

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

**КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО.
ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЛОГИЯ**

Научный журнал

Том 10 (76). № 4

Журнал «Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология» является историческим правопреемником журнала «Ученые записки Таврического университета», который издается с 1918 г.

**Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2024**

ISSN 2413-1717

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ №ФС77 – 61806 от 18 мая 2015 года Выдано
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций

**Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

**«Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» Печатается по
решению Научно-технического совета**

ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», протокол № 6 от «08» октября 2024 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, группа научных специальностей
1.6.7. Инженерная геология, мерзотоведение и грунтоведение (географические науки),
1.6.9. Геофизика (геолого- минералогические науки), 1.6.12. Физическая география и
биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки),
1.6.13. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география
(географические науки), 1.6.14. Геоморфология и палеогеография (географические науки),
1.6.21. Геоэкология (географические науки), а также в систему «Российский индекс
научного цитирования» (РИНЦ).

Адрес учредителя и издателя: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика
Вернадского, д. 4.

**Редакционная коллегия журнала «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. География. Геология» (утверждена решением
Научно-технического совета Крымского федерального университета
имени В. И. Вернадского, протокол №2 от «14» марта 2023 г.)**

Главный редактор – Вахрушев Борис Александрович, д. г. н., профессор

Аркадьев В.В., д.г.-м.н, профессор

Амеличев Г.Н., к. г. н., доцент

Боков В.А., д. г. н., профессор

Вольфман Ю.М., д. г.-м. н.,
профессор

Вольхин Д.А., к.г.н. (ответственный
секретарь)

Воронин И.Н., д. г. н., профессор

Дружинин А.Г., д. г. н., профессор

Ергина Е.И., д. г. н., профессор

Ибрагимов А. И. Оглы, д.г.н,
профессор (Азербайджан)

Кочуров Б.И., д.г.н., профессор

Линник В.Г., д.г.н, с.н.с.

Лисецкий Ф.Н., д.г.н., профессор

Никитина М.Г., д. г. н., д. э. н., профессор

Плохих Р.В., д.г.н., доцент (Казахстан)

Позаченюк Е.А., д. г. н., профессор

Попкова Л.И., д. г. н., доцент

Пустовитенко Б.Г., д. ф.-м. н., с.н.с.

Райко Гнято, д.г.н., профессор
(Республика Сербская)

Совга Е.Е., д.г.н., с.н.с.

Старожилов В.Т., д.г.н., профессор

Страчкова Н.В., к. г. н., доцент

Холопцев А.В., д. г. н., профессор

Шаповалов Ю.Б., д.г.-м.н., с.н.с.

Швец А.Б., к. г. н., доцент

Юдин В.В., д.г.-м.н., профессор

Яковенко И.М., д. г. н., профессор

Подписано в печать _____.2024. Формат 70x100/16 Объем 12,8 усл. п. л. Заказ № _____. Цена: Бесплатно.
Тираж ____ экз. Дата выхода в свет _____.2024 Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4
Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес типографии: 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7 <http://sn-geography.cfuv.ru>

РАЗДЕЛ 1.
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 528.92; 168.522

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ КАРТ DEEP MAPPING-ФОРМАТА С
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Андрющенко И. А.¹, Володин А. Н.², Кравченко И. В.³, Яковлев А. Н.⁴

*^{1,2,3,4}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь,
Российская Федерация*

*E-mail: ¹winter301@yandex.ru, ²stburah@gmail.com, ³zx3com@gmail.com,
⁴andrey_yakovlev84@list.ru*

В статье рассматривается инновационный подход к созданию картографических моделей пространства — Deep Mapping, а также его прикладной потенциал. Эта технология позволяет пересмотреть традиционные приемы создания картографических описаний местности и представить новую, более гибкую, стратегию исследования территории. Представлены результаты работы по созданию прототипа электронного каталога архитектурных объектов, относящихся к санаторно-курортному комплексу Южного берега Крыма советского периода и обладающих историко-культурной значимостью, на основе технологии Deep Mapping.

Ключевые слова: Deep Mapping, природный и культурный ландшафт, советский санаторно-курортный комплекс, пространственная модель, ГИС-технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Глубокое картографирование или Deep Mapping своей генеалогией уходит в популярные интеллектуальные течения, начавшиеся в зарубежной Европе в пятидесятых годах прошлого века. Их общей целью была ревизия, переосмысление существующих концепций в географии, в результате которой была сформирована новая «оптика» пространства, объединяющая объективно-вещественный аспект географического знания и его субъективно-эмоциональную сторону. Ставка делалась на эмоционально-чувственное восприятие территории и/или её отдельных компонентов, объектов, присущих ей процессов и явлений. По мнению исследователей вопроса становления формата Deep Mapping картирования — М. Пирсона и М. Шэнкса, представители данного течения делали акцент на фиксации и демонстрации неоднородности пространства, стохастическую нестабильность его слоёв, перетекания исторических напластований в контуры современного ландшафта, многообразие его чувственных интерпретаций [1]. Картирование формата Deep Mapping довольно активно развивается в последние годы на западе и уже сегодня признаются «важным следующим шагом» в изучении гуманитарных дисциплин и подходах картографирования территорий [2]. Глубинная карта не дает стандартного представления о местности или объекте; напротив, отображает присущую этому месту нестабильность, способствует постоянному развитию его индивидуальности и способности раскрывать

исторический и современный опыт человечества. Действительно, территория, местности, отдельные объекты не отличаются стабильностью; они динамичны и по-разному воспринимаются разными людьми и даже в разное время. Карта Deep Mapping отражает изменчивую идентичность территории и стремится визуализировать множественные смыслы и идентичности, которые влияют на восприятие места человеком [3].

Кроме вышеупомянутых М. Пирсона и М. Шэнкса, известными представителями направления Deep Mapping картографирования стали: Л. Роберто, Д. Боденхаммер, Т. Харис, Д. Тейлор и другие [3, 4, 5, 6].

Вопреки распространённой версии сугубо «западного» происхождения идеи привнесения в географическое знание эмоционально-чувственной компоненты, похожая работа проводилась и в отечественной географической науке. Результатами научной рефлексии стали: теория геокультуры (Максаковский В.П., Замятин Д.Н.), фокусирующая внимание на процессах и результатах появления и морфологии географических образов в конкретной культуре, а также на генезисе традиции осмысления этих образов в рамках обыденного и научного знания; литературная география (Лавренова О.А.) — направление, изучающее географические образы в русской художественной литературе; концепция геопоэтики (Сид И.О.) — заявка на новый междисциплинарный подход, который сочетает элементы географии, поэзии и философии для изучения взаимосвязи между местами, ландшафтами и человеческим опытом; ментальная и этнологическая география (Любичанковский А.В.) — это географический подход, который фокусируется на изучении пространственных различий в поведении человека и свойств пространственного восприятия в ментальности, исследует общественно-географические факторы и особенности формирования, воспроизводства и трансформации ментальности и другие [7, 8, 9, 10, 11].

По нашему мнению, на современном этапе формат Deep Mapping-картографирование, является оптимальным технологическим фреймворком отображения собранных по заранее разработанной методике данных культурологического характера, способным обеспечить получение качественно нового материала. Формат Deep Mapping позволяет пересмотреть традиционные подходы к созданию картографических описаний местности и представить новую, более гибкую, стратегию исследования территории. Таким образом, Deep Mapping можно рассматривать как пограничный между искусством и наукой феномен [5]. Однако, по нашему мнению, работу с Deep Mapping форматом картографирования (архивные данные, задокументированные свидетельства памяти отдельных людей и сообществ, художественные образы: в живописи, фотографиях, фильмах, литературе и т.д.) целесообразно сочетать с подачей картографических материалов, отображающих традиционные геокомпоненты (климат, орография, ландшафт, социальная инфраструктура и т.д.), представленных отдельными слоями по средствам ГИС-картографических программ. При этом существует довольно распространённое мнение многих энтузиастов Deep Mapping-картографии о том, что традиционные ГИС с их акцентом на точные измерения в рамках построения пространственных моделей, не подходят для создания карт формата Deep Mapping.

Представители подобного методического правила утверждают, что ГИС формирует взгляд на физическую среду, лишённую культурных предпосылок, позволяют нам знать, где что-то происходит, но не говорит нам ничего о значении происходящего [5]. Тем не менее помимо выше упомянутых характеристик, глубокая карта может быть представлена одновременно в нескольких диспозициях — платформы, процесса, продукта — и/или одновременно объединять их.

Главное в ГИС — это создание электронных карт, как множества слоев — пространственно-информационных моделей, функциональным назначением которых является объединение объектов, имеющих общие свойства. Каждый слой может быть связан с любым объектом и нести информационную нагрузку любого содержания, качества и характерного свойства объекта. На данный момент, задачи и возможности ГИС выходят за пределы информационно ёмкой картографии, выступая базой данных, основой для интеграции географических и других междисциплинарных знаний и результатов комплексных, системных исследований.

Наиболее перспективным и оптимальным для пилотного исследования в направлении сочетания ГИС-технологий и глубинного картирования, по нашему мнению, являются объекты санаторно-курортного комплекса Республики Крым советского периода. Так как данные объекты аккумулируют в себе огромный ресурс коллективной и индивидуальной памяти, а также смену поколений, стиля жизни и потребностей, восприятия пространства и исторических реалий.

Путем актуализации воспоминаний, фотографий, архивов, картин, письменных текстов и других материалов, совмещенная с классическими геоданными и картографическими материалами отображающих характеристику орографии, климата, ландшафта, геоэкологической обстановки, особенностей социально-экономической инфраструктуры, отдельные знаковые природные и социальные явления, существующих природно-географических и историко-культурных дестинаций, может быть воссоздана сложная картина географической, исторической и культурологической динамики объекта и местности, дополняемая современным материалом.

Таким образом, *целью* нашей междисциплинарной работы, географов и культурологов, является обоснование подходов, поиск технических решений и комбинирование в единую базу данных разрозненных множеств, как стандартной географической, историко-культурной информации, так и нестандартных наиболее динамичных индивидуальных и/или коллективных «образов» о территориях или отдельных объектах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках проекта был выбран трансдисциплинарный подход к организации научно-исследовательского процесса. Он используется в современной науке в качестве более высокого этапа междисциплинарных исследований, не ограничивается междисциплинарными отношениями, а существует в рамках глобальной системы, без строгих границ между дисциплинами. Этот подход ориентирован на получение предельно разносторонней информации об

исследуемом объекте с последующей интеграцией полученных знаний в единую информационно-когнитивную модель.

Также была востребована логика ландшафтного подхода. Он выводит на передний план исследовательской работы совокупность приёмов в географических, социальных и экономических исследованиях, в основу которых положено представление о дифференцированности пространственной среды на динамически неравновесную систему природных и антропогенных комплексов разного масштаба, влияющих друг на друга и связанных совокупностью сложноорганизованных процессов в пределах ландшафтной сферы.

Непосредственно технология Deep Mapping, карты подобного формата — это набор мультимедийных изображений пространств и людей, зданий, объектов, флоры и фауны, которые существуют в определенной локации и неотделимы от действий повседневной жизни. Этот материал может охватывать убеждения, желания, эмоции жителей и наглядно представлять, как пространства связаны одно с другим. Deep Mapping-карта — это визуальноразноплановый, структурно открытый, мультимедийный и многослойный комплекс данных, передающих не только объективные пространственные условия пребывания объектов, но и обратную реакцию пользователей, степень вовлеченности объектов в их повседневную жизнь.

Создание прототипа цифрового каталога архитектурных объектов в первую очередь предполагает изучение их пространственно-географических характеристик, раскрываемых посредством применения современных ГИС и картографических программ, позволяющих создавать и редактировать картографические модели.

