены данные по определению выбросов на 1 млн руб. валового регионального продукта. Только в трех федеральных округах выбросы в атмосферный воздух на 1 млн руб. валового регионального продукта ниже, чем в среднем по Российской Федерации. Вклад федеральных округов в создание валового внутреннего продукта Российской Федерации и в общее загрязнение атмосферного воздуха совпадает.

В целях снижения выбросов в атмосферный воздух целесообразно выстраивать региональную, в том числе экологическую, политику с учетом результатов, полученных в ходе мониторинга, а также использовать мониторинг качества атмосферного воздуха в качестве инструмента государственного механизма охраны окружающей среды. В рамках национальной экологической политики приоритетом является выравнивание качества окружающей среды во всех регионах страны. Поэтому региональная экологическая политика должна выстраиваться с учетом данного вектора развития

и учитывать неравномерность выбросов в регионах при создании валового регионального продукта.

Список литературы

1. Han L., Zhou W., Li W., & Li L. Impact of urbanization level on urban air quality: A case of fine particles (PM_{2.5}) in Chinese cities // *Environmental Pollution*. 2014. Vol. 194. P. 163–170.
2. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/> (дата обращения: 01.02.2023).
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 01.02.2023).
4. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения: 01.02.2023).
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» [Электронный ресурс]. URL: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/> (дата обращения: 01.02.2023).
6. Hakkim H. et al. Air pollution scenario analyses of fleet replacement strategies to accomplish reductions in criteria air pollutants and 74 VOCs over India // *Atmospheric Environment*. 2022. Vol. 13. P. 100150.
7. Rovira J. et al. Environmental impact and human health risks of air pollutants near a large chemical/petrochemical complex: Case study in Tarragona, Spain // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 787. P. 147550.

УДК 911:332

DOI 10.17513/use.38041

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ЭКОГЕОСИСТЕМ ЕВРАЗИИ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

Лобанов Л.В., Барабошкина Т.А.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва,
e-mail: ecolab@mail.ru

Актуальность темы обусловлена важностью систематизации факторов, приоритетных для идентификации и картографического документирования экогеосистем в районах развития энергетического сектора экономики для идентификации и минимизации экологического следа. Цель выполненной работы – совершенствование картографических моделей фиксации экологического следа в районах доминирования объектов энергетики для усовершенствования структуры природопользования в направлении экологической нейтральности и обоснования принятия управленческих решений. Достижение поставленной цели осуществлено комплексно на основе систематизации междисциплинарных данных: о функциональной организации района исследований, особенностях геологического строения, почвенных и биоресурсах региона. Анализ ретроспективных космических снимков, полевых и лабораторных исследований, картографирование качества ресурса геологического пространства для различных видов экономической деятельности показал положительный тренд в оптимизации эколого-ресурсного потенциала территории синхронно с реализацией концепции модернизации проектов газоснабжения жителей региона. На примере типового участка, расположенного в Центральной части Евразии, выявлены тенденции в достижении целей устойчивого развития (ЦУР-7, задача 7.б), на региональном уровне благодаря внедрению в практику автоматизированных газораспределительных станций (АГРС) нового поколения. Минимизация углеродного следа в энергетическом секторе страны актуальна для решения широкого спектра социально-экономических и геоэкологических региональных задач. Разработанная картографическая модель позволяет дифференцировать природные и антропогенные факторы риска, приоритетные для совершенствования систем геомониторинга, разработки программ рекультивации староосвоенных участков хозяйственной деятельности и для обоснования принятия управленческих решений в сфере достижения экологической нейтральности функционирования газотранспортных экогеосистем Евразии.

Ключевые слова: картографирование, типизация территории, эколого-геологические системы, Евразия, устойчивое развитие, энергетические услуги, экологическая нейтральность

MAPPING OF GAS TRANSMISSION ECOGEOSYSTEMS OF EURASIA: FROM THEORY TO PRACTICE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS

Lobanov L.V., Baraboshkina T.A.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: ecolab@mail.ru

The relevance of the topic is due to the importance of systematization of priority factors for identification and cartographic documentation of ecogeosystems in the areas of development of the energy sector of the economy for identification and minimization of the ecological footprint. The purpose of the work performed is to improve cartographic models of fixing the ecological footprint in areas dominated by energy facilities to improve the structure of environmental management in the direction of environmental neutrality and justification of management decisions. The achievement of this goal was carried out comprehensively on the basis of systematization of interdisciplinary data: on the functional organization of the research area, the features of the geological structure, soil and bioreources of the region. The analysis of retrospective satellite images, field and laboratory studies, mapping the quality of the geological space resource for various types of economic activity showed a positive trend in optimizing the ecological and resource potential of the territory synchronously with the implementation of the concept of modernization of gas supply projects for residents of the region. Using the example of a typical site located in the Central part of Eurasia, trends in achieving the Sustainable Development Goals (SDG-7, task 7.b) have been identified at the regional level due to the introduction into practice of automated gas distribution stations (AGRS) of a new generation. Minimizing the carbon footprint in the country's energy sector is relevant for solving a wide range of socio-economic and geo-ecological regional problems. The developed cartographic model makes it possible to differentiate between natural and anthropogenic risk factors that are priority for improving geomonitoring systems, developing programs for the reclamation of old-developed areas of economic activity and for justifying management decisions in the field of achieving environmental neutrality of the functioning of gas transmission ecogeosystems of Eurasia.

Keywords: mapping, territory typification, ecological and geological systems, Eurasia, sustainable development, energy services, environmental neutrality

Использование в энергетическом секторе экономики «голубого золота» на рубеже тысячелетий в Евразии инициировало интенсивное экономическое развитие горно-

добывающих регионов. Однако длительный период эксплуатации оборудования привел к формированию экологического следа в компонентах экогеосистем, особенно

в районах, имеющих в структуре широкий спектр разноплановых видов экономической деятельности [1–3].

Актуальность работы обусловлена значительными масштабами развития трубопроводного транспорта и топливно-энергетического комплекса на просторах Евразии и важностью снижения «экологического эха» от их эксплуатации для достижения экологической нейтральности в районах их функционирования [4–6].

Согласно Постановлению Кабинета Министров Республики Татарстан № 961 от 26.10.2019 «Об утверждении Плана мероприятий по газификации Республики Татарстан на 2019 год», успешно реализуется программа реконструкции газотранспортных систем, в которую вошла серия газораспределительных станций (ГРС), имеющих длительный период эксплуатации (от 30 и более лет), выработавших свой потенциал и требующих модернизации [4, 5] для решения задачи 7.b (ЦУР-7) «К 2030 году расширить инфраструктуру и модернизировать технологии для предоставления современных и устойчивых энергетических услуг для всех...» [6].

Цель работы – совершенствование картографических моделей фиксации экологического следа в районах доминирования объектов энергетики для усовершенствования структуры природопользования в направлении экологической нейтральности и обоснования принятия управленческих решений.

Материалы и методы исследования

Проведение картографических работ в юго-западной части пригорода г. Казани осуществлено на базе экогеосистемного подхода к анализу и обработке междисциплинарных данных, разработке легенд и структуры карт; анализу эколого-экономической истории эксплуатации ГРС, дешифрированию ретроспективных космоснимков, сбору и статистической обработке междисциплинарных данных о ресурсном потенциале территории с учетом синергетического взаимодействия смежных секторов экономики [7–9].

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение эколого-ресурсного потенциала региона шло поэтапно. Анализируемые компоненты природно-ресурсного потенциала юго-западного сектора пригорода г. Казани, в *геологическом аспекте* пред-

ставлены дочетвертичными отложениями пермской (ассельский, сакмарский и казанский ярусы) и неогеновой (плиоценовый отдел) систем [9]. Ассельские образования представлены доломитами светло-серыми микрослоистыми, а также реликтивно-органогенными в некоторых частях разреза с линзами кремня и прослоями гипсов и известняков. Практически повсеместное распространение имеют сакмарские отложения. Исключением являются глубокие эрозионные врезы в тальвегах палеодолины р. Волги и еще на ряде участков. Отложения казанского яруса распространены по всей территории за исключением глубоких врезоз палеодолин. Они залегают с размывом на отложениях сакмарского яруса, имея закарстованную поверхность, и представлены в виде терригенно-карбонатных пород с характерной для исследуемой местности цикличностью разреза [9, 10]. Среди четвертичных отложений доминируют эоплейстоценовые, неоплейстоценовые и голоценовые (рис. 1).

Типизация эколого-геологических условий территории проведена на базе систематики полевых и картографических данных как о типах строения геологической среды (рис. 1), так и данных о строении почвенного и растительного покрова при учете особенностей экономической специализации и функциональной организации территории [5, 10].

По совокупности перечисленных параметров в пределах исследуемого участка было выделено девять типов экогеосистем (ЭГС), которые легли в основу разработки картографической модели эколого-геологических условий территории с учетом типов строения геосред, мозаики растительного покрова, хозяйственного использования территории (рис. 2).

Разработанная легенда «Карты эколого-геологических условий территории» состоит из ряда блоков. *Первый блок* представлен в виде интегральной матрицы (рис. 2), которая стала универсальной и была использована в различных типах разработанных эколого-геологических карт.

Второй блок отведен гидрологическим и действующим промышленным объектам. Выделенные типы экогеосистем на карте эколого-геологических условий показаны цветовым фоном, а для унификации представления каждой ЭГС присвоен интегральный индекс (показан римской цифрой), расшифровка которого дана в легенде к карте (рис. 2).

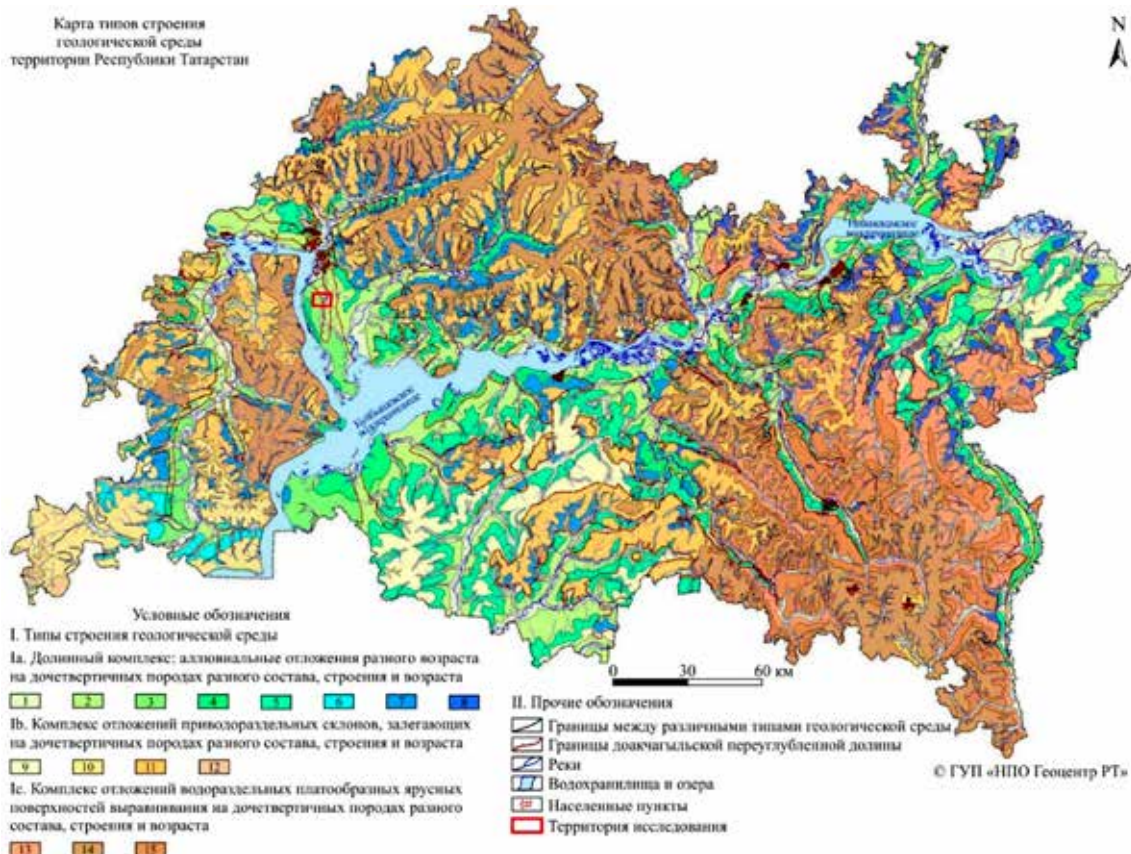


Рис. 1. Карта типов строения геологической среды территории Республики Татарстан по [9] с изменениями (в источнике приведена подробная характеристика типов строения геологической среды)

Основное влияние на биоту проявляется в замещении природных экогеосистем антропогенно-преобразованными, снижением биоразнообразия и сменой фитоценозов за счет сокращения ареалов флоры и фауны, а также трансформацией почвенного покрова.

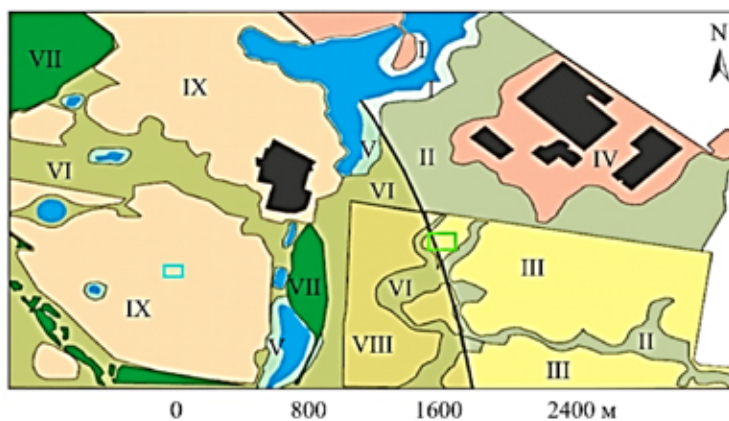
Максимальное площадное замещение природных почв антропогенно-преобразованными зафиксировано в пределах сел и приуроченных к ним приусадебных хозяйств, активным строительством в жилой зоне и экстенсивной эксплуатацией ГРС.

Разработка легенды к карте эколого-ресурсного районирования осуществлена на основе методики эколого-геологического картографирования. «Карты эколого-геологического районирования – оценочные карты, на которых в тех или иных категориях дается оценка современного состояния эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний». Данные карты являются базовыми для составления прогнозов и выработки природоохранных рекомендаций, так как

наглядно отражают результаты комплексной оценки территории с позиций комфортности и безопасности проживания человека и функционирования геосистем [7].

Основной акцент в легенде карты районирования ставится на второй, оценочный блок, где систематизирована информация о критериальной базе, на основании которой по совокупности абиотических и биотических параметров (при использовании принципа доминанты наихудшего показателя) осуществлялась интегральная оценка выделенных типов ЭГС с учетом синергетического влияния различных видов хозяйственной деятельности в районе исследования (рис. 3).

Цветовая гамма в легенде карты выбрана в семафорном варианте и передает класс состояния ЭГС, сформировавшийся под влиянием естественно-исторических этапов геологического развития и деятельности энергетического сектора и смежных производств на стадии индустриального освоения исследуемой территории в перестроечный период развития экономики.