Совокупность разрабатываемых цифровых картографических моделей формируют в перспективе серию интерактивных карт — «Атлас санаторно-курортных архитектурных объектов Крыма советского периода». Главная цель создания атласа — углубление изучения пространственно разрозненных объектов санаторно-курортного комплекса советского периода, консолидация множественных данных об этих объектах в многослойных цифровых картографических моделях.

Технология Deep Mapping допускает, в отличие от классического картографирования, максимальное расширение вовлеченности пользователей в насыщение картографического материала собственными данными, фотографиями, воспоминаниями и наблюдениями, и другим аутентичным контентом.

Каждый слой карты может нести определенную картографическую нагрузку, отражающую особенности исследуемых объектов, их отдельные характеристики и специфику местонахождения.

Цифровое картографирование захватывает следующие темы:

- особенности размещения и региональной концентрации санаторно-курортных архитектурных объектов;
- историко-культурные и архитектурные особенности и ценность;
- степень сохранности и современные процессы ревалоризации;
- временная динамика выполняемых санаторно-курортных функций и современная специализация;

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ КАРТ DEEP MAPPING-ФОРМАТА С ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

- различные метрические характеристики (размеры, вместимость, обеспеченность фондами реализации санаторно-курортной деятельности и др.);
- место объекта в формировании современного социокультурного пространства региона; транспортная и иные формы доступности объекта и т.д.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Актуальные технологии цифровизации определяют качественно новое направление в области сохранения, ревалоризации и ревитализации объектов культурного наследия. Уникальные историко-культурные условия Республики Крым характеризуются высокой концентрацией памятников культуры и значимых архитектурных объектов.

Современность диктует запрос на построение новых концепций исследования и экспозиции объектов культурного наследия, способствующих развитию рекреационной отрасли региона, выводящих его на новый социально-экономический уровень. Два последних десятилетия, в том числе и период эпидемиологических ограничений, заострили наше внимание на потенциале цифровой трансформации и гибридном переносе/замещении/дублировании социальных, экономических, политических и культурных структур и практик в электронное измерение. Локальной производной этого масштабного процесса является построение «цифрового двойника» фрагмента крымского культурного ландшафта. По причине повсеместного распространения информационных технологий современные пользователи нуждаются в новых доступных интерфейсах, позволяющих взаимодействовать с виртуальными артефактами материальной и нематериальной культуры, включая их в различные сценарии использования — развлекательные, познавательные, профессионально-экспертные, научно-исследовательские.

Проект направлен на решение следующей проблемы: разрозненность, неоднородность, отсутствие цифровых данных о культурных ландшафтах Республики Крым с высоким рекреационным потенциалом, отсутствие интеграции этих данных в единую платформу, позволяющую популяризировать объекты крымской рекреации, прежде всего те, которые были построены и введены в эксплуатацию в эпоху СССР.

Создание цифрового каталога, обеспечивающего доступ к цифровой модели крымского санаторно-курортного архитектурного ландшафта советского периода, позволяет найти новые пути вовлечения заинтересованной аудитории в локальном, региональном и национальном масштабе в процесс развития рекреационного потенциала крымского региона, тем самым раскрывая его скрытые возможности и выстраивая новое пространственное видение курортной инфраструктуры Крыма.

Позитивные тенденции в развитии рекреационного, историко-культурного туризма и курортной отрасли Республики Крым определяют следующие исследовательские задачи:

1. Выявить особенности использования ГИС-технологий и технологий цифрового моделирования при создании набора графической информации о пространственных историко-культурных объектах (памятники, строения, иные

архитектурные формы), входящих в номенклатуру региональной санаторно-курортной архитектуры советского периода.

2. Создать электронную ресурсную платформу, работающую по принципу каталога, хранящую картографические модели и источники данных, раскрывающие специфические детали истории и характерные особенности актуального состояния советской санаторно-курортной индустрии.

3. Благоприятно повлиять на интенсификацию процесса развития санаторно-курортного комплекса за счет актуализации регионального культурно-символического капитала.

Советская санаторно-курортная индустрия представляет собой сложную систему, включившую в себя не только архитектурный, но и человеческий, культурно-символический и управленческий ресурс, поддерживавшую непрерывное потоковое состояние этого ресурса и его воспроизводство.

На подготовительном этапе работ произошел отбор совокупности архитектурных объектов, относящихся к санаторно-курортному комплексу Крымского полуострова, построенных и введенных в эксплуатацию в период существования Советского Союза, для дальнейшего исследования, сбора данных, моделирования и картографирования. Подготовительный этап включил в себя: определение критериев отбора отдельных объектов для дальнейшего описания.

4. Проведение научных исследований с целью получения массива первоисточников, содержащих информацию об избранных объектах.

5. Определение свойств и характеристик архитектурной составляющей санаторно-курортного ландшафта Крыма советского периода, его пространственный анализ.

6. Составление сопроводительных описаний, включающих в себя историю создания культурно-исторических объектов, этапы функционирования, конструктивные особенности, информацию о персоналиях, и т.д.

7. Сбор данных культурологического и антропологического характера, раскрывающих отношение местного населения и гостей Крыма к особенностям советской курортной инфраструктуры и демонстрирующих специфику этого восприятия.

По итогам проведенной работы были выбраны такие объекты, как пансионат «Семидворье» (Алушта), гостиница «Ялта-Интурист» (Ялта), санаторий «Курпаты» (Ялта), и собраны вышеперечисленные данные для наполнения прототипа.

На втором этапе данные были подвергнуты обработке: средствами объемного моделирования удалось получить ряд трехмерных объектов, которые можно использовать для прототипа. Также было подобрано фотосопровождение, используемое для реалистичной передачи общего плана фрагмента культурного ландшафта. В набор для прототипа вошли модели зданий, карта окружающего пространства, общая панорамная модель.

На третьем этапе с помощью ГИС-технологий была создана интерактивная цифровая карта, предоставляющая сведения об объектах посредством перехода по ссылкам на сервер прототипа (адрес: <https://snegur-maps.ru/hotels>). Карта, созданная по технологии Deep Mapping, представляет собой набор информационных слоев,

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ КАРТ DEEP MAPPING-ФОРМАТА С ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

привязанных к единому окну доступа. Слои карты отвечают за пространственное отображение объектов, их связь, координаты, характерное место в структуре культурного ландшафта, функциональную значимость, топографическую привязку в культурно-символическом поле горожан.

ВЫВОДЫ

Исследовательской группой была разработана схема критериев отбора отдельных архитектурных объектов для дальнейшего сбора данных. Для прототипа были выбраны такие объекты как: пансионат «Семидворье» (Алушта), гостиница «Ялта-Интурист» (Ялта), санаторий «Курпаты» (Ялта). К этим объектам был привязан набор сопроводительных описаний. Разработана картосхема расположения исследуемых объектов, а также база текстовых данных, включающая описания исторического, географического, культурологического характера, и содержащую информацию об особенностях обыденного восприятия рекреационно-санаторной архитектуры советского периода. На последующем этапе была создана теоретическая модель крымского санаторно-курортного архитектурного ландшафта, сложившегося в советский период. Структура и программные характеристики прототипа интерактивного каталога (в форме открытой веб-платформы) предлагается реализовать в виде базы мультимедиа-данных (фото-, видеоматериалы, анимация), имеющих отношение к истории и действительному состоянию архитектурных объектов.

Основные обобщающие результаты исследования:

1. Опытным путем были установлены возможности и риски трансдисциплинарных исследований в области создания цифровой модели архитектурного ландшафта и создания интернет-каталога (содержащего разнородные данные) с целью сохранения и развития культурного капитала региона, популяризации рекреационных возможностей Крыма.

2. Полученный массив данных об объектах и модельные компоненты могут быть использованы для реанимации исторической памяти, привлечения внимания молодежной аудитории к ранее неизвестным достижениям советской эпохи, развития новых туристических продуктов, нестандартных форм продвижения объектов санаторно-курортного комплекса, основанных на синтезе традиций и инноваций.

3. На практике подтверждено, что Deep Mapping-картографирование представляет собой инновационную возможность актуализации объектов санаторно-курортного комплекса региона.

4. Впервые в российской научно-исследовательской практике была использована технология Deep Mapping для построения прототипа «цифрового двойника» архитектурного наполнения курортно-рекреационного сегмента культурного ландшафта Крыма.

5. В качестве прототипа была создана электронная ресурсная платформа, позволяющая реализовывать несколько сценариев работы с исследуемыми объектами, расположенными на карте и содержащими информацию о своей истории и современном состоянии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 24-28-20502 «Создание прототипа цифрового каталога санаторно-курортных архитектурных объектов советского периода по технологии Deep Mapping».

Список литературы

1. Pearson M., Shanks M. (2001). *Theatre/Archaeology*. London: Routledge. Также см. Bodenhamer, D. J. (2008). *Creating a Landscape of Memory*. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 1(2), 97–110.
2. Bodenhamer D. J., Corrigan J., Harris T.M., ed., *Deep Maps and Spatial Narratives* (Bloomington: Indiana University Press, 2015).
3. Taylor J.E., Gregory I.N. (2022) *Deep Mapping the Literary Lake District: A Geographical Text Analysis*. Lewisburg, PA: Bucknell University Press.
4. Roberts L. *Cinematic Cartography: Projecting Place through Film* / In *Mapping Cultures: Place, Practice, Performance*. Edited by Les Roberts. Basingstoke: Palgrave, 2012, pp. 68–84
5. Bodenhamer D., Corrigan J., Harris, T.M. *Making Deep Maps: Foundations, Approaches, and Methods*. London: Routledge, 2022. 200 p.
6. Bodenhamer D. J., Corrigan J., Harris T.M. *Deep Mapping and the Spatial Humanities* // *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 7.1-2 (2013), 170–175.
7. Максаковский В.П. *Географическая культура: учебное пособие для студентов вузов*. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1998. 416 с.
8. Замятин Д.Н. *Культура и пространство: Моделирование географических образов*. М.: Знак, 2006. 488 с.
9. Лавренова О.А. *Географическое пространство в русской поэзии XVIII – начала XX вв.: (Геокульт. аспект)* / Лавренова О. А.; М-во культуры РФ, РАН, Рос. НИИ культ. и природ. наследия. М.: Наследие: Рос. НИИ культ. и природ. наследия, 1998. 95 с.
10. Сид И.О. «Геопоэтика: прошлое, настоящее и будущее дисциплины» / «Геопоэтика: история и перспективы концепта». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rgo.ru/activity/lecture-halls-list/moscow-lecture/geopoetika-proshloe-nastoyashchee-i-budushcheedistsipliny/?ysclid=m3ywmgvvwyx825938143> (дата обращения 19.09.2024)
11. Любичанковский А.В. «Геоэтологическая концепция: к исследованию ментальности населения». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rgo.ru/en/node/54255> (дата обращения 24.09.2024)

TO THE QUESTION OF INTEGRATION OF DEEP MAPPING FORMAT MAPS WITH GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

Andryushchenko I. A.¹, Volodin A. N.², Kravchenko I. V.³, Yakovlev A. N.⁴

¹Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

E-mail: ¹winter301@yandex.ru,

²stburah@gmail.com,

³zx3com@gmail.com,

⁴andrey_yakovlev84@list.ru

Deep Mapping has its genesis in popular intellectual movements that began in foreign Europe in the fifties of the last century. Their common goal was to revise and rethink existing concepts in geography, which resulted in the formation of a new optics of space that unites the objective-material aspect of geographical knowledge and its subjective-emotional side. The emphasis was on the emotional-sensory perception of the territory and/or its individual components, objects, processes and phenomena inherent in it. At the present stage, the Deep Mapping format is an optimal technological framework for

displaying cultural data collected according to a pre-developed methodology, capable of obtaining qualitatively new material. The Deep Mapping format allows us to reconsider traditional approaches to creating cartographic descriptions of the area and to present a new, more flexible strategy for exploring the territory. Thus, Deep Mapping can be considered as a phenomenon on the border between art and science. However, in our opinion, it is advisable to combine work with the Deep Mapping mapping format (archival data, documented evidence of the memory of individuals and communities, artistic images: in painting, photographs, films, literature, etc.) with the presentation of cartographic materials displaying traditional geocomponents (climate, orography, landscape, social infrastructure, etc.), presented in separate layers by means of GIS mapping programs. At the same time, there is a fairly widespread opinion among many Deep Mapping enthusiasts that traditional GIS with their emphasis on precise measurements within the framework of constructing spatial models are not suitable for creating Deep Mapping format maps. Within the framework of the project, a transdisciplinary approach to organizing the research process was chosen. It is used in modern science as a higher stage of interdisciplinary research, is not limited to interdisciplinary relations, but exists within the framework of a global system, without strict boundaries between disciplines. This approach is aimed at obtaining the most comprehensive information about the object under study with subsequent integration of the obtained knowledge into a single information-cognitive model.