Условные обозначения

Матрица выделения эколого-геологических систем (ЭГС)

Абиотический компонент ЭГС				Функциональная организация территории	Биотический компонент ЭГС Растительные сообщества	Фактологическая формула ЭГС	Цвет и интегральный индекс ЭГС на карте
Подстилающие горные породы	Перекрывающие отложения	Гидрогеологические условия	Почва				
N₂ Плиоценовые отложения (N ₂) кзылсерского и ачкагальского ретиворусов, представленные песками, алеврититами, глинами и гальчиком. Мощность отложений достигает 50 м, а в перетуглубленной долине 200 м	a¹Пms Плейстоценовые отложения 1-4-ой надпойменных террас (aП-III), в разрезе представлены московские горизонты. Аллювиальные отложения 3-ей надпойменной террасы. Пески с гравием и галькой, прослоями торфов и илов (до 45 м)	N₂ Грунтовые воды аллювиальных отложений. Глубина залегания от 2-5 до 10 м. Воды пресные с минерализацией 0,2-0,8 г/л. Для плиоценовых безнапорных вод дебиты скважин составляют 3,3-8,3 л/с при пониженных уровнях до 17,0-21,0 м, удельные дебиты 0,2-0,4 л/с	Ал Аллювиальная изловато-перегнойно-глиеная	ЗСО Зона санитарной охраны	Л Разнотравно-злаковый луг	$N_2 - a^1Pms - N_2$ Ал - Л - ЗСО	I
			Ac + Act Комплекс агросерых и агротемно-серых почв	ЗТС Земли луговых сообществ	Л Разнотравно-злаковый луг	$N_2 - a^1Pms - N_2$ Ac + Act - Л - ЗТС	II
			СтУ Стратозем теплоумусный урбо-стратифицированный	ПЗ Пахотные земли	А Агрокультуры	$N_2 - a^1Pms - N_2$ Ac + Act - А - ПЗ	III
			СпПЗ Промышленная зона	Л Разнотравно-злаковый луг	$N_2 - a^1Pms - N_2$ СтУ - Л - СпПЗ	IV	
P₂kz Верхнепермские отложения казанского яруса (P ₂ kz), представленные глинами, мергелями, известняками, доломитами, песчаниками, конгломератами, алеврититами, ангидритами, гипсами. Мощность отложений 50-150 м	a¹Пms Плейстоценовые отложения 1-4-ой надпойменных террас (aП-III), в разрезе представлены московские горизонты. Аллювиальные отложения 3-ей надпойменной террасы. Пески с гравием и галькой, прослоями торфов и илов (до 45 м)	P₂ Грунтовые воды аллювиальных отложений. Глубина залегания от 2-5 до 10 м. Воды пресные с минерализацией 0,2-0,8 г/л. Для верхнепермских безнапорных вод дебиты скважин составляют 3,0-6,0 л/с водопроводность - 100-1200 м/сут	Ал Аллювиальная изловато-перегнойно-глиеная	ЗСО Зона санитарной охраны	Л Разнотравно-злаковый луг	$P_{2kz} - a^1Pms - P_2$ Ал - Л - ЗСО	V
			Ac + Act Комплекс агросерых и агротемно-серых почв	ЗТС Земли луговых сообществ	Л Разнотравно-злаковый луг	$P_{2kz} - a^1Pms - P_2$ Ac + Act - Л - ЗТС	VI
			ЗЛФ Земли лесного фонда	Ле Смешанный лес	$P_{2kz} - a^1Pms - P_2$ Ac + Act - Ле - ЗЛФ	VII	
			ПЗ Пахотные земли	А Агрокультуры	$P_{2kz} - a^1Pms - P_2$ Ac + Act - А - ПЗ	VIII	
СпУ Стратозем теплоумусный урбо-стратифицированный	СпПЗ Промышленная зона	Л Разнотравно-злаковый луг	$P_{2kz} - a^1Pms - P_2$ СтУ - Л - СпПЗ	IX			

Прочие обозначения



Рис. 2. Карта-схема эколого-геологических условий территории в районе реконструкции ГРС

Порядка 30% изученных экогеосистем имеют класс «удовлетворительного состояния», а на 70% исследуемой площади идентифицирован класс «условно удовлетворительного состояния». К данному классу отнесены территории [9], прилегающие к трансграничным промышленным

объектам, а также площади проявления геологических процессов и геохимической миграции. В легенде они отражены фактологически: над каждым пунктом отбора проб почв и грунтовых вод в виде индексов показаны элементы, содержание которых отклоняется от регионального фона.

Класс состояния ЭГУ	Факторы, влияющие на эколого-геологические системы			Негативное влияние на биоту
	Абиотические			
	Геохимические Региональные значения	Геофизические	Геодинамические	
Условно удовлетворительный	В грунтовых водах и почвах отмечается превышение средних региональных значений по Mn, Fe, Cr, Cd, Hg. Также отмечается содержание нефтепродуктов	Напряженность магнитного поля достигает 0,541 кВ/м при норме 0,500 кВ/м	Отмечается подтопление территории и карстовые процессы. Осыпные и дефлюкционные процессы имеют на территории протяженность до 300 м	Ухудшение состояния и биоразнообразия растительных сообществ. Повышение заболеваемости на 1000 населения
Удовлетворительный	Превышение средних региональных значений отсутствует	Активность магнитного и электромагнитного полей минимальны	Опасные геологические процессы не проявлены	Значимого негативного влияния не оказывается



Рис. 3. Легенда карты эколого-ресурсного районирования территории в районе ГРС

По совокупности полученных данных для каждой экогеосистемы (рис. 4) исследуемого района был определен индекс качества геологического пространства территории для различных видов деятельности: проживания человека, естественного расселения биоты, создания лесопарковых зон, различных сфер агроиндустрии с учетом международных трендов в сфере зеленой экономики и экологических приоритетов природопользования [1, 3, 4].

Заключение

— Совершенствование методики построения картографических моделей позволило обосновать актуальность принятия управленческих решений по коррекции хозяйственного использования изученных экогеосистем для минимизации уровня экологического следа от предыдущих видов экономической деятельности и оптимизации

предоставления энергетических услуг на базе современных технологий.

— Проведенный анализ междисциплинарных данных, их картографическое документирование выявили положительные тренды в улучшении комфортности проживания населения на базе реализации комплексного подхода к модернизации газоснабжения региона для достижения целей устойчивого развития территории (ЦУР-7, задача 7.б).

— Разработанная картографическая модель позволяет дифференцировать природные и антропогенные факторы риска, приоритетные для совершенствования систем геомониторинга, рекультивации староосвоенных участков хозяйственной деятельности и обоснования принятия управленческих решений в сфере достижения экологической нейтральности функционирования газотранспортных экогеосистем Евразии.

Тип ЭГС	Качество ресурсов геологического пространства для:					Индекс качества геологического пространства территории	Рекомендации по использованию территории
	расселения человека	расселения животных и растений	создания лесопарковых зон	сельского хозяйства	животноводства		
I	2	2	2	3	2	222/32	Использование для сельского хозяйства
II	2	2	2	2	3	222/23	Использование для животноводства
III	3	3	2	3	3	332/33	Расселение животных, растений, человека, использование для животноводства и сельского хозяйства
IV	2	2	2	2	2	222/22	Использование для инженерно-хозяйственной деятельности
V	2	2	2	3	3	222/33	Использование для сельского хозяйства и животноводства
VI	2	3	2	3	2	232/32	Расселение животных, растений и использование для сельского хозяйства
VII	3	3	2	2	2	332/22	Возможны расселение и жизнедеятельность животных, растений и человека
VIII	2	3	3	3	3	233/33	Расселение животных, растений и возможность создания лесопарковых зон
IX	2	2	2	2	2	222/22	Использование для инженерно-хозяйственной деятельности

Рис. 4. Легенда к карте оптимизации качества ресурса геологического пространства в зоне реконструкции ГРС. Матрица выделения эколого-геологических систем показана на рис. 2

Список литературы

1. «Зеленая экономика»: Евразийское пространство / Под ред. Н.А. Борисенко. М., 2021. 319 с.

2. Эколого-геологические условия России. Трансформация экологических функций литосферы территории России под влиянием антропогенного воздействия и ее экологические последствия. Т. 2 / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2016. 280 с.

3. Яковенко Н.В. Экономический механизм эффективного природопользования: проблемы и приоритеты функционирования // Актуальные направления научных исследований XXI века. Теория и практика. Т. 10, № 4 (59). 2022. С. 126–136.

4. Луговской А.М. Технологическая безопасность России и ее обеспечение // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. № 1 (27). С. 53–57.

5. Схема территориального планирования Лаишевского муниципального района, 2015. Изд-во ГУП «Татинвестгразданпроект», Казань. [Электронный ресурс]. URL: [https://docplayer.ru/32398196-Shema-territorialnogo-planirovaniya-laishevskogo-municipalnogo-rayona-vypolnena-kollektivom-](https://docplayer.ru/32398196-Shema-territorialnogo-planirovaniya-laishevskogo-municipalnogo-rayona-vypolnena-kollektivom-specialistov-gup-tatinvestgrazhdanproekt.html)

[specialistov-gup-tatinvestgrazhdanproekt.html](https://docplayer.ru/32398196-Shema-territorialnogo-planirovaniya-laishevskogo-municipalnogo-rayona-vypolnena-kollektivom-specialistov-gup-tatinvestgrazhdanproekt.html) (дата обращения: 20.03.2023).

6. UN environment programme, Sustainable development goals, 2020. URL: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/sustainable-development-goals> (дата обращения: 30.04.2022).

7. Эколого-геологические карты (теоретические основы и методика составления) / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Высшая школа, 2007. 403 с.

8. Колесников С.Ф., Сладкопевцев С.А., Луговской А.М. Проблемы и перспективы картографического обеспечения геоэкологии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и картография. 2020. Т. 64, № 3. С. 298–304.

9. Карта типов строения геологической среды территории Республики Татарстан. Масштаб 1:1 200 000. Казань: Изд-во ГУП «НПО Геоцентр РТ», Осипов В.И. (ред.). [Электронный ресурс]. URL: <http://tat-map.ru/Tematic/Geolog/Karta-tipy-stroeniya-GS.jpg> (дата обращения: 10.02.2023).

10. Лобанов Л.В., Барабошкина Т.А. Реконструкция газотранспортного комплекса в целях устойчивого развития региона // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы. Ч. 2. Воронеж: ВГУ, 2019, С. 199–203.

СТАТЬЯ

УДК 911.9(470.325)
DOI 10.17513/use.38042

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОВРАЖНЫХ ФОРМ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Саблина О.М.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: sablina@bsu.edu.ru

В настоящее время в связи с увеличенной антропогенной нагрузкой значительные территории нашей страны подвержены эрозионным процессам. Белгородская область не исключение, здесь повсеместно мы наблюдаем активные оврагообразовательные процессы. В статье рассмотрено изучение развития овражных форм с использованием разновременных картографических материалов, ДДЗ, полевых исследований с использованием тахеометрической съемки, БПЛА. Исследования были проведены на территории водосборного бассейна 4 порядка р. Псел в Ивнянском районе Белгородской области. Временной период полевых исследований составил 3 года, динамика развития оврагообразовательного процесса была оценена по разновременному картографическому материалу и ДДЗ за период с 1955 по 2017 г. При проведении исследований использованы методы тематической обработки космических снимков, геопространственного анализа, ГИС-моделирования, сравнительно-географический, метод аналогий, ландшафтного планирования, а также методы статистической и математической обработки данных. В результате выполнения исследования были определены морфометрические показатели исследуемых ключевых овражных форм. Статья содержит результаты полевых и камеральных исследований. Для детального изучения овражной формы с максимальным линейным приростом были проведены исследования с использованием тахеометрической съемки и беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: овраг, ГИС, эрозия, линейный прирост

FEATURES OF DEVELOPMENT OF GULLY FORMS ON THE TERRITORY OF THE BELGOROD REGION

Sablina O.M.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: sablina@bsu.edu.ru

Currently, due to the increased anthropogenic load, large areas of our country are subject to erosion processes. The Belgorod region is no exception, everywhere we observe the active development of ravine-forming processes. The article considers the study of the development of gully forms using multi-time cartographic materials, DDZ, field studies using total station survey, UAV. The studies were carried out on the territory of the catchment area of the 4th order of the river. Psel. in the Ivnyansky district of the Belgorod region. The time period of field research was 3 years, the dynamics of the development of the ravine-forming process was estimated by different-time cartographic material and DDZ for the period from 1955 to 2017. The research uses methods of thematic processing of satellite images, geospatial analysis, GIS modeling, comparative geographical, analogy method, landscape planning, as well as methods of statistical and mathematical data processing. As a result of the study, morphometric indicators of the studied key gully forms were determined. The article contains the results of field and desk research. For a detailed study of the gully shape with the maximum linear increment, studies were conducted using total station surveys and unmanned aerial vehicles.

Keywords: ravine, GIS, erosion, linear growth

В настоящее время, учитывая тектонические движения, интенсивно формируется овражно-балочная сеть, развитие которой формирует достаточное высокое расчленение рельефа, вместе с этим растут уклон земной поверхности, что способствует активизации гравитационных, карстовых, суффозионных и делювиальных процессов [1]. Развитие горизонтального расчленения территории характеризуется в основном наличием и процессами развития активных форм эрозионной сети. Верхние звенья эрозионной сети как раз и являются активными эрозионными формами, из них принято считать оптимально определяемыми овраги, ложбины и промоины. Указанные эрозионные формы обладают значимыми размерами ($n \times (10-3 \div 102)$ км) и высокой скоростью

развития (отмечено, что скорость роста некоторых ложбин на территории Белгородской области может достигать 2,6 м/год) [2]. Образование оврагов на территории Белгородской области непосредственно связано с изменением природного комплекса под влиянием как антропогенного воздействия, так и природных факторов в течение довольно продолжительного периода времени [2].

Установление активности проявления роста овражных форм на разных стадиях развития – задача, решение которой возможно лишь в синтезе анализа ДДЗ, данных получаемых при полевых исследованиях, совокупность результатов которых позволит составить общую расчетную схему или модель оврагообразовательного процесса с использованием ГИС [3, 4]. Данные о про-

пространственном расположении и линейном приросте вершинных частей оврагов являются основным источником сведений о росте оврагов. Учеными предлагаются различные методики по созданию систем мониторинга динамики развития овражной сети: создание геопортала с возможностью внесения пользователями данных об изменении оврагов [5].

Актуальность проведения практических исследований для изучения развития линейной эрозии связана с ущербом, наносимым овражной эрозией сельскохозяйственным угодьям [6]. Мониторинг прироста оврагов должен проводиться на небольших территориях со схожими природными и антропогенными условиями. Метод реперных точек позволяет провести линейные измерения прироста овражной сети с наименьшими трудовыми и финансовыми затратами.

Цель исследования – анализ динамики линейного прироста эрозионных форм на модельном участке исследования, путем применения метода реперных точек.

На территории Белгородской области до настоящего исследования не имелось верифицированных данных о линейном приросте овражной сети. Данные о линейном приросте позволяют не только проанализировать, но и прогнозировать развитие овражной сети на территории исследования и перенести полученный опыт на всю Белгородскую область.

Материалы и методы исследования

Исследования, проводимые в полевых условиях, в большинстве своем направлены также на верификацию геоинформационного моделирования и прогнозирования развития этих овражных форм. Полученные количественные характеристики овражных форм в Китае позволили определить тренды развития овражной эрозии, с большей точностью прогнозировать эрозионные процессы. Европейские ученые при проведении исследований развития овражной эрозии в большинстве случаев при изучении линейного прироста оврагов проводят почвенные исследования смываемого грунта [7].

На основе существующего законодательства исследования развития оврагов (ГОСТ, ОСТ) должны проводиться с использованием методов реперов и топографо-геодезической съемки с помощью тахеометра Trimble M3 и роботизированного тахеометра с возможностями проведения наземного лазерного сканирования (НЛС) Trimble VX Spatial Station, который также

использовался для 3D-сканирования тела оврагов [8]. Для прогнозирования развития овражной сети применяются методы математико-статистического анализа совместно с анализом динамических факторов, среди которых, как показывают исследования, наибольшее влияние оказывают гидрометеорологические факторы и антропогенное воздействие на природные комплексы [9].

Наиболее популярным инструментом изучения оврагов остается наземное лазерное сканирование, несмотря на то, что использование БПЛА позволяет получить достаточно точные данные о количественных и качественных характеристиках объекта исследования. Ключевым показателем для определения противоэрозионных мероприятий являются данные о линейном приросте оврага [10].

Объектом исследования выступает модельный водосбор на территории Ивнянского района Белгородской области.

Наиболее распространенными эрозионными формами рельефа в Белгородской области являются ложбина, промоина, овраг, балка, овражно-балочная система [11, 12]. Овражно-балочная система – эрозионная система оврагов и балок, разделенная слегка выпуклыми водоразделами; характерна для возвышенно-равнинных территорий, покрытых легкоразмываемыми горными породами [13].

Данные о пространственном расположении и линейном приросте вершинных частей оврагов являются основным источником сведений о росте оврагов. С целью получения количественных данных о развитии овражной эрозии было проведено исследование при помощи установления реперов наблюдения на каждой из овражных форм. Метод реперных точек позволяет провести линейные измерения прироста овражной сети с наименьшими трудовыми и финансовыми затратами. Общие климатические условия, антропогенное воздействие на исследуемую территорию, степень освоения территории, геоморфологические характеристики позволяют оценить влияние на развитие оврага противоэрозионных лесополос, оценить влияние морфометрических характеристик, влияющих на развитие оврага.

Метод заключается в измерении расстояний от вершины оврага до предварительно установленного репера, который расположен по линии роста оврагов. Реперные точки устанавливаются в местах, которые с течением времени не претерпели никаких изменений относительно их исходного местополо-

жения. Реперными точками следует считать пересечения дорог, здания, сооружения, отдельно стоящие деревья, водонапорные башни, колодцы и др. Для анализа динамики изменения верховья оврага измеряют расстояние от реперной точки до верховья, два раза в год, весной после таяния снега и осенью после первых заморозков [14].

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее нами изучена динамика развития овражной сети по разновременным картографическим материалам, что позволило выявить изменения овражной сети исследуемой территории: изменения в протяженности, ширине и конфигурации границ овражной сети зафиксированы на большей части территории. Также на территории

Белгородской области было отмечено и образование новых оврагов [15].

Полевые исследования овражной эрозии направлены на выявление линейного прироста оврагов, характера, скорости их развития.

При исследовании территории водосбора с изучаемыми участками, расположенного в центральной части области, было выявлено, что протяженность овражной сети составила 48,7 км, протяженность балочной сети – 115,6 км, суммарная протяженность составила 164,3 км, площадь водосборов составляет 145,2 км².

Для оценки линейного прироста овражных форм на исследуемом участке была проведена предварительная оценка изменения линейных форм по разновременным картографическим материалам и ДДЗ за период с 1955 по 2017 г. (таблица).

Прирост овражных форм на территории исследования за период с 1955 по 2017 г. (м)

№ эрозионной формы	Тип оврага	Форма рельефа	Экспозиция	1955	2017	Разница
				Длина, метры		
1	береговой	овраг	западная	137	155	18
2	береговой	овраг	южная	68	125	57
3	склоновый	овраг	южная	269	375	106
4	склоновый	промоина	западная	41	198	157
5	склоновый	балка	восточная	592	620	28
6	склоновый	овраг	северо-западная	1151	1185	34
7	склоновый	балка	западная	119	184	65
8	береговой	овраг	южная	105	112	7
9	береговой	промоина	северная	25	40	15
10	береговой	овраг	северная	88	102	14
11	склоновый	балка	северная	92	95	3
12	склоновый	овраг	юго-восточная	182	270	88
13	донный	овраг	северо-восточная	88	90	2
14	береговой	овраг	восточная	43	86	43
15	береговой	промоина	южная	51	67	16
16	береговой	овраг	южная	74	130	56
17	склоновый	овраг	северная	216	250	34
18	береговой	овраг	северо-западная	139	170	31
19	береговой	овраг	южная	205	208	3
20	склоновый	овраг	северная	82	105	23
21	береговой	промоина	северная	51	120	69
22	склоновый	овраг	северная	150	290	140
23	береговой	овраг	восточная	77	126	49
24	склоновый	овраг	северная	286	290	4
25	склоновый	промоина	юго-восточная	40	175	135
26	склоновый	промоина	северная	80	137	57
27	склоновый	промоина	восточная	50	115	65
28	береговой	промоина	северная	49	69	20
29	береговой	овраг	восточная	210	239	29
30	склоновый	овраг	южная	110	110	0

Анализируя таблицу, видим, что наибольшего прироста достигли овражные формы № 3, 4, 12, 22, расположенные в центральной части водосбора, что связано с отсутствием противоэрозионных мероприятий, значительной антропогенной нагрузкой, а также с природными особенностями территорий расположения овражных форм (экспозиция склона). Минимальные показатели прироста овражных форм отмечены на участках № 14, 15, 30, 28, 24, 30, где отмечено наличие нескольких видов противоэрозионных мероприятий, таких как залужение, земляные валы и лесополосы.

На рис. 1 отображен прирост овражных форм за период полевого исследования (3 года). Из существующей выборки оврагов 63% соответствуют развивающимся оврагам, 30% соответствуют первой стадии развития оврага – промоине, которая переходит в овраг, на ней зафиксирован вершинный обрыв, и только 7% имеют затухающую стадию, соответствующую переходу в балку.

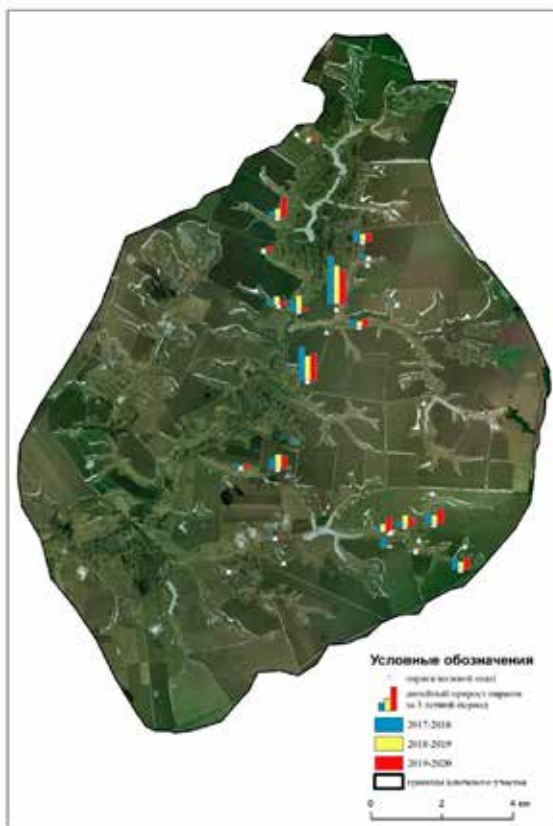


Рис. 1. Диаграммы линейного прироста овражных форм за 2017–2020 гг. (м)

Более чем у половины оврагов, находящихся в активной стадии развития, были отмечены изменения состояния верховья

оврага спустя год, что свидетельствует о значительной скорости развития оврага.

Суммарный прирост изучаемых оврагов за 3 года исследования составил 1391 см, из них 825 см соответствует активно развивающимся овражным формам, оставшиеся 507 см – это общее увеличение промоин, переходящих в овраги. Средняя скорость активно развивающихся оврагов составила 43 см/год, промоины 57 см/год, балочные формы имеют соответственно самую низкую скорость развития – 29 см/год.

Высокие показатели линейного прироста отмечены у оврагов, которые расположены на склонах западной и южной экспозиций, что можно объяснить увеличением скорости снеготаяния за счет инсолируемости склона, что ведет к увеличению поверхностного стока, что и вызывает увеличение скорости развития овражной формы.

Поскольку на ключевом участке № 4 отмечен максимальный линейный прирост, с целью установления точных количественных данных о приросте овражной формы на данной территории были дополнительно проведены тахеометрическая съемка (2018 г.) и съемка с использованием БПЛА (2020 г.).

Овраг расположен на поперечно-вогнутом склоне, с уклоном 1–3°, восточной экспозиции, профиль тальвега слабовыпуклый, верховье оврага выходит на пашню и подвергается активному землепользованию, здесь не применены никакие противоэрозионные мероприятия, что провоцирует развитие оврага.

Изучение динамики развития оврага в рамках двух лет показало, что рост протяженности оврага за весенне-летний период выше, нежели прирост за осенне-зимний период, что позволяет сделать вывод о наибольшем влиянии на рост овражной сети процессов снеготаяния, а также о незначительном влиянии ливневых осадков в осенний период. Незначительное изменение расстояния от реперных точек до бровок оврага свидетельствует об отсутствии обрушений бровок оврага при значительном линейном развитии оврага, о чем свидетельствуют данные изменений месторасположения верховья оврага.

На правой бровке оврага было зафиксировано более активное изменение бровки оврага, что связано с наибольшей инсолируемостью юго-западной части склона, а также с наименьшей задернованностью этого склона, что является неблагоприятными факторами развития овражной формы.

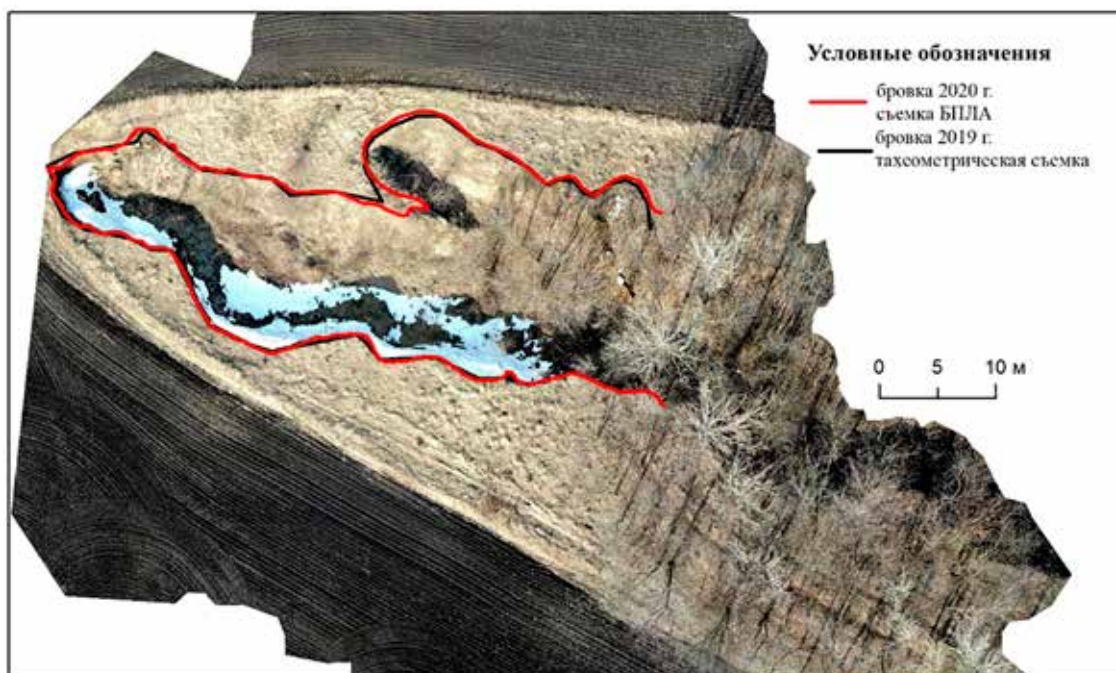


Рис. 2. Анализ данных, полученных с БПЛА (2020 г.) и тахеометрической съемки (2018 г.)

Точные данные о линии бровки оврага, тальвега, были получены при проведении тахеометрической съемки.

С целью анализа динамики изменения верховья, бровок оврага весной 2020 г. была проведена уточняющая съемка с помощью БПЛА DJI Mavic Air. При обработке данных были определены границы оврага и проведен сравнительный анализ их с предыдущими результатами тахеометрической съемки (рис. 2).

На рис. 2 отмечена линия бровки, которая была определена на основании данных, полученных с БПЛА, и линия бровки оврага, полученная в результате тахеометрической съемки и обработки. Анализ данных с разных источников позволил зафиксировать незначительное изменение бровок оврага.

На всей территории исследования прирост протяженности всех линейных форм эрозии составляет 1363 см, более 800 из которых наблюдается на активно развивающихся оврагах, увеличение прироста также было отмечено на промоинах – 537 см. В ходе проведения исследования были получены данные о средней скорости развития оврагов, промоин, балок на исследуемой территории: овраги – 43 см в год, промоины – 57 см в год, балочные формы – 29 см в год. Анализируя прирост на различных типах овражных форм, была выявлена закономерность: скорость прироста склоно-

вых оврагов почти в 2 раза выше скорости береговых, что свидетельствует о незначительном влиянии гидрографического фактора, наличии водоемов, рек.

Подтверждено, что склоны западной и южной экспозиции оказывают значительное влияние на развитие оврага, поскольку на них был отмечен максимальный линейный прирост, что можно объяснить тем, что для восточных и северных склонов характерно более медленное снеготаяние, чем на восточных и южных, следовательно, пониженной скорости поверхностного стока, что влечет за собой замедление развития эрозионных процессов.

Заключение

На исследуемой территории основными факторами развития оврагов являются прежде всего природные факторы: атмосферные осадки (весенний сток, летние ливни), крутизна и экспозиция склонов, а также антропогенная нагрузка: система хозяйственного использования, влияние противоэрозионных мероприятий. Учитывая скорость, характер развития, можно утверждать, что овражная эрозия является наиболее активным фактором преобразования рельефа на территории Белгородской области.

Исследования и анализ разновременных картографических материалов с использованием геоинформационных технологий

позволили зафиксировать линейное развитие овражных форм, и отследить динамику изменения каждой формы. Наибольшим приростом обладают овраги, поскольку длительное значительное антропогенное воздействие, климатические факторы оказали весомое влияние, вследствие чего овраги активно развивались. Период исследования составил значительный временной промежуток, что не позволило корректно оценить изменение протяженности промоин, поскольку процесс перехода промоины в овраг может составлять буквально 5–10 лет.

Средние показатели прироста промоин за период исследования (3 года) максимальны, что верифицирует данные о скорости развития промоин, анализ прироста овражных форм показал средние результаты, что можно объяснить наличием противоэрозионных мероприятий, а также верифицировал данные о средних скоростях прироста овражной сети в исследуемом регионе, анализ линейного развития балочных отвершков показал минимальные результаты.

Синтез геоинформационного моделирования, полевых исследований позволяет получать и фиксировать количественные данные о развитии оврагов, анализировать и прогнозировать процессы развития овражной сети, а также верифицировать результаты, полученные при полевых исследованиях с помощью ДДЗ.

Полученные результаты исследования могут быть практически применены при планировании и проведении инфраструктурных, противоэрозионных и сельскохозяйственных работ.

Список литературы

1. Хрисанов В.А., Калмыков С.Н. Развитие и распространение экзогенных процессов на неотектонических структурах в условиях современных вертикальных движений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 4. С. 515.
2. Нарожняя А.Г., Буряк Ж.А. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации // Региональные геосистемы. 2016. № 25. С. 246.
3. Буряк Ж.А. Совершенствование подходов к оценке эрозионной опасности агроландшафтов с использованием ГИС-технологий // Региональные геосистемы. 2014. № 23. С. 194.
4. Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Платончева Е.В. Методические подходы к мониторингу процессов эрозии на сельскохозяйственных землях европейской части России с помощью материалов космических съемок // Ученые записки Казанского университета. Серия: естественные науки. Казань. 2017. Т. 159. № 4. С. 668–680.
5. Горин В.Б., Харченко С.В. Подходы к созданию опорной сети по наблюдению за динамикой развития оврагов в Курском приграничье // Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации: сборник статей по материалам V международной научно-практической конференции. Курск, 2018. 362 с.
6. Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G., Valentin C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs // Catena. 2003. Is. 91. P. 91–133.
7. XIA Dong. Effects of collapsing gully erosion on soil qualities of farm fields in the hilly granitic region of South China XIA Dong, DING Shu-wen, LONG Li3, DENG Yu-song, WANG Qiu-xia, WANG Shu-ling, CAI Chong-fa1 // Journal of Integrative Agriculture. 2016. Vol. 15, Is. 12. P. 2873–2885.
8. Гафуров А.М., Голосов В.Н., Рысин И.И., Шарифуллин А.Г. Мониторинг динамики роста оврагов с использованием инструментальных методов. Строение литосферы и геодинамика: материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. 294 с.
9. Зайцева М.Ю., Рысин И.И. Прогнозирование скорости роста оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 3. С. 383.
10. Урубжурова Э.П., Мутулова А.И., Юнусов Ш.К., Далатинов В.А. Особенности динамики роста оврагов республики Калмыкия. Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы рационального использования: материалы VI региональной заочной студенческой научно-практической конференции (Элиста, 25–26 апреля 2019 г.). С. 96.
11. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Сафина Г.Р. О современном тренде эрозии в степной и лесостепной зонах Восточно-Европейской равнины // Геоморфология. 1996. № 3. С. 39–42.
12. Тимофеев Д.А. Терминология флювиальной геоморфологии. М.: Наука, 1981. С. 267.
13. Зорина Е.Ф., Никольская И.И., Веретенникова М.В. Количественные характеристики интенсивности роста оврагов. Научное издание // Геоморфология. 1991. № 1. С. 65–71.
14. Сатдаров А.З. Методы исследования регрессивного роста оврагов: достоинства и недостатки // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2016. Т. 158. Кн. 2. С. 277–292.
15. Саблина О.М., Чендев Ю.Г. Опыт изучения овражной сети с использованием разновременных плановых съемок // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 4. С. 507–515.