The logic of the landscape approach was also in demand. It brings to the forefront of research work a set of techniques in geographical, social and economic studies, which are based on the idea of the differentiation of the spatial environment into a dynamically nonequilibrium system of natural and anthropogenic complexes of different scales, influencing each other and connected by a set of complex processes.

The creation of a prototype of a digital catalog of architectural objects primarily involves the study of their spatial and geographical characteristics, revealed through the use of modern GIS and cartographic programs that allow you to create and edit cartographic models.

The set of developed digital cartographic models in the future form a series of interactive maps — "Atlas of sanatorium and resort architectural objects of the Crimea of the Soviet period". The main goal of creating the atlas is to deepen the study of spatially disparate objects of the health resort complex of the Soviet period, to consolidate multiple data on these objects in multilayer digital cartographic models.

The research group developed a scheme of criteria for selecting individual architectural objects for further data collection. For the prototype, the following objects were selected: or such objects as: The Semidvorie boarding house (Alushta), The Yalta-Intourist hotel (Yalta), The Kurpaty sanatorium (Yalta) were selected. A set of accompanying descriptions was attached to these objects. The researchers formed a map diagram of the location of the objects under study, as well as a text database, including descriptions of a historical, geographical, cultural nature, and containing information on the features of everyday perception of the recreational and health resort architecture of the Soviet period. Then, a theoretical model of the Crimean health resort architectural landscape that developed during the Soviet period was created. The research group defined the structure

and software characteristics of the interactive catalog prototype (in the form of an open web platform), which will contain a multimedia database (photos, videos, animations) related to the history and actual state of architectural objects. As a result, with the involvement of GIS technologies, a central map with object labels was created, integrated into the prototype and ready for use at the address: <https://snegur-maps.ru/hotels>.

Keywords: Deep Mapping, natural and cultural landscape, Soviet health resort complex, spatial model, GIS-technologies.

References

1. Pearson M., Shanks M. (2001). Theatre/Archaeology. London: Routledge. Также см. Bodenhamer, D. J. (2008). Creating a Landscape of Memory. International Journal of Humanities and Arts Computing, 1(2), 97–110.
2. Bodenhamer D. J., Corrigan J., Harris T.M., ed. Deep Maps and Spatial Narratives (Bloomington: Indiana University Press, 2015).
3. Taylor J.E., Gregory I.N. (2022) Deep Mapping the Literary Lake District: A Geographical Text Analysis. Lewisburg, PA: Bucknell University Press.
4. Roberts L. Cinematic Cartography: Projecting Place through Film / In Mapping Cultures: Place, Practice, Performance. Edited by Les Roberts. Basingstoke: Palgrave, 2012, pp. 68–84
5. Bodenhamer D., Corrigan J., Harris, T.M. Making Deep Maps: Foundations, Approaches, and Methods. London: Routledge, 2022. 200 p.
6. Bodenhamer D. J., Corrigan J., Harris T.M. Deep Mapping and the Spatial Humanities // International Journal of Humanities and Arts Computing, 7.1–2 (2013), 170–175.
7. Maksakovskiy V.P. Geograficheskaya kul'tura: uchebnoye posobiye dlya studentov vuzov. M.: Gumanit. izd. tsentr VLADOS, 1998. 416 s. (in Russian)
8. Zamyatin D. N. Kul'tura i prostranstvo: Modelirovaniye geograficheskikh obrazov. M.: Znack, 2006. 488 s. (in Russian)
9. Lavrenova O.A. Geograficheskoye prostranstvo v russkoy poezii XVIII – nachala XX vv.: (Geokul't. aspekt) / Lavrenova O. A.; M-vo kul'tury RF, RAN, Ros. NII kul't. i prirod. naslediya. M.: Naslediye: Ros. NII kul't. i prirod. naslediya, 1998. 95 s. (in Russian)
10. Sid I.O. «Geopoetika: proshloye, nastoyashcheye i budushcheye distsipliny» / «Geopoetika: istoriya i perspektivy kontsepta». [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://rgo.ru/activity/lecture-halls-list/moscow-lecture/geopoetika-proshloe-nastoyashchee-i-budushcheedistsipliny/?ysclid=m3ywmgvwyx825938143> (data obrashcheniya 19.09.2024)
11. Lyubichankovskiy A.V. «Geoetologicheskaya kontseptsiya: k issledovaniyu mental'nosti naseleniya». [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.rgo.ru/en/node/54255> (data obrashcheniya 24.09.2024).

Поступила в редакцию 25.10.2024 г.

УДК 914:314.04

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Вольхин Д. А.¹, Тростина А. С.²

^{1,2}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

E-mail: ¹lomden@mail.ru

Дана общественно-географическая характеристика основных демографических процессов в Республике Башкортостан, их территориальной дифференциации, динамики и трансформации за период 2010–2022 гг. Выявлена внутрирегиональная территориальная дифференциация демографических процессов. Выделены две части региона, которые отличаются друг от друга по масштабам и интенсивности демографических процессов — муниципалитеты центра, северо-запада региона и муниципалитеты юга, юго-востока, востока региона. По динамике демографических процессов выделены 4 типа муниципальных образований Республики Башкортостан, в которых наблюдается демографическая ситуация с тенденцией улучшения, с тенденцией ухудшения, ситуация с колеблющимися демографическими показателями и муниципалитеты, где демографическая ситуация длительное время неблагоприятная. Рассмотрены направления улучшения демографической ситуации для различных типов муниципалитетов региона.

Ключевые слова: демографический процесс, рождаемость, смертность, естественный прирост, демографическая ситуация, типы муниципалитетов, Республика Башкортостан.

ВВЕДЕНИЕ

Характер демографических процессов является важным фактором и индикатором социально-экономического развития региона. Последние несколько десятилетий демографические проблемы были характерны для России в целом, однако они имеют региональную и внутрирегиональную специфику, которую важно учитывать в демографической политике. Республика Башкортостан относится к субъектам Российской Федерации, где наблюдается смена ранее относительно благоприятной демографической ситуации на негативные тенденции воспроизводства населения, особенно в отдельных её районах, отличающихся географическим положением и особенностями социально-экономического развития. В связи с этим *целью исследования* является общественно-географическое изучение современных демографических процессов в Республике Башкортостан для уточнения их территориальных особенностей и поиска направлений улучшения демографической ситуации для различных типов муниципалитетов региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретико-методической основой работы являются научные разработки следующих исследователей: по теории географии населения — Ковалёва С.А. [1], Покшишевского В.В. [2], Слуки А.Е. [3] и др.; по региональной географии населения Башкирии — Закирова И.В. [4], Ростовской Т.К. [5], специалистов

Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук и Института стратегических исследований Республики Башкортостан и др.

Под демографическим процессом понимается последовательность демографических событий в жизни людей, имеющая значение для смены их поколений [6].

Выявление территориальных особенностей демографических процессов является классическим сюжетом геодемографических исследований. Суть географического подхода в изучении демографических процессов состоит в реализации следующих исследовательских задач:

1) выявление территориальной дифференциации демографических процессов, т.е. изменений их качественных и количественных характеристик от места к месту на различных пространственных уровнях (в разрезе населенных пунктов, муниципалитетов, районов, регионов, стран, их групп и континентов);

2) исследование влияния природных, социокультурных и экономических свойств территории на особенности демографических процессов;

3) исследование влияния демографических процессов на социально-экономическое развитие различных территорий (регионов, государств и т.д.).

Информационную основу исследования составили данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан, База данных показателей муниципальных образований Росстата, Переписи населения на территории республики за 2010 г. и 2020 г. (фактически — 2022 г.); официальные сайты Правительства Башкортостана, документы стратегического планирования; специализированная научная литература по теме исследования и открытые источники в сети Интернет. Основные показатели демографических процессов рассматриваются в разрезе муниципальных районов и городских округов Республики Башкортостан в период с 2010 по 2023 гг., в том числе по ежегодным данным Росстата.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика демографических процессов в Республике Башкортостан в 2010–2023 гг. Текущая демографическая ситуация в Республике Башкортостан имеет много общих черт с общероссийской ситуацией, что проявляется в ухудшении показателей рождаемости, смертности, естественного прироста, брачности и разводимости. При этом региону удается демонстрировать показатели естественного движения населения в расчете на 1000 жителей на более благоприятном уровне, по сравнению с показателями по России и Приволжскому федеральному округу (табл. 1).

В динамике основных демографических процессов можно выделить следующие региональные особенности Республики Башкортостан (рис. 1). В период с 2010 по 2016 год в регионе число родившихся превышало число умерших, что определяло в этот период положительный естественный прирост населения. Подобная ситуация выделяла Башкирию на российской демографической карте, на которой большая часть регионов характеризуется депопуляцией.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Таблица 1.

Показатели естественного движения Республики Башкортостан в сравнении с показателями России и Приволжского федерального округа, 2023 г.

Территория	Показатели (чел./1000 чел. населения)		
	Рождаемость	Смертность	Естественный прирост
Россия	8,7	12,0	-3,3
Приволжский ФО	8,1	13,0	-4,9
Республика Башкортостан	8,7 (36/3)	11,7 (61/13)	-3,0 (25/2)

* в скобках показано место в России/Приволжском ФО

Составлено авторами по данным Росстата.

С 2014 г. в республике начался период снижения рождаемости, эта тенденция остается неизменной к настоящему моменту. За период с 2014 г. по 2023 г. показатель рождаемости сократился почти на 60%, каждый последующий год значения этого показателя становилось всё ниже — обновлялся антирекорд постсоветского периода.

В результате соотношения показателей рождаемости и смертности в 2017 г. демографы Башкирии впервые за многие годы (с 2009 г.) зафиксировали естественную убыль в регионе, которая в 2023 г. составила 12,3 тыс. чел. или -3,0%.

Отмеченная негативная тенденция естественной убыли населения в Башкирии, как и в других регионах страны, скачкообразно ухудшилась под влиянием пандемии «Covid-19», когда в 2020–2021 гг. смертность в этом регионе возросла до 60–66 тыс. чел. за год (рис. 1А), но в 2022–2023 гг. этот показатель сравнялся и даже фиксировался ниже «доковидного» периода.

В ближайшее десятилетие в Республике Башкортостан тенденция ухудшения демографической ситуации будет связана с динамикой половозрастных характеристик населения, т.к. произойдет смена разных по численности населения возрастных когорт — демографические пики сменяются демографической «ямой», число женщин в фертильном возрасте будет сокращаться, что негативно отразится на всех демографических процессах в регионе (рис. 2).

Кроме сугубо воспроизводственных процессов (динамика половозрастной структуры, усиление старения населения, завершение перехода к современному типу воспроизводства и др.), неблагоприятное влияние на динамику демографической ситуации в Башкирии оказывают миграционный отток населения республики в другие регионы России и зарубежные страны, снижение уровня социально-экономического развития в целом ряде муниципалитетов в последние годы, в том числе по сравнению с соседними регионами Поволжья и Урала, напряженная экологическая обстановка в отдельных крупных промышленных центрах и районах, что отмечается рядом исследователей [4, 8, 9].

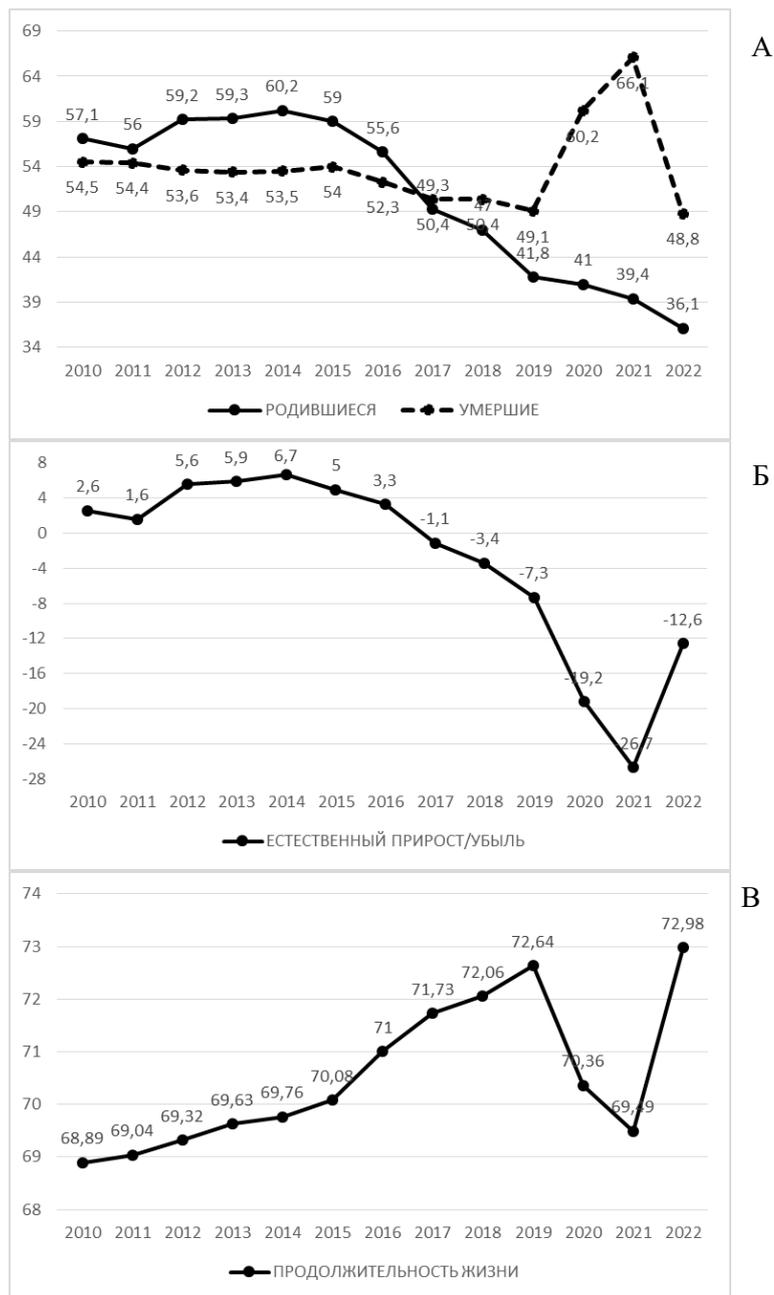


Рис. 1. Динамика основных демографических процессов в Башкортостане в 2010–2022 гг.: А — число родившихся и умерших, тыс. чел., Б — естественного прироста, тыс. чел., В — ожидаемая продолжительность предстоящей жизни, число лет.

Составлено авторами по [7].

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

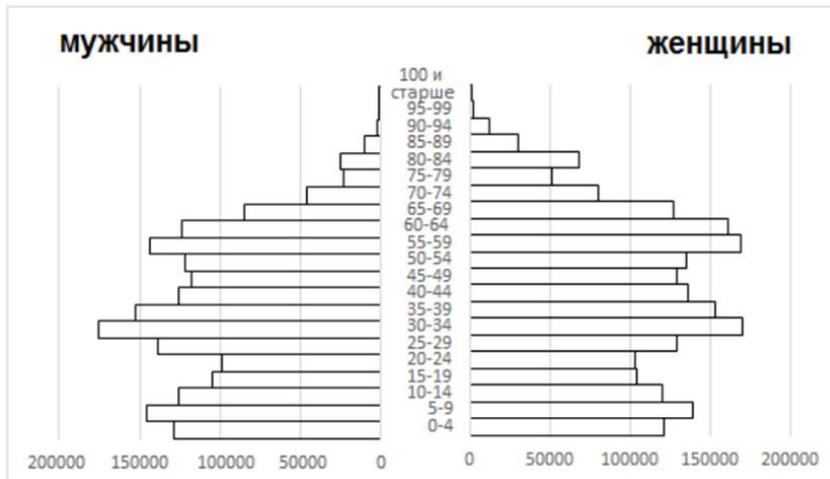


Рис. 2. Половозрастная пирамида населения Республики Башкортостан по результатам Всероссийской переписи населения 2020 г. [7].

Территориальная структура демографических процессов в Республике Башкортостан. В Башкортостане можно выделить две территории, которые отличаются друг от друга по масштабам и интенсивности демографических процессов. Первый субрегион — это муниципалитеты центра и северо-запада региона, которые представляют собой более плотно заселенную территорию с наличием крупных городов и регионального центра г. Уфа (с населением свыше 1 млн чел.), с более высоким уровнем развития хозяйства, преобладанием отраслей промышленности в структуре хозяйства и полиэтничной структурой населения. В этой части формируется основной демографический потенциал республики по абсолютным значениям демографических показателей, однако, относительные показатели (коэффициенты рождаемости, смертности, естественного прироста) существенно ниже по сравнению с более сельской частью региона. Второй субрегион республики — юг, юго-восток и восток региона, который охватывает менее заселенные и освоенные, преимущественно сельские муниципалитеты с относительно высокой долей башкирского этноса в структуре населения. В этой группе муниципалитетов проживает существенно меньше населения, но относительные демографические показатели, как правило, более позитивные, чем в муниципалитетах первого субрегиона.

Межмуниципальные контрасты демографических процессов в Башкирии велики: например, общий коэффициент рождаемости колеблется в пределах 5,5–14,7‰ (рис. 3.), общий коэффициент смертности — 8,1–19,2‰ (рис. 4), коэффициент естественного прироста изменяется в пределах +3,2 – -11,7‰ (рис. 5).

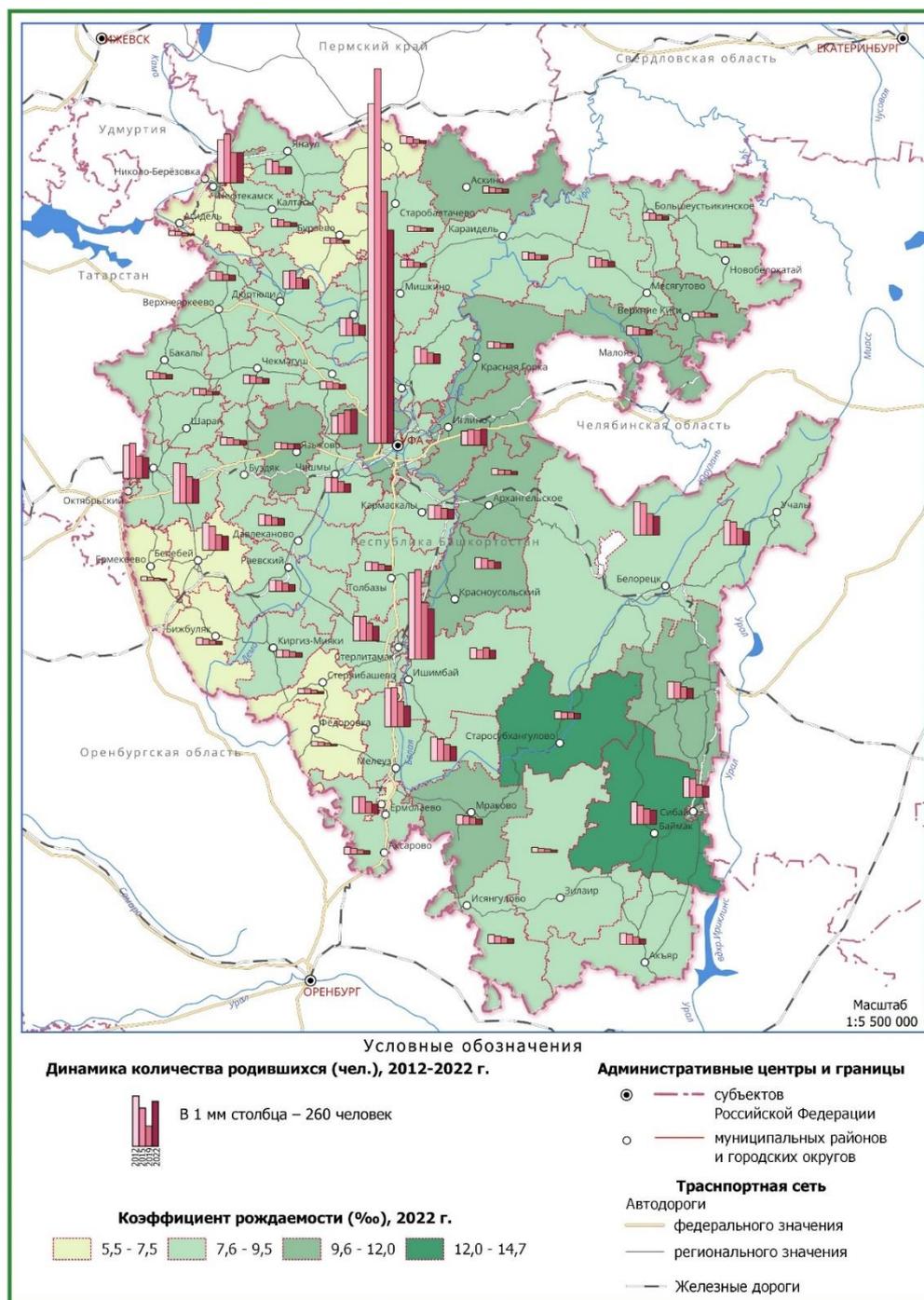


Рис. 3. Рождаемость в Республике Башкортостан, на период с 2012 г. по 2022 г.

Составлено авторами по [7].

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Общий коэффициент рождаемости существенно выше среднего показателя по Республике Башкортостан в 2022 г. отмечался в Бурзянском (14,7‰), Баймакском (12,7‰) и Абзелиловском (11,2‰) муниципальных районах, которые расположены на юго-востоке региона. Эти же районы по данным Всероссийской переписи населения–2020 характеризуются высокой долей башкир в структуре населения — 70–93%. Относительно высокие показатели рождаемости также отмечаются в центральной части республики, в муниципалитетах, близких к столичной Уфе — Иглинский (11,3‰), Уфимский, Благоварский районы; а также в Аскинском районе, граничащем с Пермским краем, и Салаватском районе, граничащем с Челябинской областью. Эта группа районов отличается более сложной этнической структурой населения, основу которой формируют три доминирующих этноса — башкиры, русские и татары.