СТАТЬЯ

УДК 528.21

DOI 10.17513/use.38043

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОИДА
НА ТЕРРИТОРИИ АФГАНИСТАНА**^{1,2}Сафари М.А., ²Льонг Т.Л.¹*Кабульский политехнический университет, Кабул, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;*²*Государственный университет по землеустройству, Москва*

В настоящее время основной метод, используемый в области геодезии, является глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС). ГНСС дает трехмерные координаты, на основе которых получают высоту над эллипсоидом. В инженерных целях пользуются ортометрическими высотами, т.е. высотами над геоидом. При помощи глобальной модели геоида (ГГМ) получают ортометрические высоты. В данном исследовании рассмотрены особенности применения многообразных моделей геоида для определения ортометрических высот точек земной поверхности по данным ГНСС измерений для территории Афганистана, а также выполнена оценка точности моделей геоида по разностям аномалий высот, вычисленных для пунктов спутниковых измерений по данным наземных измерений и данным моделей. Для анализа и оценки глобальной модели геоида (ГГМ) на территории Афганистана высоты геоида из пяти последних глобальных моделей (EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGGUGM-1 и XGM2019e_2159) сравниваются с высотами геоида на пункты ГНСС/нивелирования. Целью этого процесса является использование преимуществ глобальных моделей геоида на территориях, не освещенных ГНСС/нивелирования, и улучшение точности локальных моделей с минимизацией погрешности глобальной модели геоида. В данном исследовании анализ и оценка глобальной модели геоида выполняется с использованием ГНСС/нивелирования на разных расстояниях и различным топографическим состоянием. Оценка точности и подбор глобальной модели на территории Афганистана в этом исследовании осуществлена в трёх местах: автотрасса Бамиан–Баглан, автотрасса Кабул–Торхам и автотрасса Джабальсраж–Хавак. В соответствии с достигнутыми данными, результаты исследования показывают, что на территории исследования из пяти глобальных моделей точности модель XGM2019e_2159 по величине среднеквадратичной погрешности (СКП) имеет лучший результат. Значение погрешности модели XGM2019e_2159 на трех трассах составляет 0.010м на километр по сравнению с пунктами ГНСС/нивелирования.

Ключевые слова: анализ и оценка точности, ГНСС/нивелирование, рельеф, среднеквадратичные погрешности, глобальная модель геоида

**ACCURACY ASSESSMENT OF GLOBAL GEOID MODELS
ON THE TERRITORY AFGHANISTAN**^{1,2}Safari M.A., ²Luong T.L.¹*Kabul Polytechnic University, Kabul, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;*²*State University of Land Use Planning, Moscow*

Recently, one of the main methods used in the field of geodesy Global Navigation Satellite System (GNSS). GNSS provide three-dimensional coordinate, which calculate altitude above the ellipsoid. For engineering purposes, orthometric heights, i.e., heights above the geoid, are used; global geoid model (GMG) will produce orthometric heights. In this study, the possibility of using a variety of geoid models to determine the orthometric altitudes of points on the Earth's surface for the territory of Afghanistan was analyzed based on GNSS measurements. The accuracy of geoid models was evaluated by differences in elevation anomalies calculated for satellite measurement points from ground-based measurements and model data. To estimate and analyze the application of GMG for Afghanistan, geoid heights from the last five global models (EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGGUGM-1 and XGM2019e_2159) were compared with geoid heights on GNSS/leveling points. The objectives of this process were to take the advantage of global geoid models in areas where not illuminated by GNSS/leveling and to improve the accuracy of local models while minimizing geoid error. In this study, the analysis and evaluation of the global geoid model carried out employing GNSS levelling at various distances and different topographic conditions. In this study, accuracy assessments and global model selection for Afghanistan was carried out in three locations: Bamyán–Baghlan highway, Kabul–Torkham highway and Jabalsraj–Hawak highway. The results of analyzes indicated that the XGM2019e_2159 global model is more accurate for territory of Afghanistan compared to the others based on root mean square error (RMSE). The XGM2019e_2159 error value on three traces is 0.010m per kilometer compared to GNSS/leveling points.

Keywords: analysis and evaluation of accuracy, GNSS/leveling, global geoid model, relief, root mean square errors

Применение спутниковых методов основано на использовании геоцентрических координат, для решения инженерных задач в этих областях эффективно используются спутниковые данные с известными значениями параметров земного эллипса и формы геоида. ГНСС представляют трехмерные координаты, которые обеспечивают высоту над эллипсоидом. Геодезические высоты имеют только математическое обоснова-

ние, не обладающее физическим значением. Ортометрические высоты применяются в геодезических работах, т.е. высоты над геоидом с помощью ГГМ [1]. Именно эти модели можно рассматривать как эталон для выполнения геодезических работ [2].

Последние варианты моделей ГГМ приобретают все более детальную и точную форму, теперь глобальная топография определяется спутниковыми методами не-

зависимо от данных наземного гравитационного поля [3].

Международный центр глобальных моделей Земли (ICGEM) постоянно анализирует производительность каждой новой выпущенной модели ГГМ по нескольким контрольным пунктам ГНСС/нивелирования по всему миру [4]. На настоящий момент существует около 200 моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ), выражающих гравитационное поле Земли и, соответственно, высоты геоида сферическими, гармоническими, базисными функциями [5].

Самыми современными спутниками, которые внесли большой вклад в совершенствование моделирования глобального гравитационного поля, являются специальные гравитационные миссии CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) [6], GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) [7]. Известно, что гравиметрическая модель геоида может быть подвергнута ошибкам из-за погрешностей как в наблюдаемых гравитационных данных, так и в конкретном районе [8].

Точность глобальных моделей различается от нескольких сантиметров до нескольких метров в разных странах, это зависит от точности и количества используемых данных.

Для районов с горной местностью разница между высотами геоида на ГГМ и высотами, полученными геометрическим методом, может достигать нескольких метров [9].

Локально рассматриваемое моделирование ГГМ удобнее в районах с относительно однородным полем. Поэтому, если поле в моделируемой области имеет сложную структуру, рекомендуется сначала разделить его на области, в каждой из которых поле однородно [10].

Поэтому исследование глобальных моделей может помочь установить и выбрать наиболее подходящую глобальную модель, которая наилучшим образом соответствует спектральным свойствам гравитационного/геоидного поля в районе Афганистана.

Афганистан имеет очень разнообразный рельеф, а большая часть центральной и северо-восточной территории страны представляет собой очень высокие горы, где сбор данных практически невозможен. Поэтому при создании и оценке точности глобальной модели необходимо знать, какая модель имеет наилучшую точность. В данном исследовании пять последних глобальных моделей проанализированы и оценены с помощью данных ГНСС/нивелирования. Кроме того, оценивалось влияние рельефа,

плотности контрольных пунктов на повышение или уменьшение точности модели.

Сравнение геопотенциальных моделей с независимыми данными на исследуемой территории является наиболее информативным способом определения наиболее подходящей ГГМ для последующих исследований гравиметрического геоида. Модель геопотенциала, которая обеспечивает наиболее близкое статистическое соответствие наблюдаемым наземным данным, может быть принята за наиболее подходящую модель для определения гравиметрического геоида в Афганистане, таким образом, целью данного исследования является анализ и оценка глобальной модели геоида с использованием ГНСС/нивелирования на различном расстоянии и разным топографическим состоянием на территории Афганистана.

Материалы и методы исследования

Выбор глобальной модели геоида на территории Афганистана в этом исследовании осуществлён в трёх местах: автотрасса Бамиан–Баглан в центре Афганистана, автотрасса Торхам–Кабул на юго-востоке и трасса Джабальсраж–Хавак восточнее Афганистана. На рисунке 1 показано расположение зоны исследования.

Автотрасса Бамиан–Баглан простирается примерно на 83 км под углом $238^{\circ}11'53''$, средняя высота 1154 м, начинается в Души ($\varphi = 35^{\circ}36'9.63''$, $\lambda = 68^{\circ}40'9.78''$, провинция Баглан, кончается в регионе Бамиан ($\varphi = 35^{\circ}13'47.7''$, $\lambda = 67^{\circ}58'10.6''$), трасса включает 22 ГНСС и нивелирные пункты на среднем расстоянии 4 км.

Маршрут Джабальсраж–Хавак – это горный район, который начинается из района Джабальсраж под углом $50^{\circ}2'21''$ ($\varphi = 35^{\circ}07'14.88''$, $\lambda = 69^{\circ}13'57.05''$), на расстоянии более 120 километров, заканчивается в Хавах на $\varphi = 35^{\circ}45'54.49''$, $\lambda = 70^{\circ}11'09.67''$. В этом маршруте расположено 63 пункта ГНСС и нивелиров на среднем расстоянии 1.5 км, средняя высота этой трассы равна примерно 2269 метрам.

Маршрут Кабул–Торхам начинается под направлением $104^{\circ}31'40''$ от Кабул при ($\varphi = 34^{\circ}42'40.41''$, $\lambda = 69^{\circ}14'13.13''$), на расстоянии более 200 км, заканчивается на Торхам ($\varphi = 34^{\circ}07'42.37''$, и $\lambda = 71^{\circ}05'08.04''$). На дороге Кабул–Торхам 43 ГНСС и нивелирных пунктов, которые расположены на среднем расстоянии около 5 км, средняя высота этой трассы составляет примерно 838 метров.

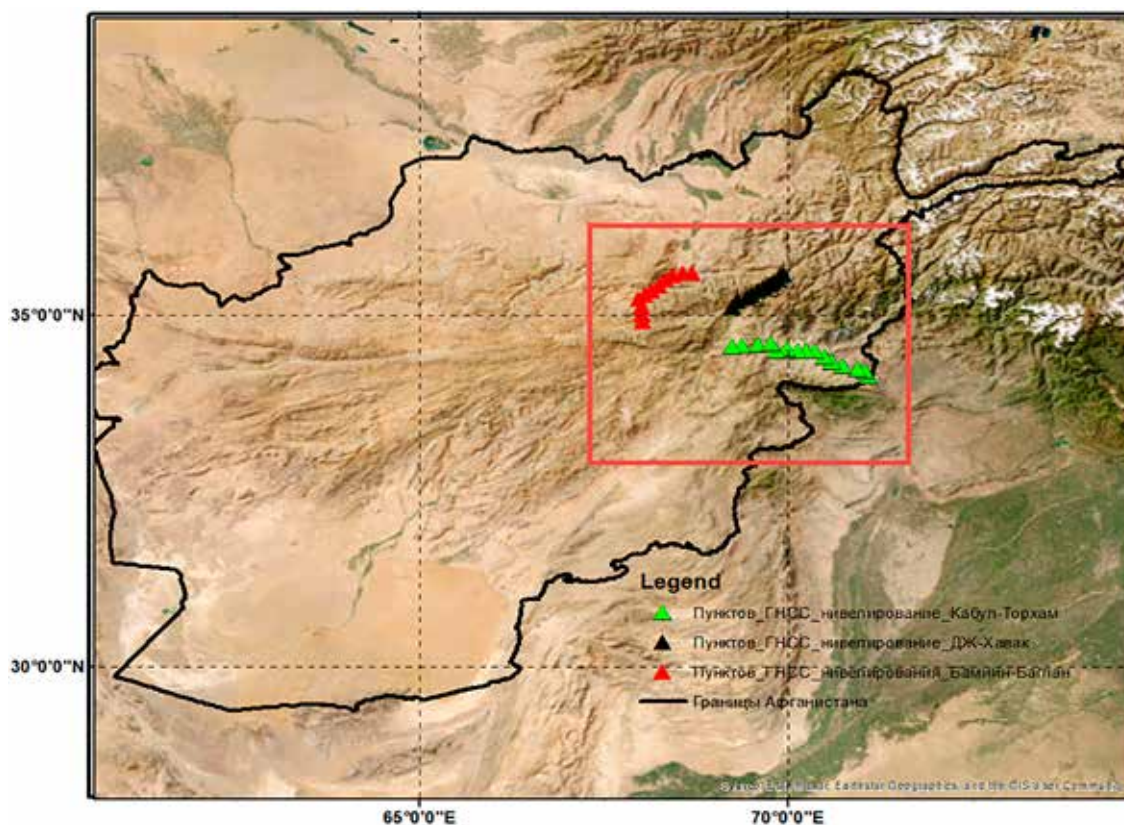


Рис. 1. Области исследования

Погрешность ортометрической высоты определения равна $\pm 10 \text{ mm} \sqrt{L}$. Геодезические высоты рассчитывались для каждой станции с погрешностью не более ± 1.5 см. В данном исследовании выбрано несколько ГМГ из веб-сайта Global Gravity Field Models по основным признакам: максимальная степень и порядок, различные источники данных, современность и средние квадратические значения, разница высот геоида на контрольные пункты ГНСС/нивелирования. По критериям модели XGM2019e_2159, SGG-UGM-2, GECO, EIGEN-6C4 и EGM2008 являются наиболее подходящими моделями.

Для получения оценки точности глобальной модели на исследуемой территории необходимо сравнить ее высоту с высотой ГНСС/нивелирования, которая обладает высокой точностью. Это сравнение поможет выяснить, какая глобальная модель имеет наилучшую точность на исследуемой территории, и для каких геодезических работ можно использовать. Этапы ее реализации следующие:

Высота геоида в контрольных пунктах вычисляется по следующей формуле [11];

$$\zeta_{\text{ГНСС/нивил}} = H - H^g \quad (1)$$

где $\zeta_{\text{ГНСС/нивил}}$ – высота геоида, H – геодезическая высота и H^g – ортометрическая высота.

- Получение высоты желаемых глобальных моделей ($\zeta_{\text{ГМЗ}}$) из сайта Международного центра глобальных моделей Земли (ICGEM)

- Вычисление разности между высотами $\zeta_{\text{ГМ}}$ и $\zeta_{\text{ГНСС/нивил}}$;

$$\Delta\zeta = \zeta_{\text{ГНСС/нивил}} - \zeta_{\text{ГМ}} \quad (2)$$

где $\Delta\zeta$ – разности высот геоида, $\zeta_{\text{ГНСС/нивил}}$ – измеренная высота геоида, $\zeta_{\text{ГМ}}$ – высоты геоида из глобальных моделей Земли.

Точность ГМ оценена по следующей формуле

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum \Delta\zeta_i^2}{n-1}} \quad (3)$$

где СКП – среднеквадратичная погрешность, n – число измерений.

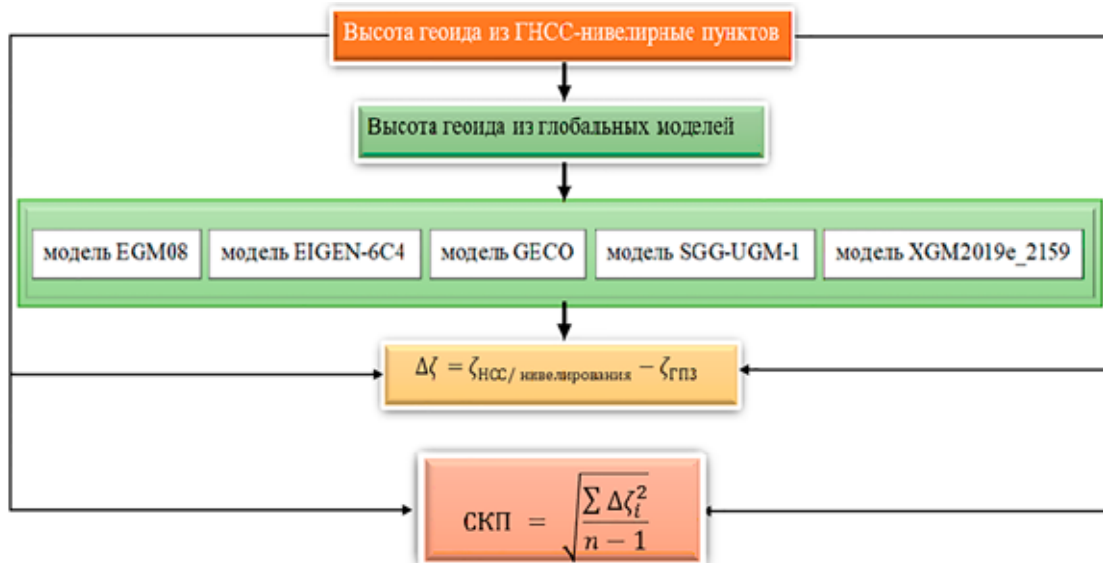


Рис. 2. Блок-схема используемой методики

Процесс реализации получения результатов исследования представлен на рисунке 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Соответствие ГМ локальным наблюдаемым данным ГНСС/нивелирования в районе Афганистана не очень хорошее из-за того, что в создании этих моделей было использовано меньше наземных данных. Афганистан имеет очень разнообразный рельеф, а большая часть центральной и северо-восточной территории страны представляет собой очень высокие горы, где сбор данных практически невозможен. Соответственно, можно ожидать большую неоднородность наблюдаемых данных по сравнению

с глобальными моделями геопотенциала из-за особенностей условий поля.

Как следует из рисунков 3, 4 и 5 из сравнения пяти выбранных глобальных моделей в районах исследования с пунктами ГНСС/нивелирования, ни одна из этих моделей не имеет одинаковых значений высоты геоида (ζ).