В 2022 г. наименьшие показатели коэффициента рождаемости отмечаются в районах, граничащих с Оренбургской областью: Фёдоровский (5,5‰), Ермекеевский (6,6‰), Белебеевский, Стерлибашевский и Бижбулякский муниципальные районы, которые характеризуются преимущественно аграрной экономикой, функционирующей в условиях умеренно увлажненных и засушливых степи и лесостепи Предуралья. Среди городских поселений наиболее низкие коэффициенты рождаемости (6,2–7,1‰) характерны для городов Агидель, Салават и Кумертау.

Практически во всех муниципалитетах республики отмечается снижение показателей рождаемости. За период с 2012 по 2022 гг. сильнее всего (почти в 2 раза) этот показатель сократился в Хайбуллинском, Белокатайском, Татышлинском, Благовещенском районах и городском округе Агидель.

В границах Республики Башкортостан по общему коэффициенту смертности (ОКС) наименее благоприятная ситуация отмечается в западных, северных и восточных муниципалитетах, относительно благоприятная — в ряде центральных и южных районов (рис. 4). Наименьший ОКС (менее 10‰) в 2022 г. наблюдался в Уфимском муниципальном районе, в городах Уфа, Нефтекамск и Октябрьский, которые являются крупными экономическими центрами республики с более высоким уровнем жизни населения, развития медицины и повышенной долей молодого населения. Существенно выше среднего значения по Башкирии (11,9‰) ОКС фиксируется в 49 из 62 муниципалитетов республики. Наиболее напряженная ситуация по этому показателю отмечается в Архангельском, Бураевском (19,2‰ — самый высокий показатель смертности в регионе), Балтачевском, Калтасинском и Шаранском районах, где ОКС превышает отметку 17‰, что существенно больше, чем в среднем по Башкирии, Приволжском федеральном округе и России. В период пандемии «Covid-19» ОКС достигал отметки 25,4‰ — в 2021 г. в ранее упомянутом Бураевском районе, в этом аграрном районе республики численность населения за период 1970–2023 гг. сократилась более чем в 2 раза.

В Республике Башкортостан к 2022 году сложилась следующая территориальная дифференциация показателя естественного прироста (убыли) населения (рис. 5).

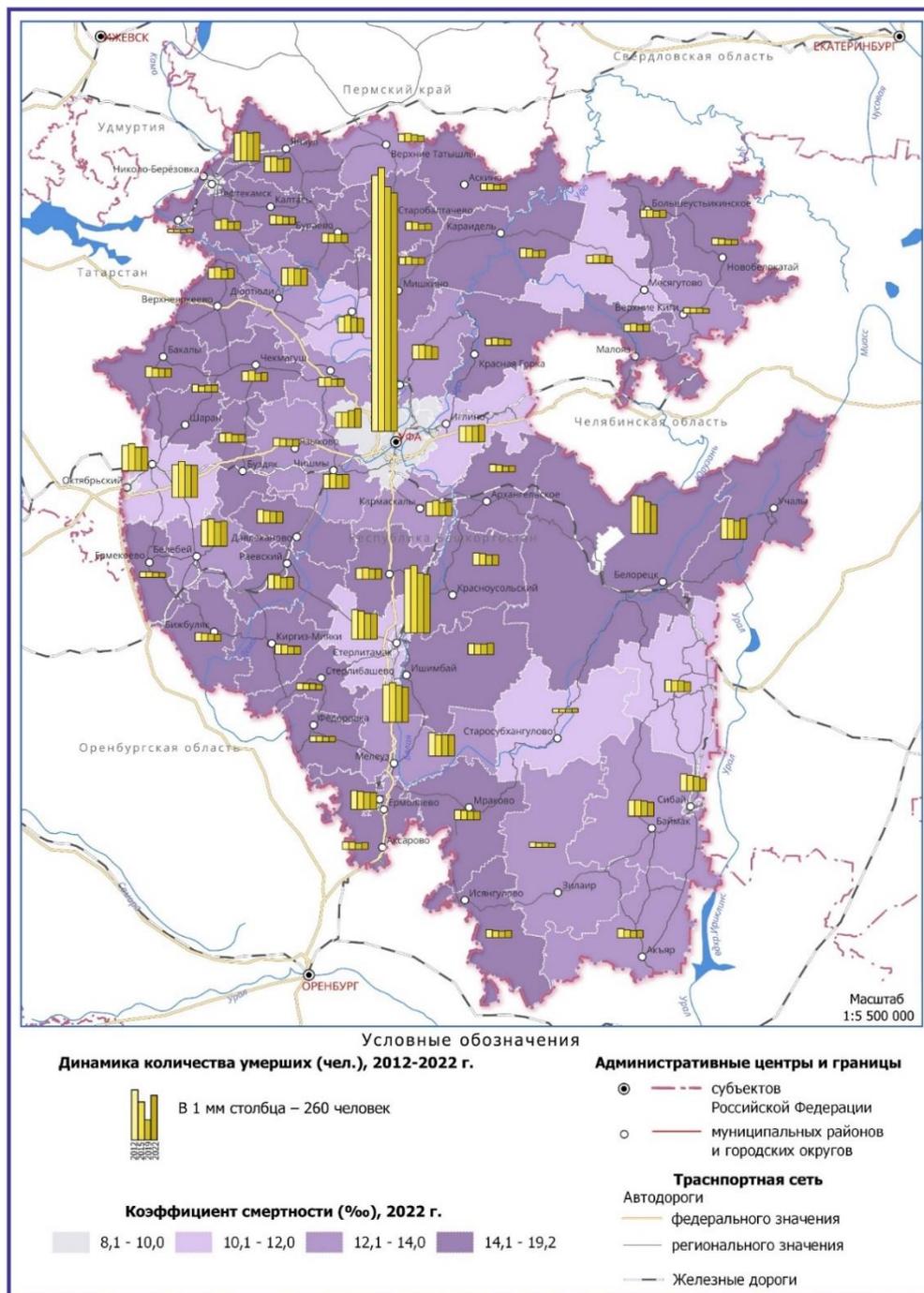


Рис. 4. Смертность в Республике Башкортостан, на период с 2012 по 2022 гг. Составлено авторами по [7].

**ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН**

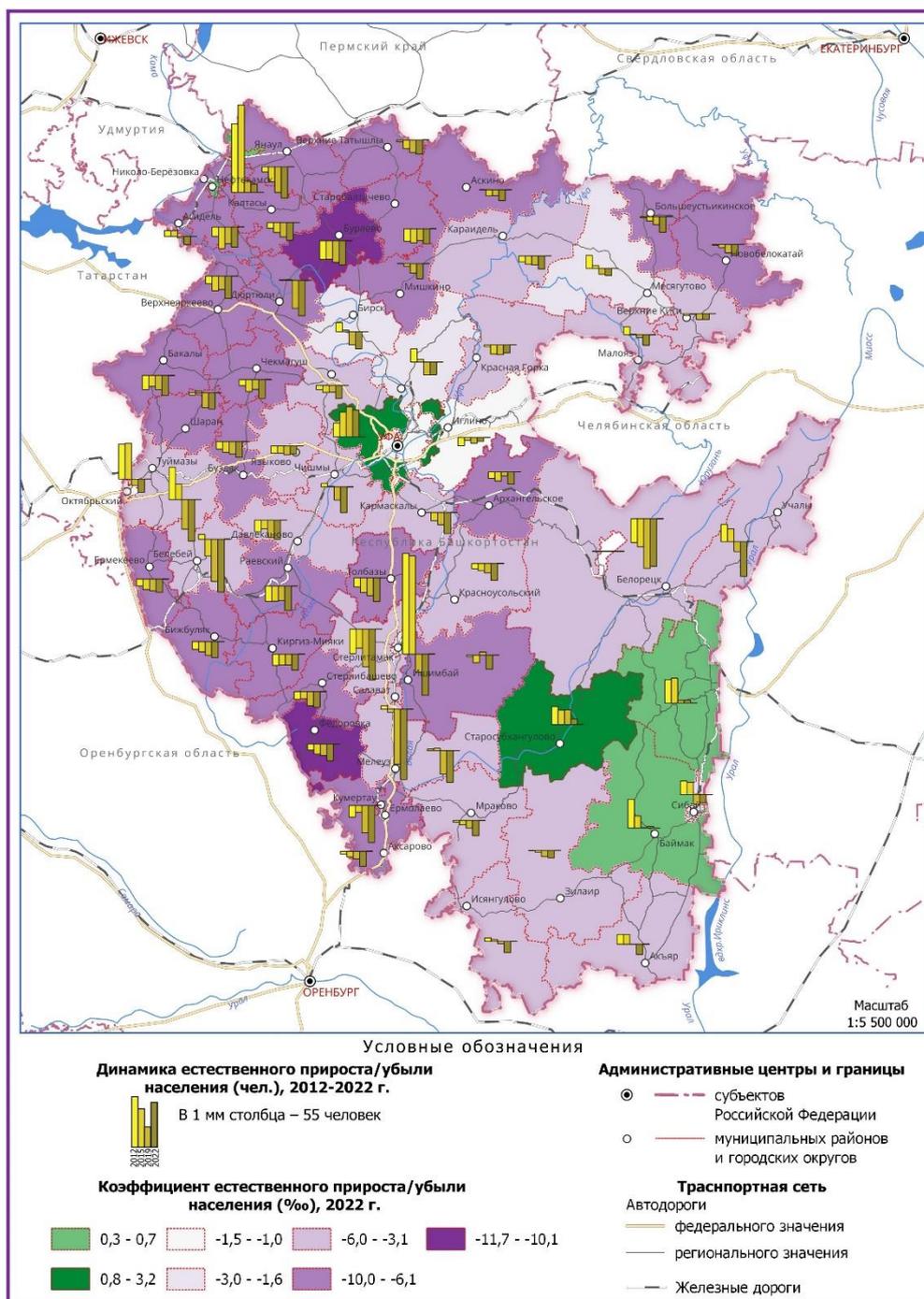


Рис. 5. Естественный прирост населения в Республике Башкортостан, на период с 2012 по 2022 гг.

Составлено авторами по [7].

В целом, более благоприятная ситуация наблюдается на юге и востоке Башкортостана, а наибольшие масштабы естественной убыли характерны для северо-западных и юго-западных районов республики. Положительный коэффициент естественного прироста был зафиксирован только в пяти муниципальных образованиях: Бурзянском (3,2‰), Уфимском (2,5‰) районах, а также Абзелиловском, Баймакском районах и городе Нефтекамске, в которых этот показатель не превышает 1‰. Прирост населения в этих районах отмечался все анализируемые годы, начиная с 2012 г.

В остальных муниципалитетах фиксируется естественная убыль населения, которая наиболее интенсивно происходит в Бураевском (-11,7‰), Фёдоровском (-10,8‰), Стерлибашевском (-9,5‰) и Ермекеевском (-9,2‰) муниципальных районах. В 49 из 63 муниципалитетов коэффициент естественного прироста (КЕП) ниже среднереспубликанского показателя. Для сравнения, 10 лет назад (в 2012 году) коэффициент естественного прироста был положительным в 24 муниципалитетах Башкирии.

С учетом повсеместного снижения рождаемости в регионе закономерно во всех муниципалитетах происходит снижение показателя естественного прироста населения, но темп этого процесса от района к району разный. По соотношению показателя 2022 г. к 2012 г. наиболее стремительно процесс естественной убыли населения ускорялся в Янаульском и Куюргазинском районах (почти в 7 раз), городах Уфа (с 3,6‰ до -1,1‰) и Салават (с 0,2‰ до -5,0‰), Чишминском, Белебеевском, Учалинском (с 2,5‰ до -5,2‰) районах. Таким образом, в отдельных муниципалитетах Башкортостана происходит не только переход к современному типу воспроизводства населения, а формируются предпосылки кризисной демографической ситуации.