Оценки точности глобальных моделей определяются по величине СКП, которая получается из разницы их высоты относительно пункта ГНСС/нивелирования ($\Delta\zeta$). В таблице 1 показаны значение СКП глобальных моделей геоидов EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-2 и XGM2019e_2159, на трассах Бамиан–Баглан, Жабальсраж–Хавак, и Кабул–Турхам.

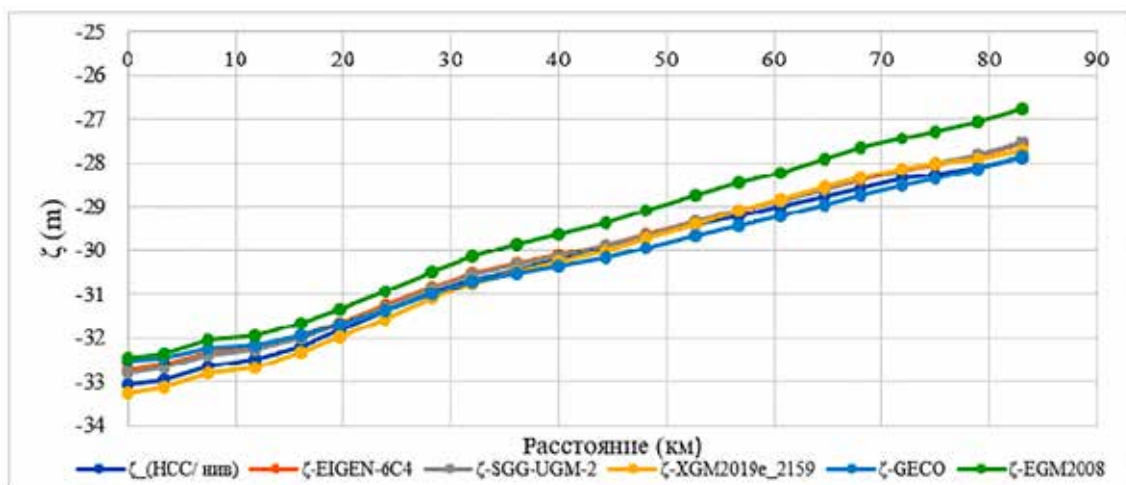


Рис. 3. Значение ζ из ГМ и ГНСС/нивелирование на трассы Бамиан–Баглан

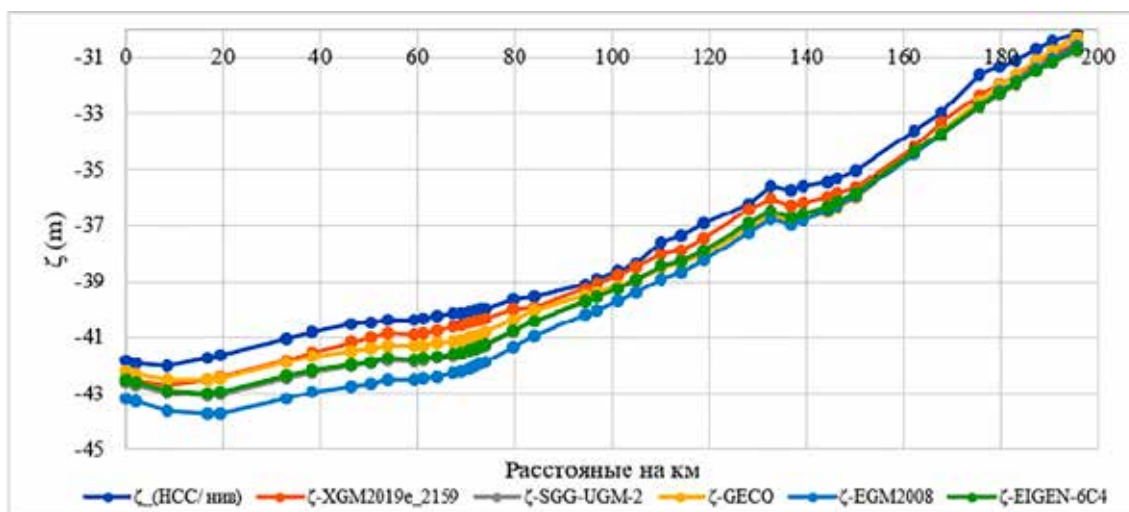


Рис. 4. Значение ζ из ГТМ и ГНСС/нивелирование на трассы Кабул–Турхам

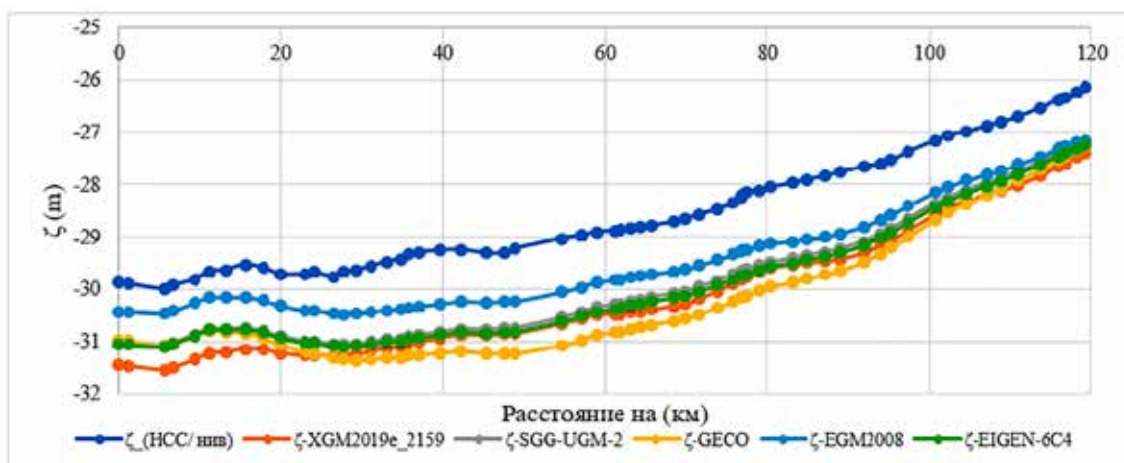


Рис. 5. Значение ζ из ГТМ и ГНСС/нивелирование на трассы Жабальсраж–Хавак

Таблица 1

Значение СКП глобальных моделей геоидов
трассах Бамиан–Баглан, Жабальсраж–Хавак, и Кабул–Турхам

Параметр (м)	EIGEN-6C4	SGG-UGM-2	XGM2019e_2159	GECO	EGM2008
СКП (Бамиан–Баглан)	0.096	0.098	0.080	0.256	0.198
СКП (Жабальсраж–Хавак)	0.183	0.170	0.121	0.335	0.185
СКП (Кабул–Турхам)	0.307	0.324	0.170	0.258	0.551

Согласно результатам оценки, глобальные модели, выбранные в районе исследования, имеют различные значения СКП, поэтому нужно выбрать модель, которая

имеет наименьшее значение СКП на всех трассах. Модель XGM2019e_2159 является наиболее подходящей в районе исследования (рис. 6).

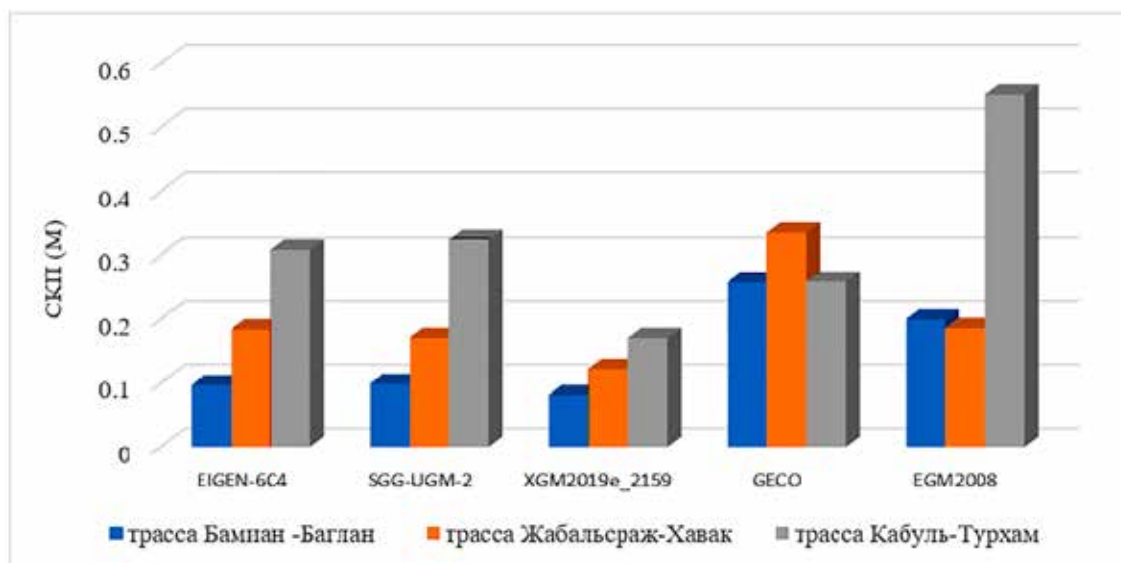


Рис. 6. Значение СКП глобальных моделей геоида на территории Афганистан

Согласно таблице 1 и рисунку 6 видно, что на территории Афганистана из пяти выбранных ГГМ точности модель XGM2019e_2159 по величине СКП имеет лучший результат по сравнению с другими ГГМ. Значение погрешности модели XGM2019e_2159 на трассах Бамиан–Баглан, Жабальсраж–Хавак и Кабул–Турхам составляет 0,08 м, 0,120 м и 0.170 м, соответственно, на расстояниях 83 км, 120 км и 200 км. Это означает, что точность глобальной модели XGM2019e_2159 снижается на один сантиметр на каждом километре расстояния от пункта ГНСС/нивелирования. Таким образом, чтобы определить правильную вы-

соту геоида в любой точке (ζ_{pi}) модели XGM2019e_2159, можно использовать следующее уравнение:

$$\zeta_{pi} = \zeta_{ГГМi} - \Delta\zeta_A + (d_{Ai} / d_{AB})\Delta\zeta_{ГНСС/нив} \pm 1cm \times d_{Ai},$$

где $\zeta_{ГГМi}$ – высота геоида из XGM2019e_2159;

$$\Delta\zeta_A = \Delta\zeta_{ГГМА} - \Delta\zeta_{ГНСС/нивA};$$

$\Delta\zeta_{ГНСС/нив}$ – разница высот геоида между двумя смежными пунктами ГНСС/нивелирования;

d_{AB} – расстояние от А до В;

d_{Ai} – расстояние на км от А до новой точки.

Таблица 2

Статистика влияния рельефа на значения СКП на 51 км трассы Бамиан–Баглан

Расстояние (км)	Координат			$\zeta_{ГНСС/нив}$ (м)	$\zeta_{XGM2019e_2159}$	$\Delta\zeta$ (м)
	φ°	λ°	Высота (м)			
0	35.5392855	68.3611809	1057.365	-30.669	-30.7483	0.079
8	35.4833946	68.3065176	1131.814	-30.214	-30.253	0.039
16	35.4267659	68.2484541	1165.043	-29.693	-29.7398	0.047
29	35.3529052	68.1528602	1291.209	-28.983	-28.8243	-0.159
40	35.2884972	68.0638268	1400.572	-28.347	-28.1261	-0.221
51	35.2294109	67.9692577	1515.919	-27.887	-27.7296	-0.157
		Среднее	1260.320	-29.299	-29.237	-0.062
		Макс.	1515.919	-27.887	-27.730	0.079
		Мин.	1057.365	-30.669	-30.748	-0.221
		СКП				0.131

Таблица 3

Статистика влияния рельефа на значения СКП на 49 км трассы Жабальсраж–Хавак

Расстояние (км)	Координат			$\zeta_{\text{ГНСС/нив}}$ (м)	$\zeta_{\text{XGM2019e}_2159}$	$\Delta\zeta$ (м)	
	φ°	λ°	Высота (м)				
0	35.4746380	69.7967220	2238.834	-28.664	-30.293	1.628	
10	35.5410310	69.8802210	2353.665	-28.052	-29.600	1.548	
22	35.6039030	69.9666570	2518.134	-27.666	-29.314	1.648	
32	35.6597450	70.0574130	2764.832	-27.068	-28.468	1.400	
41	35.7093160	70.1271950	2982.435	-26.704	-28.013	1.310	
49	35.7651370	70.1860190	3488.913	-26.137	-27.404	1.267	
			Среднее	2724.469	-27.382	-28.849	1.467
			Макс.	3488.913	-26.137	-27.404	1.648
			Мин.	2238.834	-28.664	-30.293	1.267
			СКП				0.164

Таблица 4

Статистика влияния рельефа на значения СКП на 50 км трассы Кабул–Турхам

Расстояние (км)	Координат			$\zeta_{\text{ГНСС/нив}}$ (м)	$\zeta_{\text{XGM2019e}_2159}$	$\Delta\zeta$ (м)	
	φ°	λ°	Высота (м)				
0	34.1284364	71.0855664	706.375	-41.834	-42.542	0.708	
9	34.1999181	71.0480871	479.224	-42.032	-42.696	0.665	
19	34.2356420	70.9420502	441.038	-41.611	-42.402	0.790	
33	34.2541226	70.7953948	509.401	-41.043	-41.815	0.772	
38	34.2698613	70.7421114	536.043	-40.794	-41.552	0.758	
50	34.3137576	70.6227246	634.090	-40.467	-40.996	0.530	
			Среднее	551.029	-41.297	-42.001	0.704
			Макс.	706.375	-40.467	-40.996	0.790
			Мин.	441.038	-42.032	-42.696	0.530
			СКП				0.097

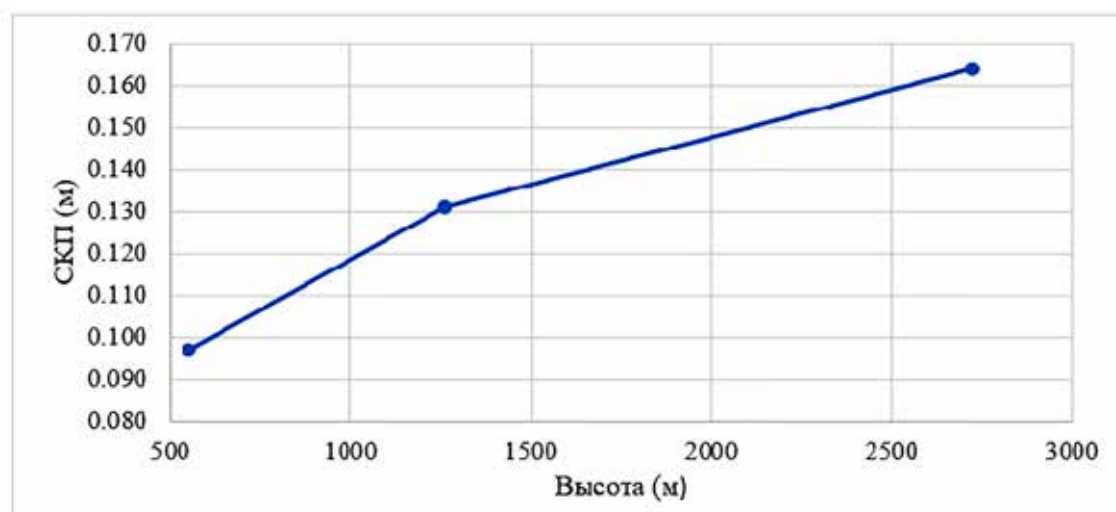


Рис. 7. Влияние рельефа на точность модели геоида

Оценку точности рассматриваемого ГГМ удобнее проводить на участках с максимально однородным полем. Поэтому, если исследуемая область имеет сложную структуру, точность модели следует оценивать по малым частям. На этой основе исследовано влияние топографии на точность модели XGM2019e_2159, на одинаковом расстоянии 50 км и пункты ГНСС/нивелирования, через каждые 10 км, на трассе Бамиан–Баглан, Кабул–Турхам и Жабальсраж–Хавак. В таблицах 2, 3 и 4 показано влияние топографии в районе исследования на значения СКП.

На основе результатов таблиц 3, 4 и 5, взаимосвязь между топографией местности и точностью ГГМ, представлена в виде графика (рис. 7).

Из рисунка 7 видно, что рельеф имеет прямое влияние на точность модели. Для того, чтобы улучшить точность локальной модели геоида с помощью вспомогательных земных измерений, необходимо знать условия рельефа, потому что характер и сложность поля играет важную роль в выборе количества наземных точек.