Типы муниципалитетов Республики Башкортостан по динамике демографических процессов и направления демографической политики. Для каждого муниципального образования была выполнена оценка динамики рождаемости, смертности, естественного прироста, брачности, разводимости и демографической нагрузки за 2012–2022 гг. По результатам оценки в Башкортостане выделено 5 типов муниципалитетов по динамике демографических процессов (рис. 6).

Наибольшее число муниципалитетов (37 ед.) относится к типу территорий, где отмечается *демографическая ситуация с тенденцией ухудшения*. В этом типе муниципальных образований проживает более 1,9 млн чел. или 47,7% населения республики. Этот тип представлен во всех частях региона.

15 муниципалитетов относятся к типу районов, где *длительное время наблюдается неблагоприятная демографическая ситуация*. В этом типе районов проживает около 575 тыс. чел. или 14,1% республики. Основная часть районов этого типа расположена на северо-западе республики, в ее глубинной части и на юго-западе.

**ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН**

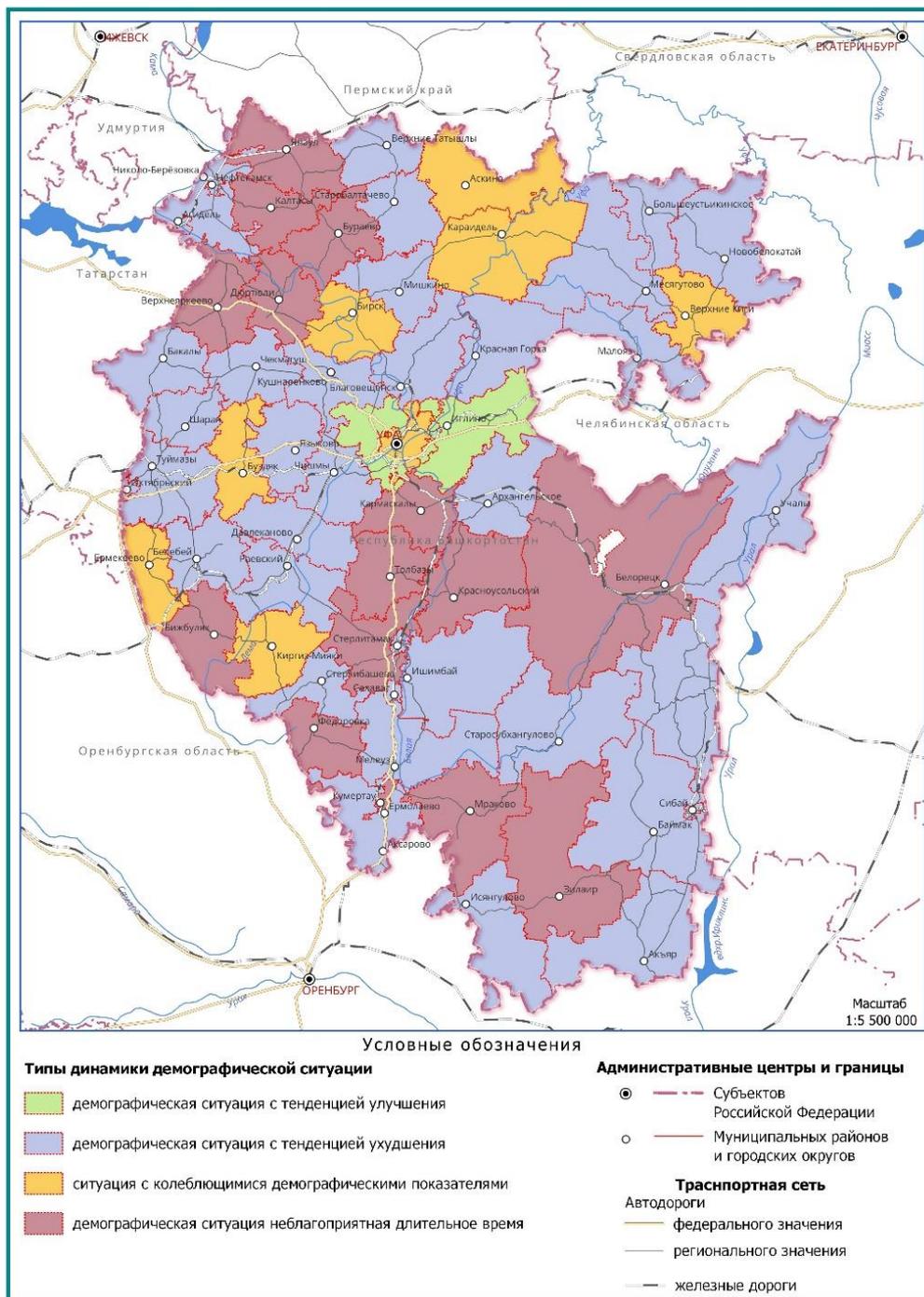


Рис. 6. Типы динамики демографических процессов в Республике Башкортостан.

Составлено авторами.

К типу территорий, где фиксируется *ситуация с колеблющимися демографическими показателями*, относятся 8 муниципалитетов. В этом типе муниципалитетов проживает около 1,4 млн чел., что соответствует 33,6% всего населения республики, но основная часть — это население столичной Уфы (1,2 млн чел.), остальные районы — малолюдные с населением 14–60 тыс. чел. в каждом.

Демографическая ситуация с тенденцией улучшения наблюдается лишь в двух районах Башкирии — Уфимском и Иглинском, которые входят в состав Уфимской городской агломерации. В этих районах проживает около 187 тыс. чел. или 4,5% всего населения республики.

Анализ документов стратегического планирования [10, 11 и др.] в области демографической политики Республики Башкортостана показал, что в них слабо учтена специфика муниципалитетов, их территориальная дифференциация по ключевым демографическим показателям и уровню социально-экономического развития. При этом во многих районах и городах разработаны и реализуются программы демографического развития муниципального образования. С учетом внутрирегиональных особенностей демографических процессов в Республике Башкортостан существует необходимость проведения пространственно избирательной демографической политики, мероприятия которой могут быть адаптированы согласно выделенным типам муниципалитетов (табл. 2).

Таблица 2.

Типы муниципальных образований (МО) и основные направления демографической политики в области воспроизводства населения

Тип МО	Название МО	Основные направления демографической политики
Демографическая ситуация с тенденцией улучшения	Иглинский и Уфимский районы	Поддержка положительного тренда. Изучение успешных практик улучшения демографической ситуации в регионе и применение их в других МО.
Ситуация с колеблющимися демографическими показателями	город Уфа, Аксинский, Буздякском, Ермекеевском, Караидельском, Кигильском и Миякинском районы.	Стабилизация демографических показателей с выходом на положительный тренд. Избирательная поддержка наиболее проблемных МО. Дифференцированная корректировка отдельных показателей.

**ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН**

Продолжение таблицы 2.

Тип МО	Название МО	Основные направления демографической политики
Демографическая ситуация с тенденцией ухудшения	города Нефтекамск, Сибай, Стерлитамак, Агидель, Октябрьский, Салават, муниципальные районы Абзелиловский, Альшеевский, Архангельский, Баймакский, Бакалинский, Балтачевский, Белебеевский, Белокатайский, Благоварский, Благовещенский, Бурзянский, Давлекановский, Дуванский, Зианчуринский, Ишимбайский, Краснокамский, Кушнаренковский Мелеузовский,, Куюргазинский, Мечетлинский, Мишкинский, Нуримановский, Салаватский, Стерлибашевский, Татышлинский, Туймазинский, Учалинский, Чишминский и Шаранский районы	Комплексная демографическая политика, с фокусировкой на более проблемные МО. Дополнительные меры поддержки материнства, здоровья населения и оттока молодежи, улучшения жилищных условий. Снижение периферийности и контрастов в уровне социально-экономического развития. Изучение успешных практик улучшения демографической ситуации в регионе и применение их в наиболее проблемных МО.
Демографическая ситуация неблагоприятная длительное время	Аургазинский, Белорецкий, Бижбулякский, Бураевский, Гафурыйский, Дюртюлинский, Зилаирский, Илишевский, Калтасинский, Кармаскалинский, Кугарчинский, Стерлитамакский, Федоровский, Янаульский муниципальные районы и город Кумертау	Комплексная и финансово более обеспеченная демографическая политика, с фокусировкой на более проблемные МО. Дополнительные меры поддержки материнства, здоровья населения и оттока молодежи, улучшения жилищных условий. Снижение периферийности и контрастов в уровне социально-экономического развития. Изучение успешных практик улучшения демографической ситуации в регионе и применение их в наиболее проблемных МО.

Составлено авторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За прошедшее десятилетие с позиций демографических процессов Республика Башкортостан трансформировалась из региона с позитивными демографическими трендами в регион, где наметился демографический кризис, при этом в регионе сохраняются районы с позитивной демографической ситуацией. Республика

Башкортостан относится к регионам России, где с начала XXI в. происходит смена поколений в период трансформации типа воспроизводства населения в регионе — с переходного к современному, который характеризуется суженным воспроизводством, старением населения и сокращением когорты населения в трудоспособном возрасте. На фоне сокращающейся рождаемости в республике не наблюдается сокращение показателей смертности.

Большая часть населения региона проживает в муниципальных образованиях, относящихся к типу территорий, где отмечается демографическая ситуация с тенденцией ухудшения.

Особенности территориальной дифференциации муниципалитетов республики по характеру демографических процессов соотносятся со следующими географическими факторами:

1) центр-периферийный эффект, когда в муниципалитетах, приближенных к крупным экономическим центрам, особенно к столичной Уфе, демографическая ситуация более благоприятная по сравнению с периферийными (с точки зрения социально-экономического развития) районами;

2) расселенческие и этногеографические особенности региона: в южных, юго-восточных преимущественно моноэтнических (с доминированием башкир в структуре населения) сельских районах наблюдается более благоприятная демографическая ситуация, по сравнению с полиэтничным центром и севером республики.

Сложность реализации эффективной демографической политики в любом регионе заключается в необходимости комплексных преобразований в условиях и качестве жизни населения, создания в обществе социального здоровья, что в большей части районов Башкирии не обеспечено в полной мере.

Список литературы

1. Ковалев А.А., Ковальская Н.Я. География населения СССР. М.: Идательство МГУ, 1980. 287 с.
2. Покшишевский В.В. Население и география. Теоретические очерки. М.: Мысль, 1978. 315 с.
3. Слука А.Е., Слука Н.А. География населения с основами демографии. М.: Издательство Московского ун-та, 2000. 136 с.
4. Население Республики Башкортостан: воспроизводственные и миграционные процессы, занятость и размещение: монография / под ред. И.В. Закирова. Уфа: РИЦ БашГУ, 2021. 164 с.
5. Демографическое самочувствие регионов России. Национальный демографический доклад / Отв. ред. Т. К. Ростовская, А. А. Шабунова, 2021. 214 с.
6. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bigenc.ru> (дата обращения 12.06.2024 г.).
7. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.02.rosstat.gov.ru> (дата обращения 18.06.2024).
8. Республика Башкортостан. Демографический доклад. Выпуск 3 / под общ. ред. Г.Ф. Халижевой, Н.К. Шамсутдиновой. Уфа: Башкирская энциклопедия, 2018. 132 с.
9. Скрыбина Я.А., Сабирова З.Э. Демографический рейтинг муниципальных образований Республики Башкортостан // Парадигмы и модели демографического развития: сборник статей XII Уральского демографического форума, Международная научно-практическая конференция, Екатеринбург, 03–

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

04 июня 2021 года. Том 1. Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения РАН, 2021. С. 287–294.

10. О Стратегии социально-экономического развития Республики Башкортостан на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <https://economy.bashkortostan.ru/documents/active/298367> (дата обращения 15.10.2024)
11. Указ Президента Республики Башкортостан «от 14 июля 2008 года N УП-333 Об утверждении концепции демографической политики Республики Башкортостан на период до 2025 года». Электронный фонд правовых документов Республики Башкортостан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru> (дата обращения 28.10.2024).