Заключение

Полученная достоверно измеренная высота геоида на основе ГНСС наблюдения для выполнения задач в сфере геодезической работ в настоящее время является одной из основных комплексных задач. Данное исследование было проведено с целью оценки точности глобальных моделей геоида при выборе наилучшей модели глобального геоида на территории Афганистана и изучения влияния сложности поля на ее точность.

Результат исследования по выбору лучшей модели из таблицы 1 и рисунка 6 показывает, что на территории Афганистана из пяти выбранных ГГМ точность модели XGM2019e_2159 по величине СКП имеет лучший результат по сравнению с другими ГГМ. Значение погрешности модели XGM2019e_2159 на трех трассах составляет 0.010м на километр по сравнению с пунктами ГНСС/нивелирования. Это означает, что можно определить высоту геоида в любой

точке с точностью до 1 сантиметра на каждый километр расстояния от контрольных пунктов ГНСС/нивелирования.

Для проверки влияния рельефа на точность модели геоида применялось почти одинаковое расстояние (50 км) и пункты ГНСС/нивелирования, через каждые 10 км на трех трассах. Численные значения среднего значения СКП модели геоида XGM2019e_2159, полученные в результате предыдущего анализа, из-за неоднородности территории получились разные. Это свидетельствует о том, что точность модели прямо пропорциональна количеству наземных контрольных пунктов и обратно пропорциональна сложности территории.

Список литературы

1. Баранов В.Н., Елшеви М.А., Эль Мокдад Б.Р., Фунг Ч.Т. Исследования по созданию локальных моделей геоида для прибрежных территорий Египта // Успехи современного естествознания. 2021. № 1. С. 32-38.
2. Doganalp S. Geoid height computation in strip-area project by using least-squares collocation. Acta Geodyn. Geomater. 2016. Vol. 13, Is. 2. P. 182.
3. Barthelmes F., Köhler W. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) // Journal of Geodesy. 2016. Vol. 90, Is. 10. P. 907–1205.
4. Al-Krargy E.M., Hosny M.M., Dawod G.M. Investigating the precision of recent global geoid models and global digital elevation models for geoid modelling in Egypt. RN. 2015. Vol. 4, Is. 1. P. 1-12.
5. Шоганбекова Д.А. Разработка алгоритмов вычисления аномалий высот и моделирование гравиметрического геоида Республики Казахстан: дис. ... докт. филос. наук. Алматы, 2015. 123 с.
6. Kvas A., Brockmann J.M., Krauss S., Schubert T., Gruber T., Meyer U., Mayer-Gürr T., Schuh W.D., Jäggi A., Pail R. GOCO06s—a satellite-only global gravity field model // Earth System Science Data. 2021. Vol. 13, Is. 1. P. 99-118.
7. Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M. GRACE measurements of mass variability in the Earth system. Science. 2004. Vol. 305, Is. 5683. P. 503–505.
8. Sadiq M., Ahmad Z. On the selection of optimal global geopotential model for geoid modeling: a case study in Pakistan. Advances in space research. 2009. Vol. 44, Is. 5. P. 627-639.
9. Дмитренко А.П. Современные трансформации определения геоида // Кривой Пог: Минерал. 2012. № 1 (2). С.110-118.
10. Суганпова Л.С. Разработка и исследование методов разномасштабного моделирования геопотенциала: дис. ... докт. тех. наук. Москва, 2018. 325 с.
11. Елшеви М.А. Разработка методики создания модели геоида на территории Египта по данным ГНСС наблюдений на береговых линиях: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2022. 144 с.

СТАТЬЯ

УДК 913(571.13)

DOI 10.17513/use.38044

**ПРИРОДНЫЙ ПАРК РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
«ПТИЧЬЯ ГАВАНЬ» В ГОРОДЕ ОМСКЕ
КАК ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ РЕКРЕАЦИОННАЯ СИСТЕМА****Демешко В.Н.***ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск,
e-mail: demits517@mail.ru*

Статья посвящена уникальному и наиболее известному природному объекту в г. Омске – природному парку регионального значения «Птичья гавань». Излагаются этапы формирования территории «Птичьей гавани» и ее вовлечения в хозяйственную деятельность. Прослеживаются изменения хозяйственного значения территории: промышленного, транспортного и рекреационного использования. Особое внимание уделяется периоду с 1950-х гг. по настоящее время, когда на месте р. Замарайки была возведена дамба автомобильного моста и возникли озера, ставшие местом отдыха и гнездования 155 видов птиц. Это положило начало оценке «Птичьей гавани» как природоохранного объекта: памятника природы (1979–2005 гг.) и природного парка регионального значения (2005 г. – настоящее время). Анализируются данные по рекреационному освоению территории, ее обустройству и созданию новых объектов инфраструктуры. Дается краткая характеристика выделенных функциональных зон: заповедной, познавательного туризма и экскурсий, рекреационной, хозяйственного назначения. Обобщаются основные статистические показатели ее рекреационной и экскурсионной деятельности: число мероприятий и количество посетителей (в том числе с экскурсионными целями). Подробно анализируются подсистемы «Птичьей гавани» как составляющие единой территориальной рекреационной системы: природные комплексы, технические системы, группы отдыхающих, обслуживающий персонал и органы управления. Для каждой из них указаны возможные виды рекреационной деятельности. Выявляются характерные свойства, присущие территориальной рекреационной системе: избирательность, удовлетворенность, комфортность, устойчивость и емкость. Делается вывод о возможности рассматривать «Птичью гавань» как attractive территориальную рекреационную систему, обладающую большим туристско-рекреационным и экскурсионным потенциалом.

Ключевые слова: город Омск, особо охраняемая природная территория, природный парк регионального значения «Птичья гавань», территориальная рекреационная система, природная экскурсия, экологическая тропа

**NATURAL PARK OF REGIONAL IMPORTANCE «BIRD HARBOR»
IN THE CITY OF OMSK AS A TERRITORIAL RECREATIONAL SYSTEM****Demeshko V.N.***Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: demits517@mail.ru*

The article is devoted to the unique and most famous natural object in Omsk – the natural park of regional significance «Bird Harbor». The stages of the formation of the territory of Bird Harbor and its involvement in economic activities are outlined. Changes in the economic significance of the territory: industrial, transport and recreational use are traced. Particular attention is paid to the period from the 1950s to the present, when a dam of a road bridge was erected on the site of the Zamarayki River and lakes appeared that became a resting and nesting place for 155 species of birds. This marked the beginning of the assessment of «Bird Harbor» as a conservation site: a natural monument (1979-2005) and a natural park of regional significance (2005-present). Data on recreational development of the territory, its arrangement and the creation of new infrastructure facilities are analyzed. A brief description of the allocated functional areas is given: conservation, cognitive tourism and excursions, recreational, economic purpose. The main statistical indicators of its recreational and excursion activities are summarized: the number of events and the number of visitors (including for excursion purposes). The Bird Harbor subsystems are analyzed in detail as components of a single territorial recreational system: natural complexes, technical systems, groups of vacationers, maintenance personnel and management bodies. For each of them, possible types of recreational activities are indicated. Characteristic properties inherent in the territorial recreational system are revealed: selectivity, satisfaction, comfort, stability and capacity. It is concluded that it is possible to consider Bird Harbor as an attractive territorial recreational system with great tourist, recreational and excursion potential.

Keywords: city of Omsk, specially protected natural area, natural park of regional significance «Bird Harbor», territorial recreational system, natural excursion, ecological trail

Урбанизация как процесс роста городов и распространения городского образа жизни достигла в первой половине XXI в. огромных масштабов. В настоящее время в городах проживает более 55 % всего населения Земли, а в России эта доля превышает

75 %. При этом урбанизация – это «мощный очаг возмущения и деградации биосферы» [1, с. 76], причина необратимых процессов, трансформирующих окружающую природную среду. Для урбанизированных территорий характерно физическое, химическое

и биологическое загрязнение, разрушение биотопов и сокращение биологического разнообразия.

С другой стороны, многомиллионное городское население нуждается в восстановлении физических и психических сил, что создает потребность в природно-рекреационных территориях. А наблюдающийся сейчас дефицит времени не позволяет жителям города надолго покидать его пределы. Все это делает имеющиеся природные экосистемы с рекреационными возможностями на урбанизированных территориях особенно ценными.

В г. Омске такая экосистема существует в природном парке регионального значения «Птичья гавань». Он расположен на левом берегу р. Иртыш, в 2 км от исторического центра и является наиболее известной в регионе особо охраняемой природной территорией (ООПТ). Его общественная значимость заключается в возможности сочетания разнообразных видов рекреационной деятельности с наблюдением за птицами в естественной среде обитания в пределах миллионного города. Масштабное обустройство «Птичьей гавани» не только сделало ее доступнее для посещения, но и обеспечило необходимой рекреационной инфраструктурой, функциональным зонированием и постоянным административно-хозяйственным сопровождением.

Материалы и методы исследования

Цель работы заключается в изучении истории рекреационного освоения «Птичьей гавани» и ее особенностей как территориальной рекреационной системы (ТРС).

Материалами исследования послужили научная литература, картографические и статистические материалы и результаты научных наблюдений. В работе использовались методы научного описания, системного анализа, обобщения, типологии видов рекреационной деятельности.

Результаты исследования и их обсуждение

Территория, занятая природным парком регионального значения «Птичья гавань», расположена в г. Омске, на левом берегу р. Иртыш, на позднечетвертичной-современной террасовой равнине. В геоморфологическом отношении это чашеобразный участок поймы, наклоненный в сторону речной долины. На раннем этапе своего существования представлял собой заливной луг с типичным для данного биоценоза

биологическим разнообразием. Благодаря естественному выходу подземных вод на поверхность, здесь возникла небольшая река, из-за заболоченных берегов названная впоследствии Замарайка.

С момента основания г. Омска в 1716 г. и до конца XIX в. все прилегающее к Иртышу левобережье не представляло большого хозяйственного интереса и отмечалось на картах как «степь кочующих киргиз-кайсаков». К 1909 г. здесь появляются кирпичный и пивоваренный заводы и несколько дорог, ведущих от переправы через Иртыш к хутору и железнодорожной станции. В 1917 г. эта территория числится за Сибирским казачьим войском в качестве юртового надела. Возможно, основным видом природопользования здесь было сенокосшение, хотя не исключалась и рекреация (рыбная ловля, охота). В период с 1920-х до 1950-х гг. по территории будущей «Птичьей гавани» проходят дороги, соединяющие городскую паромную переправу с селениями и хозяйственными объектами (железнодорожной станцией, колхозом, овчинно-шубным заводом и т.п.). В конце 1950-х гг. земли вокруг Замарайки активно вовлекаются в сельское хозяйство в качестве пастбищ и огородов. В 1959 г. здесь возводится земляная дамба автомобильного моста через Иртыш. В результате этого строительства Замарайка была разделена, что и повлекло за собой возникновение крупного мелководного озера. Его размеры, площадь зеркала, обилие водной растительности и кормовой базы поспособствовало привлечению большого количества птиц. Интенсивный рост индустриального города, транспорта и близкое соседство с аэропортом не препятствовали формированию здесь сложной экосистемы с разнообразной флорой и фауной. К 1979 г. уровень воды в озере снизился, и здесь сформировались три отдельных водоема со своими гидрологическими особенностями. Именно тогда было принято решение придать им статус памятника природы под названием «Птичья гавань» (площадью в 107,2 га). В 1995 г. она становится природным парком регионального значения, площадью 113,05 га. Кроме водоемов в состав ООПТ вошла и вся территория водосбора.

Рекреационная деятельность в то время носила стихийный характер. Прогулочных дорожек было мало, смотровые площадки для наблюдения за птицами отсутствовали. Неорганизованная рекреация стала причиной пожаров, фактора беспокойства, регулярных попыток браконьерского лова рыбы.

В течение 1990-х гг. Омск стал более открытым для отечественных и иностранных туристов. Это способствовало привлечению внимания к «Птичьей гавани» как уникальному природному объекту и важному элементу туристско-рекреационного и экскурсионного потенциала региона. На региональных экологических мероприятиях не раз говорилось о возможности создания в «Птичьей гавани» презентационного центра всех ООПТ Омской области, но и это предложение не было воплощено в должной мере. При этом парк оставался в центре научных исследований, образовательной деятельности и общественного экологического движения [2, с. 100–102].

Важным организационным изменением стало создание в 2007 г. бюджетного учреждения «Природный парк «Птичья гавань» (БУ «ПП «ПГ»») с постоянным штатом сотрудников. Наиболее масштабная реконструкция парка была проведена в 2013 г. по инициативе Министерства природных ресурсов и экологии Омской области. Вокруг озер был прорыт обводной канал для обеспечения необходимого водооборота и снижения эвтрофикации. Построен детский экологический центр. Возведена вышка для наблюдения за птицами («маяк»); пергола; реабилитационный центр для птиц; хозяйственный блок; пешеходные дорожки; смотровая площадка у воды; металлические ограды.

Территория парка была разделена на четыре функциональные зоны: заповедную, познавательного туризма и экскурсий, рекреационную и хозяйственную.

Заповедная зона с площадью в 70 га (61,9% от всей территории) является наиболее крупной. Она занимает центральное положение, охватывая озера, острова между ними и обводной канал. Здесь запрещена всякая хозяйственная (в том числе и рекреационная) деятельность, за исключением проведения научно-исследовательских работ, биотехнических мероприятий, мероприятий по обустройству территории. Назначение заповедной зоны – сохранение природного комплекса и биологического (преимущественно орнитологического) разнообразия.

Зона познавательного туризма и экскурсий компактно расположена на дамбе северо-восточного берега обводного канала. Предназначена для проведения экологических экскурсий. Оборудована экологической тропой с обзорными площадками и схроном для наблюдения за птицами. Посещение ее разрешается только в сопровождении сотрудников БУ «ПП «ПГ»».

Зона хозяйственного назначения расположена к западу от озер. Здесь на ограниченной территории размещены инженерные сооружения (детский экологический центр, реабилитационный центр для птиц, мини-зоопарк, площадка конного клуба, зимняя горка, хозяйственный блок). Рекреация здесь носит культурно-познавательный и отчасти спортивно-оздоровительный характер.

Рекреационная зона располагается в юго-западной части парка. На ее территории имеются детская площадка, мини-парк «Сибирская флора» с представителями растительного мира степной, лесостепной, лесной природных зон; экспозиция декоративных растений, смотровые площадки для наблюдения за птицами. В 2018 г. в парке в этой зоне была оборудована экологическая тропа «По следам пернатых» протяженностью 3 км. Она представляет собой 11 тактильных стендов с информацией о географических особенностях и биоразнообразии «Птичьей гавани». Благодаря этому парк стал еще более привлекательным для экскурсий (в том числе для людей с ограниченными физическими возможностями), а также для закрепления школьниками знаний по биологии и географии [3, с. 68–69]. Все это позволяет считать данную функциональную зону ведущей для культурно-познавательной и прогулочной рекреации.

В настоящее время парк представляет собой полноценную территориальную рекреационную систему (ТРС): территориальную единицу, состоящую из взаимосвязанных элементов (подсистем), способствующих ее рекреационному освоению [4, с. 126]. ТРС в пределах ООПТ может быть представлена как исторически сложившееся сочетание взаимосвязанных разнородных компонентов природоохранной и рекреационной отрасли, сформировавшееся в природно-экологической и социально-экономической среде региона для поддержания превалирующих средообразующих функций территории и комфортных условий выполнения рекреационных функций в пределах ООПТ [5, с. 71].

Каждая из ее подсистем обладает своими особенностями и способствует сохранению ее уникальности и других характерных свойств.

1. Природные комплексы. Парк представляет собой сложную многокомпонентную природно-антропогенную экосистему. Первостепенную роль в ней играет орнитофауна, отличающаяся значитель-

ным видовым разнообразием. Здесь обитает 155 видов птиц (включая пролетных), из них 26 видов занесены в Красные книги Омской области и России. Биотопом для нее выступает система их трех озер, соединенных каналом и частично покрытых водной растительностью; а также прилегающая к парку аэротерия. На территории парка произрастает 214 видов растений, в том числе 10 видов деревьев. Из представителей фауны на территории парка постоянно обитают 11 видов млекопитающих, в основном мышевидных грызунов. Временами заходят степной хорек (*Mustela eversmanii*), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*), колонок (*Mustela sibirica*). Все они ведут скрытный образ жизни и для посетителей большого интереса не представляют.

2. Технические системы. Основная их часть появилась уже после реконструкции. В обобщенном виде их можно разделить на следующие категории: здания и сооружения; малые архитектурные формы (пергола и арт-объекты); смотровые площадки; вышка («маяк»); ограждения; мостики; стенды экологической тропы; детский игровой комплекс; тренажеры для детского фитнеса; лавочки; урны для раздельного сбора мусора; пункты проката инвентаря; площадка конного клуба; деревянная конструкция зимней горки; асфальтированные дорожки; возводимый в зимнее время года ледяной городок.

3. Группы отдыхающих включают в себя несколько категорий. Во-первых, это дети в сопровождении родителей. Их рекреационная деятельность носит игровой, реже прогулочный характер, а в центре активностей находятся детские площадки и малые архитектурные формы. Во-вторых, это спортсмены и физкультурники, использующие территорию для простейших упражнений и тренировок, катания на лыжах, велосипедах, лошадях. Их привлекает обширность

пространства, отсутствие транспорта и большого скопления людей. В-третьих, это пожилые люди и прочие случайные посетители, желающие побыть на природе, прогуляться в относительной тишине и на свежем воздухе. В-четвертых, это участники мероприятий. Это самая многочисленная категория посетителей (табл. 1), и их деятельность определяется тематикой и форматом проводимого мероприятия. Все эти четыре категории рекреантов не ведут целенаправленных наблюдений за птицами. В-пятых, это ученые, студенты естественнонаучных специальностей, посещающие парк с научными и учебными целями. Их наблюдения за природными комплексами ограничиваются тематикой научных и учебных интересов и связаны не только с орнитофауной, но и с другими компонентами природных комплексов (озерами, ландшафтом, флорой, териофауной). В-шестых – туристы и экскурсанты, посещающие парк в сопровождении экскурсовода. Эта категория посетителей наибольшее внимание уделяет ключевым составляющим природного комплекса, наблюдению за птицами, их кормлению и изучению орнитологического разнообразия.

В обобщенном виде различные виды рекреационной деятельности «Птичьей гавани» представлены в табл. 2.

4. Обслуживающий персонал. Эту категорию можно разделить на две подгруппы: постоянный персонал и временный персонал. Постоянный обслуживающий персонал – это сотрудники БУ «ПП «ПГ». Их функции заключаются в обеспечении охраны, обустройства, проведения биотехнических мероприятий, экскурсионного обслуживания. Временный персонал – это организаторы мероприятий, проводимых на территории парка, и волонтеры, проводящие экскурсии по экологической тропе в летний сезон.

Таблица 1

Посещаемость природного парка регионального значения «Птичья гавань» (2017–2022 гг.)

Показатели посещаемости	Годы				
	2017	2018	2020	2021	2022
Общее число мероприятий	17*	117	106	125	116
В том числе экскурсий по экологической тропе	–	65	78	30	29
Общее количество участников	> 7400**	> 7000	3860	3288	2935
В том числе участников экскурсий по экологической тропе	–	1542	1253	614	629

Примечание: составлено автором; * без квестов; ** включая участников квестов.

Таблица 2

Виды рекреационной деятельности природного парка
регионального значения «Птичья гавань»

По мотиву рекреации	По характеру использования рекреационных ресурсов	По сезонности	По видам деятельности
Познавательная	Натуралистическая	Круглогодичная	– Экскурсии по экологической тропе – Самостоятельное изучение информационных материалов экологической тропы – Посещение мини-зоопарка
		Летняя	– Наблюдение за птицами – Наблюдение за растениями
	Культурная	Круглогодичная	– Осмотр малых архитектурных форм
		Зимняя	– Посещение ледяного городка
Оздоровительная и спортивная	Прогулочная	Круглогодичная	– Индивидуальные и семейные прогулки – Детские игры
		Спортивная	– Бег – Ходьба (спортивная и скандинавская)
	Спортивная	Летняя	– Катание на велосипедах и самокатах – Детский фитнес – Конный клуб
		Зимняя	– Катание с горки – Катание на лыжах и коньках

Примечание: составлено автором.

5. Орган управления. «Птичья гавань» – это единственная ООПТ в Омской области, для оперативного управления которой было создано отдельное бюджетное учреждение (БУ «ПП «ПГ»). Оно является подразделением областного Министерства экологии и природных ресурсов, которое обеспечивает стратегическое управление природным парком и, в свою очередь, подведомственно Правительству региона.

ТРС «Птичьей гавани» формирует не только наличие вышеуказанных элементов, но и существующих между ними тесных взаимосвязей. Это обеспечивает целостность системы: природную, территориальную и административную. Одновременно с этим парку присуще заметное функциональное разнообразие. Оно не исчерпывается природоохранной и рекреационной деятельностью. Для Омска «Птичья гавань» стала эстетическим и творческим пространством, находящимся в центре внимания широкой общественности.

Природная динамика здесь обусловлена в первую очередь сезонностью, годовыми изменениями в численности особей и видовым составом орнитофауны. Естественные миграции птиц заметно влияют на интерес к парку со стороны рекреантов. В осенне-зимнее время большая часть отдыхающих

предпочитает посещать городские парки культуры и отдыха, и для их привлечения необходимо организовывать дополнительные мероприятия.

Как и любая ТРС, «Птичья гавань» обладает рядом характерных свойств.

Во-первых, это избирательность. У парка сложилась сравнительно устойчивая целевая аудитория и ограниченный перечень рекреационной деятельности, присущий ее природоохранному статусу. С одной стороны, парк является открытым публичным пространством, всегда доступным для посещения; с другой – ограниченный набор допустимых видов рекреационной деятельности существенно лимитирует его реальную посещаемость.

Во-вторых, это удовлетворенность. Приведенная в табл. 1 статистика и личные наблюдения за рекреантами позволяют констатировать заметный интерес к парку со стороны граждан, что говорит о выполнении «Птичьей гаванью» возложенных на нее общественных функций.

В-третьих, это комфортность, достигнутая благодаря масштабной реконструкции. Дорожно-тропиночная сеть сделала доступными для посещения все достопримечательные объекты, а инфраструктура расширила разнообразие рекреационной

деятельности. В результате возросла аттрактивность территории, а также ее пейзажное разнообразие.

В-четвертых, это устойчивость. На территории парка отсутствуют признаки рекреационной дигрессии, эрозии и денудации почв. Акватории водоемов получают достаточно воды для сдерживания эвтрофикации; орнитоценоз сохраняет видовое биоразнообразие. Все это позволяет считать экосистему «Птичьей гавани» находящейся в состоянии экологического гомеостаза.

В-пятых, это емкость. Природоохранный статус «Птичьей гавани» заметно влияет на это свойство, делает ее ниже, чем на других рекреационных территориях. Но, по нашим наблюдениям, пребывание здесь рекреантов, как правило, непродолжительное.

Из четырех основных функциональных типов ТРС (лечебного, оздоровительного, спортивного и познавательного), «Птичья гавань» относится к познавательному типу, основной функцией которого является удовлетворение духовных потребностей человека посредством наблюдения за природой.

Заключение

Обобщая вышесказанное, отметим, что природный парк регионального значения «Птичья гавань» является полноценной ТРС со всеми присущими ей элементами и свойствами и сложной системой взаимосвязи между ними. По нашему мнению, ее экологическая уникальность выгодно дополняется аттрактивностью и высоким разнообразием рекреационных возможностей. Это делает парк перспективным для даль-

нейшего позиционирования Омской области как туристской дестинации и развития на ее территории экологического туризма. «Птичья гавань» – это важнейший элемент экологического каркаса г. Омска, пример эффективного обустройства ООПТ в условиях высокоурбанизированной среды, что особенно важно для реализации концепции устойчивого развития.

Проведенное исследование позволяет увидеть заметный социальный эффект от создания ТРС на основе уникальной природной территории, их положительное влияние на рекреационную привлекательность г. Омска. Такая ТРС вносит в культуру отдыха новые смыслы в виде познания окружающей природной среды, формирования экологической культуры и приобщения к общечеловеческим ценностям.

Список литературы

1. Поздняков А.Л., Самохвалов А.М. Урбанизация и ее влияние на экологию городов и поселений // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 6 (57). С. 74–78.
2. Кассал Б.Ю., Кассал Д.Б. Учебно-воспитательная работа в Омском областном клубе натуралистов «Птичья гавань» // Омский научный вестник. 2015. № 3 (139). С. 100–103.
3. Ершова З.О., Демешко В.Н. Использование экологической тропы в школьном курсе географии (на примере природного парка регионального значения «Птичья гавань» в городе Омске) // Инновационная экономика и общество. 2020. № 3 (29). С. 64–73.
4. Идилов И.И. Управление развитием территориальных рекреационных систем: обзор современных подходов // Вестник Академии знаний. 2019. № 35 (6). С. 125–129.
5. Воронина А.Б. Особенности организации территориальной рекреационной системы на особо охраняемых природных территориях Республики Крым // Современные проблемы сервиса и туризма. 2015. Т. 9, № 1. С. 70–77.

СТАТЬЯ

УДК 551.345

DOI 10.17513/use.38045

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ****Калабина М.В.***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва,
e-mail: kalabina.mariya@yandex.ru*

В статье рассматриваются оттаивающие грунты как современное актуальное направление исследований в области инженерной геокриологии и механики грунтов. Приведены свойства оттаивающих грунтов, выявлены их сходства и различия с тальми и мерзлыми грунтами, а также выделены их собственные специфические особенности. Установлены основные факторы, определяющие процесс оттаивания, и их взаимное влияние. Исследования механических свойств грунтов проводились по стандартным методикам. Для создания простого напряженно-деформированного состояния выбраны компрессионные и сдвиговые испытания, для создания сложного напряженно-деформируемого состояния использован метод трехосного сжатия. Оттаивающие грунты как отдельное направление исследований рассматриваются относительно недавно, и нормативные документы по определению их деформируемости и прочности еще находятся на стадии разработки. Для исследования свойств оттаивающих грунтов методом трехосного сжатия была предложена новая методика, разработанная на основе теоретических знаний, экспериментальных данных и уже существующих нормативных документов для талых и мерзлых грунтов. В статье описаны результаты лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов при оттаивании при различных видах нагружения, проведено их сравнение. В ходе исследований установлены особенности поведения оттаивающих грунтов при нагружении.

Ключевые слова: оттаивающие грунты, напряженно-деформируемое состояние, деформируемость грунтов, прочность грунтов, трехосное сжатие оттаивающих грунтов

**LABORATORY STUDIES
OF MECHANICAL PROPERTIES OF THAWING SOILS****Kalabina M.V.***Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: kalabina.mariya@yandex.ru*

The article represented thawing soils as modern actual science research direction in engineering geocryology and soils mechanic. The article review thawing soils properties describe similarities and differences between melt and frozen soils and underline their own specific features. We indicate the main factors and their combination defining thawing process. We use standard methods to define mechanical properties of soils. Compression and shear tests are used to create simple one-dimensional stress-strain; and triaxial tests – to complex volumetric stress-strain. Thawing soils is new science direction and standard document are under the stage of development. The article represented new method of conducting triaxial tests on thawing soils, based on theoretical knowledge, experimental data and state standards for melt and frozen soils. The article describes and compare the results of laboratory research of physical and mechanical properties of thawing soils in various loading types. We represent the experimental data of deformation and strength of thawing soils under conditions of simple and volumetric stress state.

Keyword: thawing soils, stress-strain state, soil deformation, soil strength, triaxial tests on thawing soils

Оттаивающие грунты – частое и распространенное явление при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений в криолитозоне и вне ее. Оттаивающие грунты представляют собой высокодинамичные системы, которые постоянно находятся в неравновесном состоянии, и любое, даже незначительное внешнее воздействие – температурное или механическое – способно вывести эту систему из равновесия [1]. Установление закономерностей поведения таких грунтов осложнено многообразием сочетания влияющих факторов, определяющих процессы в грунтах. Вклад некоторых факторов, а также их сочетание невозможно оценить не только количественно, но иногда и качественно [2, 3]. К таким факторам относятся гранулометрический и ми-

неральный состав, криогенное строение, теплофизические и физико-химические характеристики, структурно-текстурные особенности, внешние условия и т.д. В дополнение к этому происходит постоянное изменение параметров системы в связи с протеканием различных внутренних процессов. Также оттаивающие грунты сочетают в себе признаки мерзлых и талых грунтов, при этом одновременно и существенно отличаясь от них. Поведение оттаивающих грунтов определяется главным образом содержанием и распределением льда и воды в их составе [4]. Лед, особенности его расположения, его количество и его изменения и перемещения при повышении температуры определяют физические свойства и механическое поведение грунтов при оттаива-

нии. В процессе оттаивания льда мерзлый прочный грунт с льдо-цементационными кристаллизационными связями между частицами [1] может переходить в полужидкие грунтовые массы, со значительным количеством воды. Количество льда и воды играет определяющую роль в процессе деформирования и потери прочности грунта при оттаивании [5, 6].

Также оттаивающие грунты имеют и свои специфические особенности, это пониженная плотность, повышенная влажность, избыточное поровое давление, повышенная водопроницаемость, наличие следов первичного криогенного строения. В связи с этим использование норм проектирования для мерзлых и талых грунтов в случае оттаивающих грунтов применимо только для решения ограниченного круга вопросов.

В инженерной практике свойства оттаивающих грунтов долгое время не учитывались [5] и исключались из рассмотрения в связи с их высокой деформируемостью и низкой несущей способностью по сравнению с мерзлыми и талыми грунтами, а следовательно, и их непригодностью к использованию в качестве основания сооружения. Однако интенсивное освоение территорий Арктики – развитие нефтегазовой промышленности и транспортной сети [6, 7], а также переход к повсеместному строительству, без исключения участков со сложными инженерно-геологическими условиями, привели к выделению данного направления исследований. И начиная с 2000-х гг. идет интенсивное рассмотрение данного вопроса. Кроме того, актуальность данного направления исследований связана с повышением интереса к проблеме изменения климата [8, 9], обеспечения устойчивости, а также адаптации существующей инфраструктуры Севера.

Основная цель работы заключается в установлении закономерностей поведения

грунтов в различных инженерно-геокриологических обстановках. Достоверный прогноз деформируемости и несущей способности грунтов оснований требует определения напряженно-деформируемого состояния грунтов в мерзлом, талом и оттаивающем состоянии. Таким образом, заблаговременное определение особенностей поведения грунтов в новом и переходном (оттаивающем) состоянии позволит избежать катастрофических инженерных проблем.

Установление закономерностей механического поведения оттаивающих грунтов возможно только на основе экспериментальных данных с упором на теоретические знания в области механики грунтов и инженерной геокриологии. В связи с этим разрабатываются новые методики лабораторного определения параметров и установления механического поведения грунтов.

Материалы и методы исследования

В природном массиве грунты в каждой точке всегда подвергаются воздействию различных по величине и направлению сил.

Исследования напряженно-деформированного состояния оттаивающих грунтов проводят в условиях простого и сложного нагружения. При простом нагружении проводят компрессионные испытания и опыты на сдвиг [10–13], при сложном нагружении – испытания на трехосное сжатие [10]. Испытания проводились в лаборатории механики грунтов кафедры геокриологии МГУ в 2022–2023 гг.

Метод компрессионных испытаний и метод определения сопротивления сдвигу являются достаточно простыми, широко распространенными, известными и закрепленными в нормативных документах методами испытаний [5, 10, 14, 15]. Примеры представления данных испытаний приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

Данные компрессионных испытаний оттаивающих грунтов (суглинок, при влажности $W = 25\%$)

Суглинок		$W = 25\%$			
№	σ , МПа	ϵ , д.е.	A, д.е.	a, МПа-1	E, МПа
0	0	0	0,124	0,110	3
1	0,050	0,081			
2	0,100	0,093			
3	0,150	0,100			
4	0,200	0,120			
5	0,250	0,125			

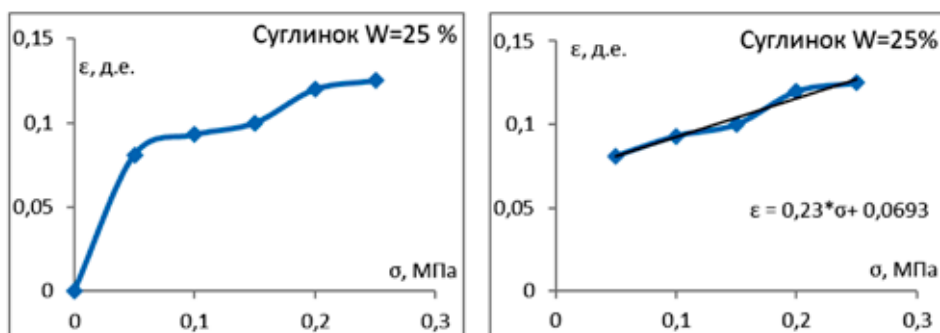


Рис. 1. График зависимости относительной деформации образца суглинка ($W = 25\%$) от нагрузки в компрессионном приборе

Таблица 2

Данные испытаний на сдвиг оттаивающих грунтов (суглинок, при влажности $W = 25\%$)

Суглинок	$W = 25\%$		
σ , МПа	τ , МПа	ϕ , град	c , МПа
0,050	0,054	23,0	0,034
0,100	0,070		
0,150	0,092		

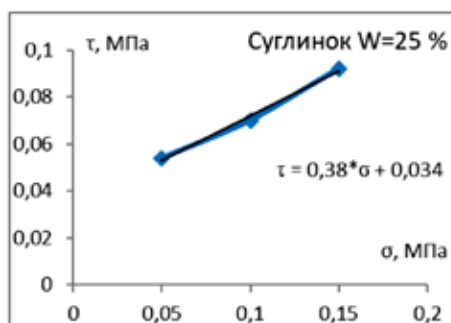


Рис. 2. График зависимости сопротивления срезу оттаивающего суглинка ($W = 25\%$) от нормального давления в опытах на сдвиг

Грунтовый массив в естественных условиях характеризуется сложным объемным напряженным состоянием. Для воссоздания таких условий в лаборатории использовался стабилометр (рис. 3). Сложное НДС моделировалось в камере прибора трехосного сжатия, приложением на образец объемных и вертикальных сил. Данный метод испытаний для оттаивающих грунтов является новым, он еще не стандартизирован и не нормирован. Таким образом, для испытаний оттаивающих грунтов разработана и пред-

ложена новая методика, в основе которой лежат принципы, теоретические знания и технические требования уже существующих нормативов.