**TERRITORIAL DIFFERENTIATION AND TRANSFORMATION OF MODERN
DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN**

Volkhin D. A.¹, Trostina A. S.²

^{1,2}*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

E-mail: ¹lomden@mail.ru

The socio-geographical characteristics of the main demographic processes in the Republic of Bashkortostan, their territorial differentiation, dynamics and transformation over the period 2010–2022 are given. The intraregional territorial differentiation of demographic processes is revealed. Two parts of the region are distinguished, which differ from each other in terms of the scale and intensity of demographic processes — the municipalities of the center, north-west of the region and the municipalities of the south, south-east, east of the region. According to the dynamics of demographic processes, 4 types of municipalities of the Republic of Bashkortostan are identified, in which there is a demographic situation with a tendency to improve, with a tendency to worsen, a situation with fluctuating demographic indicators and municipalities where the demographic situation has been unfavorable for a long time. Various directions of improving the demographic situation for different types of municipalities in the region are considered.

Over the past decade, from the standpoint of demographic processes, the Republic of Bashkortostan has transformed from a region with positive demographic trends to a region where a demographic crisis has emerged, while areas with positive demographic trends remain in the region. The Republic of Bashkortostan belongs to the regions of Russia, where since the beginning of the XXI century. there is a generational change during the transformation of the type of reproduction of the population of the region, from transition to modern, which is characterized by narrowed reproduction, aging of the population and a reduction in the cohort of the population of working age. At the same time, against the background of a declining birth rate, there is no reduction in mortality rates in the republic. Most of the region's population lives in municipalities belonging to the type of territories where the demographic situation with a tendency to worsen is noted. The peculiarities of territorial differentiation of municipalities of the republic by the nature of demographic processes correlate with the following geographical factors: 1) the center is a peripheral effect, when in municipalities close to large economic

centers, especially to the capital Ufa, the demographic situation is more favorable compared to peripheral (from the point of view of socio-economic development) areas; 2) settlement and ethnogeographic features of the region: in the southern, southeastern predominantly monoethnic (with Bashkir dominance in the population structure) and rural areas, there is a more favorable demographic situation compared to the multiethnic center and the north of the republic.

Keywords: demographic process, birth rate, mortality rate, natural increase, demographic situation, types of municipalities, Republic of Bashkortostan.

References

1. Kovalev A.A., Koval'skaya N.Ya. Geografiya naseleniya SSSR [Geography of the population of the USSR]. M.: Izdatel'stvo MGU, 1980. 287 s.
2. Pokshishevskij V.V. Naselenie i geografiya. Teoreticheskie ocherki [Population and geography. Theoretical essays]. M.: Mysl', 1978. 315 s.
3. Sluka A.E., Sluka N.A. Geografiya naseleniya s osnovami demografii [Geography of the population with the basics of demography]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo un-ta, 2000. 136 s. (in Russian)
4. Naselenie Respubliki Bashkortostan: vosпроизvodstvennyye i migracionnyye processy, zanyatost' i razmeshchenie: monografiya [The population of the Republic of Bashkortostan: reproductive and migration processes, employment and placement: monograph] / pod red. I.V. Zakirova. Ufa: RIC BashGU, 2021. 164 s. (in Russian)
5. Demograficheskoe samochuvstvie regionov Rossii. Nacional'nyj demograficheskij doklad [Demographic well-being of Russian regions. National Demographic Report] / Otv. red. T. K. Rostovskaya, A. A. Shabunova, 2021. 214 s. (in Russian)
6. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya [The Great Russian Encyclopedia] [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.bigenc.ru> (data obrashcheniya 12.06.2024 g.). (in Russian)
7. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Respublike Bashkortostan [Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Republic of Bashkortostan] [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.02.rosstat.gov.ru> (data obrashcheniya 18.06.2024). (in Russian)
8. Respublika Bashkortostan. Demograficheskij doklad. [The Republic of Bashkortostan. Demographic report] Vypusk 3 / pod obshch. red. G.F. Halizhevoj, N.K. Shamsutdinovoj. Ufa: Bashkirskaya enciklopediya, 2018. 132 s. (in Russian)
9. Skryabina Ya.A., Sabirova Z.E. Demograficheskij rejting municipal'nyh obrazovaniy Respubliki Bashkortostan [Demographic rating of municipalities of the Republic of Bashkortostan] // Paradigmy i modeli demograficheskogo razvitiya: sbornik statej XII Ural'skogo demograficheskogo foruma, Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Ekaterinburg, 03–04 iyunya 2021 goda. Tom 1. Ekaterinburg: Institut ekonomiki Ural'skogo otdeleniya RAN, 2021. S. 287–294. (in Russian)
10. Strategii social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Bashkortostan na period do 2030 goda [On the Strategy of socio-economic development of the Republic of Bashkortostan for the period up to 2030] [Elektronnyj resurs]. URL: <https://economy.bashkortostan.ru/documents/active/298367> (data obrashcheniya 15.10.2024) (in Russian).
11. Ukaz Prezidenta Respubliki Bashkortostan «ot 14 iyulya 2008 goda N UP-333 Ob utverzhdenii koncepcii demograficheskoy politiki Respubliki Bashkortostan na period do 2025 goda». [Decree of the President of the Republic of Bashkortostan "dated July 14, 2008 No. UP-333 On approval of the concept of demographic policy of the Republic of Bashkortostan for the period up to 2025"] Elektronnyj fond pravovyh dokumentov Respubliki Bashkortostan [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru> (data obrashcheniya 28.10.2024). (in Russian).

Поступила в редакцию 30.07.2024 г.

УДК 332.1

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИСТСКОГО БРЕНДА

Кучумов А. В.¹, Еремичева П. Ю.²

*^{1,2}Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург,
Российская Федерация*

E-mail: ¹arturspb1@yandex.ru, ²eremicheva2000@outlook.com

В данной статье описывается значение регионального брендинга с точки зрения развития туризма, рассматриваются особенности основных подходов, используемых при формировании регионального туристского бренда. Авторы изучили особенности проектного и кластерного подходов, представили структуру реализации подходов, оценили направления влияния и мероприятия в рамках внедрения подходов. Работа определяет роль проектного и кластерного подходов в позиционировании региона и туристского бренда в контексте национальной экономики и межрегионального взаимодействия.

Ключевые слова: проектный подход, кластерный подход, туризм, туристский бренд, региональный бренд, региональная экономика, сфера услуг, кластер, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Региональный туристский бренд – это маркетинговый термин, отражающий категоризацию ресурсов и эффективность их использования, совокупность процессов, стандартов и представлений, формирующих общую концепцию территории. Соответственно, комплекс факторов, признаков и принципов реализации обозначенной территории в едином образе, который зарождается в сознании потребителя под воздействием совокупного эффекта от проводимых мероприятий по ускорению роста показателей в туризме, формированию специфической культуры, расширению транспортно-логистических возможностей, развитию свободной торговой среды.

Важно понимать, что в основе формирования регионального туристского бренда лежат определенные подходы, которые формируются в связи с территориальным (географическим) обликом дестинации. Так, например, ключевую роль может играть потенциал региона, который базируется на туристской привлекательности и при учете всех сопутствующих особенностей. Потенциал играет важнейшую роль при включении ресурсной базы в процессе использования некоторых подходов в формировании регионального туристского бренда, т.к. предполагает различные направления, среди которых производственный и промышленный потенциал, туристская инфраструктура, природно-климатическая ресурсная база, географическая обоснованность, культурно-исторические ресурсы, трудовая ресурсная база и любой скрытый потенциал, который возможно привязать к идентичности территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Важно подчеркнуть, что при проведении исследования применялся ряд методов обработки информации, среди которых:

- анализ-интернет ресурсов;
- систематизация;
- контент-анализ;
- сравнение;
- синтез.

В числе материалов, которые были привлечены к исследованию можно отметить такие, как учебные пособия, российские и зарубежные литературные источники и статьи, которые предоставили ценные данные и теоретические основы для анализа регионального туристского брендинга. Данные материалы включают исследования, посвященные проектному и кластерному подходам, а также примеры успешных практик в области туристического маркетинга и способствовали более глубокому пониманию механизмов формирования и продвижения туристских брендов, а также позволили выявить ключевые факторы, влияющие на эффективность регионального брендинга.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Региональный туристский маркетинг можно соотносить с территориальным брендингом, основной задачей которого является стратегическое развитие региона, в первую очередь за счет адаптации территории как системы к рыночным преобразованиям, касающимся не только туризма, но и смежных секторов. Соответственно, в традиционном понимании основные подходы формирования регионального туристского бренда можно разделять на проектный и кластерный. Проектный подход, как и процессный подход, строится на изменении представления и систематизации компонентов территории внутри ее географического образа. Основная разница в том, что проектный подход позволяет представлять территорию как крупный проект, изучая ее более углубленно. Проекты имеют сложную, но гибкую структуру, в условиях которой можно рассматривать специфику имеющихся ресурсов и потенциала в интерактивном ключе. Необходимо также подчеркнуть, что проектный подход в планировании регионального туристского бренда имеет тождественные особенности с его применением в любой другой области, т.к. в первую очередь ориентирован на достижение результата, в данном случае в виде четкого представления в едином компактном образе всех туристских возможностей, ресурсов и многогранных проявлений территории в сознании потребителя. Кроме того, проектное управление базируется на необходимости соблюдать ограничения по срокам, средствам, использованию определенных ресурсов, времени и финансов, а в заключении приводить проект территориального бренда к результату, соответствующему регламенту качества [2]. Таким образом, проектный подход позволяет выявлять преимущества, выгодные стороны и слабые стороны региона, управлять ресурсами, также, как и рисками. Далее предложена схема применения проектного подхода в туризме (рис. 1).

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИСТСКОГО БРЕНДА



Рис. 1. Этапы развития территориального туристского бренда через проектный подход

Составлено авторами по [2, 6].

С целью конкретизации представленной схемы была составлена таблица, где приведены примеры мероприятий в соответствии с каждым этапом реализации проектного подхода при формировании регионального туристского бренда (табл. 1).

Безусловно, использование проектного подхода в управлении регионом и построении эффективного туристского бренда позволяет обеспечивать результативность мероприятий в первую очередь за счет поиска компромиссных решений. Например, важная роль при построении стратегии продвижения туристского бренда территории отводится управленческим решениям на местном и федеральном уровне, отдельным отраслевым и четко ориентированным стратегиям, среди которых инвестиционная, социально-экономическая, культурно-творческая и т.п. Данную мысль подтверждают классические теории регионального роста, основанные на спросе, среди которых теория экспортирующего региона (модель Х. Хойта) и закон Тирвалла. Так, Х. Хойт полагал, что регион в качестве менее крупной единицы, в сравнении со страной, не может полагаться только на собственные ресурсы при развитии своей специализации, т.к. его рост во многом определяется внешними факторами, что в основе своей связано с необходимостью служить национальным интересам в той же степени, что и интересам местных жителей, как основных потребителей производимого, в данном вопросе, туристского продукта.

Таблица 1.