Для наиболее точного моделирования процесса оттаивания в камере трехосного сжатия для проведения испытаний выбрана схема неконсолидированного-недренированного испытания. Особенностью данной схемы является то, что в камере прибора проводилось одновременное оттаивание и нагружение грунтового образца без уплотнения грунта и без оттока влаги. Характер деформирования и разрушения грунтового образца в процессе испытаний приведен на рис. 4.

Испытания проводились на модельных искусственных грунтах, изготовленных из пасты с заданными показателями влажности и плотности. Для проведения опытов выбраны грунты трех видов: пески, супеси, суглинки – каждый из которых испытывался при двух значениях влажности. Образцы изготавливались цилиндрической формы высотой 100 мм и диаметром 50 мм. Размеры образцов выбраны исходя их технических особенностей прибора, условий испытания (всесторонняя нагрузка на образец передавалась водой с температурой $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, испытание проводилось на изначально мерзлом образце вне морозильной камеры). В процессе опыта проводилось оттаивание и разрушение образцов грунта. Начальная температура грунтовых образцов составляла минус $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Процесс оттаивания начинался уже с подготовки грунтового образца и установки его в камеру трехосного прибора. На первом этапе опыта воссоздавалось природное напряженно-деформируемое состояние – проводилось всестороннее обжатие образца грунта.

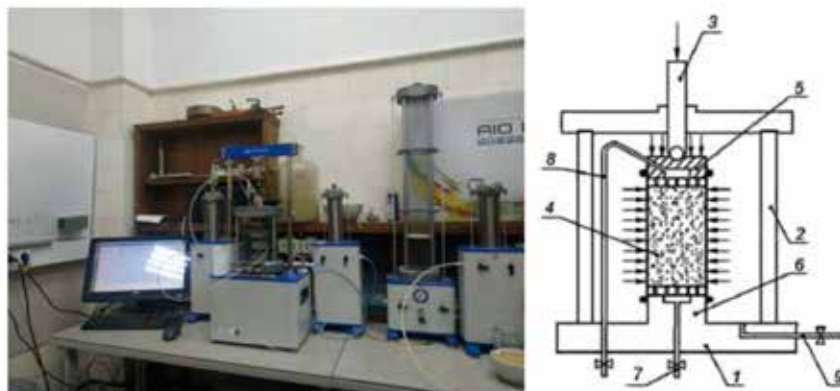


Рис. 3. Прибор для испытания грунта методом трехосного сжатия:
 1 – основание камеры; 2 – корпус камеры, 3 – шток; 4 – образец грунта в оболочке; 5 – верхний штамп; 6 – нижний штамп; 7, 8 – системы дренажа; 9 – магистраль давления в камере [10]



Рис. 4. Образец грунта в процессе испытания на трехосное сжатие

Давление реконсолидации при этом выбрано в соответствии с ГОСТ [10], равное полному вертикальному давлению от собственного веса в точке грунтового массива – выбрана средняя глубина слоя сезонного оттаивания – 2,5 м. Время реконсолидации составляло в среднем 30 мин. Оно установлено экспериментально на основе данных о теплофизических свойствах и среднем времени оттаивания грунтовых образцов заданного размера.

На втором этапе проводилось разрушение образца грунта приложением постоянной вертикальной нагрузки со скоростью 0,35 мм/мин. Данная скорость также была установлена экспериментально, на основе данных по времени оттаивания образцов и

данных нормативных документов [10, 11]. В ходе всего испытания контролировались такие параметры, как температура, всесторонняя и вертикальная нагрузка, поровое давление, вертикальные и объемные деформации. В результате в ходе обработки данных получены данные по деформируемости и прочности грунтов, результаты приведены в табл. 3 и на рис. 5.

Таким образом, для определения прочностных и деформационных характеристик были проведены испытания оттаивающих грунтов при простом и сложном нагружении: простое нагружение включало в себя такие методы, как компрессия и сдвиг; сложное нагружение – испытания методом трехосного сжатия.

Таблица 3

Данные испытаний оттаивающих грунтов на трехосное сжатие (суглинок, при влажности $W = 25\%$)

Суглинок	W = 25%			
Модуль общей деформации	Параметр	Параметр	Удельное сцепление	Угол внутреннего трения
E0, МПа	M	N	C, МПа	φ, град
6	0,115	2,399	0,037	27

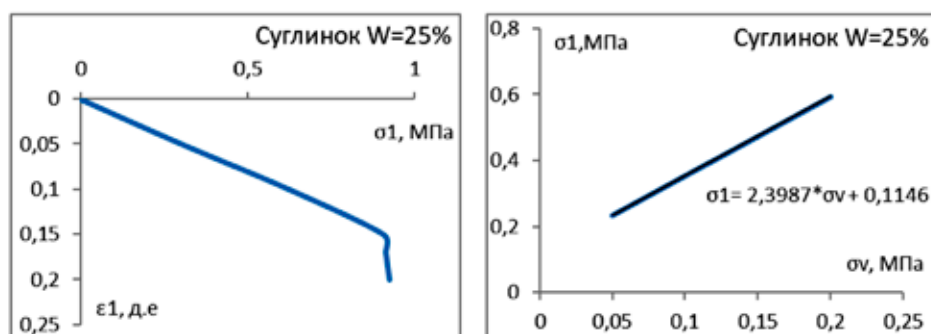


Рис. 5. Результаты испытаний грунтов на трехосное сжатие для суглинка при $W = 25\%$:

- А. График зависимости вертикальной относительной деформации ϵ_1 от разницы вертикального и объемного напряжений $\sigma_1 - \sigma_v$;
 Б. График зависимости вертикальных напряжений σ_1 от объемных σ_v

Таблица 4

Физические свойства исследуемых грунтов

Вид грунта	Плотность ρ , г/см ³	Плотность твердых частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Влажность на пределе раскатывания, W_p , д.е.	Влажность на пределе текучести, W_L , д.е.
Супесь	1,98	2,70	0,140	0,200
Суглинок	1,98	2,71	0,180	0,280
			Полная влагоемкость W_{tot} , д.е.	
Песок	1,98	2,66	0,250	
Вид грунта	Плотность ρ , г/см ³	Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см ³	Влажность на пределе раскатывания W_p , д.е.	Влажность на пределе текучести W_L , д.е.
Супесь	1,98	2,70	0,140	0,200
Суглинок	1,98	2,71	0,180	0,280
			Полная влагоемкость W_{tot} , д.е.	
Песок	1,98	2,66	0,250	

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения лабораторных испытаний были выявлены закономерности изменения прочностных и деформационных свойств в зависимости от вида грунта (дисперсности) и его влажности; а также рассмотрен вид нагружения, выделены преимущества и недостатки лабораторных методов исследования. Физические свойства грунтов приведены в табл. 4.

При проведении компрессионных испытаний установлено увеличение коэффициента оттаивания и увеличение модуля деформации в ряду песок – супесь – суглинок. Также при увеличении влажности наблюдается увеличение коэффициента оттаивания, коэффициента сжимаемости и модуля

деформации. Результаты компрессионных испытаний приведены в табл. 5.

Компрессионные испытания просты в проведении и позволяют в короткие сроки оценить деформационные свойства исследуемых грунтов. Но они имеют несколько недостатков – неучет трения грунта о боковые стенки одометра и неравномерное распределение

При проведении сдвиговых испытаний получено, что с увеличением влажности показатели прочности уменьшаются. В ряду песок – супесь – суглинок прослеживается закономерность снижения угла внутреннего трения и увеличение сцепления. Угол внутреннего трения уменьшается, так как уменьшаются силы трения грунтовых частиц за счет уменьшения размеров частиц и увеличения количества контактов между ними.

Таблица 5

Результаты компрессионных испытаний оттаивающих грунтов

Грунт	Влажность	Коэффициент оттаивания	Коэффициент сжимаемости	Модуль деформации
	W, д.е.	A, д.е.	a, МПа-1	E, МПа
Песок	0,150	0,06	0,07	11
	0,250	0,08	0,04	18
Супесь	0,140	0,03	0,13	6
	0,200	0,08	0,12	7
	0,250	0,18	0,15	7
Суглинок	0,180	0,05	0,32	3
	0,250	0,12	0,11	3
	0,280	0,08	0,21	4

А увеличение сцепления происходит, так как увеличивается количество связанной воды в исследуемых грунтах при переходе от песков к супесям и суглинкам. Сцепление грунтов уменьшается более интенсивно с увеличением дисперсности, в то время как трение между частицами растет пропорционально возрастанию касательного напряжения. Получаемые в ходе опытов на сдвиг параметры минимальны для данного грунта, поскольку срез происходит в наиболее ослабленной и наиболее обводненной зоне, но в природном массиве могут быть более высокие значения прочностных характеристик, так как при простом нагружении нет бокового и объемного нагружения. Также недостатком данного метода является неравномерное распределение напряжений в грунтовом образце, сопровождающееся его местным смятием. Зазор между кольцами не всегда совпадает с толщиной скашиваемой зоны образца. Основная сложность данного метода заключается в правильном выборе момента приложения сдвигающего усилия, поскольку постоянно изменяется величина оттаявшего слоя и положение границы талый – мерзлый слой. Результаты испытаний на сдвиг приведены в табл. 6.

При оценке результатов экспериментов на трехосное сжатие выявлены те же закономерности изменения параметров прочности и деформируемости, что и при простом нагружении. Но установлены некоторые расхождения в значениях параметров. Метод трехосного сжатия оттаивающих грунтов является перспективным, так как в процессе испытаний возможно определить и прочностные, и деформационные показатели свойств. Но методика проведения опытов требует доработок и закрепления в государственных стандартах. Результаты испы-

таний грунтов методом трехосного сжатия приведены в табл. 7.

Таблица 6

Результаты испытаний оттаивающих грунтов на сдвиг

Грунт	Влажность	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление
	W, д.е.	φ, град	c, МПа
Песок	0,150	39	0,008
	0,250	35	0,003
Супесь	0,140	32	0,038
	0,200	24	0,036
	0,250	21	0,026
Суглинок	0,180	29	0,046
	0,250	23	0,034
	0,280	22	0,031

В ходе испытаний установлено, что механические свойства функционально связаны с дисперсностью, влажностью и плотностью грунтов. При повышении дисперсности грунтов (при переходе от песков к суглинкам) происходит уменьшение модуля деформации от 15 до 4 МПа, уменьшение угла внутреннего трения от 38° до 23°, увеличение сцепления от 0,005 до 0,035 МПа. При увеличении влажности происходит увеличение модуля деформации: для песков от 12 до 19 МПа, для супесей – от 7 до 9 МПа, для суглинков от 4 до 6 МПа; уменьшение угла внутреннего трения: для песков от 39° до 35°, для супесей – от 32° до 21°, для суглинков от 30° до 23°; и уменьшение сцепления в песках от 0,009 до 0,030 МПа, в супесях – от 0,040 до 0,030 МПа, в суглинках – от 0,045 до 0,031 МПа.

Таблица 7

Результаты испытаний оттаивающих грунтов на трехосное сжатие

Грунт	Влажность	Модуль деформации	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление
	W, д.е.	E, МПа	φ , град	c, МПа
Песок	0,150	12	41	0,010
	0,250	20	37	0,005
Супесь	0,140	7	34	0,042
	0,200	9	27	0,039
	0,250	9	24	0,030
Суглинок	0,180	5	32	0,049
	0,250	6	27	0,037
	0,280	7	25	0,035

В целом при использовании схем простого и сложного нагружения получены схожие показатели свойств. Но при испытаниях грунтов методом трехосного сжатия получены более высокие значения параметров. Так, модуль деформации выше, чем при компрессии, что связано с тем, что в данном случае на грунт действует всесторонняя объемная нагрузка, т.е. воздействуют большие величины напряжений. Прочностные параметры также выше, так как при трехосном испытании разрушение фиксируется во всем объеме грунтового образца, тогда как при срезе плоскость сдвига фиксированная и проходит по наиболее слабой переувлажненной зоне. Но различия в значениях параметров несущественные, что доказывает целесообразность использования методов простого и сложного нагружения в лабораторных условиях.

Заключение

В ходе работ подтверждено наличие специфических свойств оттаивающих грунтов, влияющих на их механическое поведение. Были рассмотрены различные методики проведения лабораторных испытаний, выявлены их преимущества и недостатки. Предложена новая методика по определению показателей свойств оттаивающих грунтов – в испытаниях на трехосное сжатие. Получены характеристики деформационных и прочностных свойств, сопоставимые с результатами испытаний по нормируемым методикам.

В ходе проведения испытаний грунтов подтверждено, что для поведения оттаива-

ющих грунтов характерны общие закономерности поведения талых и немерзлых грунтов. Однако выявлено и влияние их специфических особенностей. В результате получены более высокие показатели деформируемости и низкие показатели прочности грунтов. При этом установлено, что поведение грунтов при оттаивании определяется первоначальным составом, строением, состоянием и свойствами мерзлых грунтов.

Список литературы

1. Роман Л.Т., Котов П.И., Царапов М.Н. Модуль деформации мерзлых грунтов при компрессионных испытаниях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 5. С. 35–40.
2. Царапов М.Н., Котов П.И. Свойства мерзлых грунтов при оттаивании // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 9. С. 31–34.
3. Кальбергенов Р.Г., Котов П.И., Царапов М.Н. Определение деформационных характеристик оттаивающих грунтов методом трехосного сжатия // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. № 1. С. 28–32.
4. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1973. 448 с.
5. Гречищев С.Е. Физико-механические свойства оттаивающих ледогрунтов // Криосфера Земли: история и перспективы. 2004. Т. VIII, № 4. С. 47–52.
6. Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск – Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера земли: история и перспективы. 2016. Т. 20, № 2. С. 69–77.
7. Воронцова С.Д. Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру в Арктической зоне и на территориях распространения вечной мерзлоты // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2017. № 4 (71). С. 33–39.
8. Ашпиз Е.С., Вавринюк Т.С. Расчет деформаций насыпей в районах мерзлоты // Мир транспорта. 2016. № 3. С. 102–107.
9. Брушков А.В. Глобальные изменения окружающей среды, реакция криолитозоны и устойчивость инженер-

ных сооружений // Инженерные изыскания. 2015. № 14. С. 4–17.

10. ГОСТ 12248.3-2020. Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия. М.: Стандартинформ, 2020. 35 с.

11. ГОСТ 53582-2009. Грунты. Метод определения сопротивления сдвигу оттаивающих грунтов. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.

12. Мельников Р.В. Компрессионные испытания грунта как способ определения параметров модели Hardening Soil // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2014. № 4. С. 90–94.

13. Пособие по определению физико-механических свойств промерзающих, мерзлых и оттаивающих дисперсных грунтов / Роман Л.Т., Царапов М.Н. и др. М.: Университетская книга, 2018. 188 с.

14. Котов П.И. и др. Влияние условий оттаивания и вида испытаний на деформационные характеристики оттаивающих грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. № 5. С. 8–13.

15. Тер-Мартirosян А.З., Мирный А.Ю., Сидоров В.В. Лабораторные испытания грунтов в Московском государственном строительном университете (МГСУ-МИСИ) // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 60–65.