Мероприятия в рамках этапов реализации проектного подхода при формировании
регионального туристского бренда

№	Этап применения проектного подхода	Примеры мероприятий
1	Подготовка к проекту	<ul style="list-style-type: none"> – составление концепции проекта (формулирование задач, определение инструментов, ресурсов и потенциальных проблем в туристском продвижении дестинации) – организация и реализация маркетинговых исследований рынков, смежных с туристским (категоризация рынков по стабильности развития, определение предприятий-лидеров, выявление факторов влияния, оценка основных показателей)
2	Планирование проекта	<ul style="list-style-type: none"> – подбор участников и составление рабочих групп по отдельным проектным вопросам; – составление календаря реализации; – определение очевидного и скрытого потенциала; – бюджетное планирование
3	Проектное утверждение	<ul style="list-style-type: none"> – анализ обстановки и результатов маркетинговых рыночных исследований; – подбор модели управления проектом, совместимой с территориальной (государственной) моделью управления; – составление проектного устава
4	Подготовка к проекту	<ul style="list-style-type: none"> – закупка и подбор дополнительных ресурсов; – подготовка первичных и вторичных ресурсов, материалов, инструментов; – организация мероприятий по подготовке персонала, коммуникации с основными сторонами-интересантами (инвесторы, акционеры, потребители, сотрудники, поставщики) – доработка финального плана
5	Реализация проекта	<ul style="list-style-type: none"> – реализация некрупных промоутерских мероприятий; – инвестиционные мероприятия, увеличение трудовой миграции; – реализация экспортных поддерживающих мер
6	Контроль, испытания и управление проектом	<ul style="list-style-type: none"> – организация контроля за использованием ресурсов, ресурсоснабжением и ресурсообеспечением; – организация управления затратами; – организация управления рисками
7	Завершение проекта	<ul style="list-style-type: none"> – составление отчетных документов, аналитических дайджестов; – подготовка и реализация процедур закрытия проекта и перехода к процессному подходу

Составлено автором по [6].

Рассуждая о российском опыте организации туризма, а также о сложившейся нестабильной и враждебной геополитической обстановке, следует пояснить, что наблюдается высокая степень доступности принципов по закону Тирлвалла, в котором конкретизируется, что страны с достаточно большим внутренним рынком

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИСТСКОГО БРЕНДА

способны переориентировать производство на внутренний спрос, чтобы за счет увеличения расходов домашних хозяйств компенсировать сокращение экспортного спроса, что ведет к импортозамещению.

В контексте необходимости ориентировать стратегию развития туристского регионального бренда под общественные и общенациональные потребности, а также очевидной необходимости реализовывать внутриориентированное импортозамещение, повышается эффективность внедрения кластерного подхода. Применение метода кластеризации пространства в условиях России с ориентацией на развитие туризма уже давно не является инновационным механизмом структурирования различных систем внутри ограниченного пространства и инструментом продвижения регионального бренда за пределами конкретной территории. Для кластерного подхода в туризме характерно объединение объектов по географическому и отраслевому признакам с целью повышения конкурентоспособности региона, улучшения эффективности отдельных отраслей, связанных с туристским комплексом. Так, на рисунке 2 ниже определена схема, отражающая структуру кластерного подхода при брендинге территории.

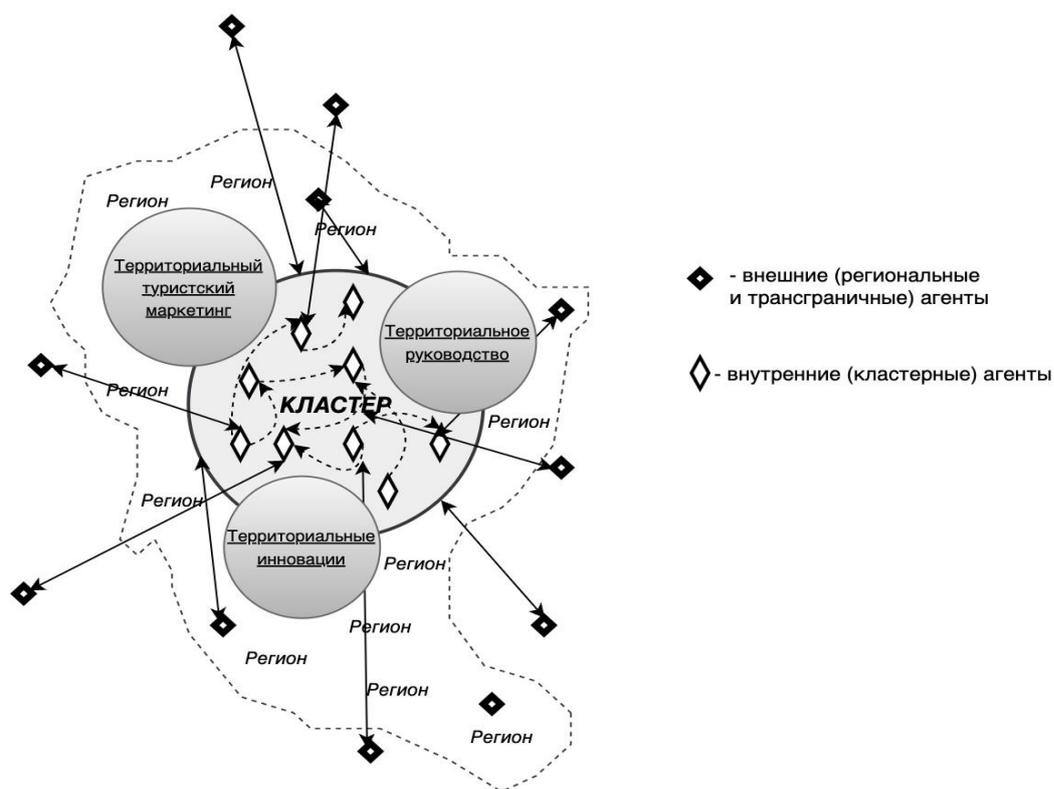


Рис. 2. Структура кластерного подхода при брендинге территории [5].

Обращаясь к предложенной схеме, следует отметить, что кластерный подход в формировании регионального туристского бренда полезен тем, что, помимо

организации значимых предприятий и освоения территории, он позволяет снизить издержки на маркетинговую деятельность, включая продвижение, способствует централизованному распределению и использованию ресурсов, созданию более комплексных привлекательных предложений. Более того, кластерный подход в региональном туристском брендинге в российской практике чаще всего характеризуется симбиозом частной инициативы, региональной инициативы и развитием отраслевой экономики [1].

Важно подчеркнуть, что основной чертой туристских кластерных систем является не столько географический фактор в его абстрактном понимании, сколько определение наличия и удобства объединения всех объектов, имеющих прямое или косвенное отношение к туризму и производству туристского продукта. Например, учитывая пространственные данные возможно выделить ряд преимуществ кластеризации в регионе, среди которых [3]:

I. Определение комбинации нескольких заведомо полезных объектов, когда они ассиметрично расположены.

II. Качественный анализ пространственных данных в сочетании с географическими характеристиками территории позволяет выявить возможности региона, что ведет к выявлению нескольких вариантов структуризации элементов в доступе.

III. Качественный пространственный анализ может помочь в поиске выбивающихся из общего числа элементов, которые возможно отнести в число резервных.

IV. Исследование пространственных данных позволяет определять расстояние между объектами и системами потенциальных кластеров.

V. Качественный пространственный анализ позволяет определять объекты внутри основной системы и подсистем, качество и характер их возможного взаимодействия.

Не менее важным фактором при формировании и функционировании туристских кластеров является свобода коммуникации элементов друг с другом и их взаимодействия с внешней средой. В административной школе управления существует принцип, характеризующийся восприятием системы как единства взаимосвязанных элементов, когда рационализация и решение проблем происходят за счет внутренних ресурсов, тогда как в данном случае — напротив — количество внешних связей, качество взаимоотношений бизнеса и государственного сектора влияют на масштабирование туристской деятельности в регионе, разрастание за ее счет смежных зависимых отраслей, вплоть до увеличения кластерной системы и роста ее влияния на межрегиональные связи. Кроме того, рост регионального туристского рынка и повышение узнаваемости, экономической перспективности территорий за счет использования кластерного подхода может дополнительно аргументироваться рядом преимуществ (табл. 2).

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В ПОСТРОЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОГО
ТУРИСТСКОГО БРЕНДА

Таблица 2.

Направления использования кластерных систем в развитии регионального
туристского бренда

Направления воздействия кластерных систем на регион	Описание направлений
<i>Активизация инноваций</i>	Повышение инвестиционной привлекательности за счет новых туристских предприятий, развития новых ниш, накопления нового опыта, повышения узнаваемости региона
<i>Повышение доходности и конкурентоспособности объектов кластера</i>	Рост коллабораций и интеграционных процессов между туристскими предприятиями, снижение необходимости привлечения лишних посредников и предоставления скидок дополнительно, расширение транспортно-логистических схем, снижение налоговых отчислений
<i>Рост ВВП</i>	Привлечение иностранных инвестиций за счет уникальных концепций, развития нишевого туризма, совершенствования проектов, привлечения средств местных бюджетов, развития ГЧП, взаимного кредитования агентов кластера
<i>Развитие МСП в регионе</i>	Развитие и расширение рынка аутсорсинговых услуг, открытие новых зон предпринимательства, привлечение МСП в качестве внекластерных вспомогательных объектов
<i>Рост экспорта внутри кластера и в регионе</i>	Развитие коллабораций между агентами, программ позиционирования, открытие уникальных ниш, использование преимуществ бренда всеми участниками в равной доступности
<i>Увеличение занятости и развитие специализации</i>	Стимулирование развития конкурентной среды на туристском рынке региона (внешней и внутренней), участие в программах импортозамещения, расширение кластера за счет привлечения/создания новых предприятий

Составлено авторами по [4].

Необходимо подчеркнуть, что влияние формирования туристских кластерных систем в регионе с целью формирования и продвижения уникального территориального бренда влияют на общеэкономическую ситуацию. В дополнение к тому, что развитие туристского бренда в регионе подчеркивает мультипликативный эффект при развитии сектора, формирование кластеров также укрепляет экономику, влияет на основные показатели (ВВП и ВРП).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении, следует подчеркнуть, что рассмотренные подходы предполагают разные формы вовлечения территориальных ресурсов и туристского потенциала региона в прямых и косвенных проявлениях. В то время как проектный подход является более традиционным, централизованным и структурированным вариантом представления и проработки образа региона в контексте развития туризма, кластерный подход можно воспринимать в качестве реализации точечных вспомогательных мер с позиции закрепления специализаций, развития нишевых видов туризма, повышении конкурентоспособности, узнаваемости региона и расширении внешних связей.

Список литературы

1. Гуриева Л.К., Кучумов А.В., Еремичева П.Ю. Особенности использования кластерного подхода при организации государственно-частного партнерства в сфере туризма // Вестник Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова. – №1, 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_64901901_29179055.pdf (дата обращения 14.09.2024).
2. Мирошников С.Н. Применение проектного подхода в рамках системы стратегического планирования регионального развития // Управленческое консультирование. 2019. №11. С. 92–100. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/338118731_Application_of_Project_Approach_within_the_Framework_of_Strategic_Planning_of_Regional_Development (дата обращения: 14.09.2024).
3. Хорева Л.В., Кучумов А.В., Еремичева П.Ю., Лобаков О.П. Роль географического фактора в проектировании кластеров сферы туристских услуг // Профессорский журнал. Серия: Рекреация и туризм. 2024.. № 2(22). С. 51–60. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_67949460_50791909.pdf (дата обращения: 15.09.2024).
4. Яшева Г.А. Обоснование кластерного подхода к повышению эффективности регионального производства // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vestnik.vstu.by/files/9913/6326/9483/UDK_334.764.47.pdf (дата обращения: 15.09.2024).
5. Mauroner O., Zorn J. Cluster branding – a case study on regional cluster initiatives, cluster management, and cluster brands // International Journal of Innovation and Regional Development. 7 (4):290, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/319468028_Cluster_branding_-_a_case_study_on_regional_cluster_initiatives_cluster_management_and_cluster_brands (дата обращения 15.09.2024).
6. Sharov D. Project-Based Approach as a Regional Brand Development Tool (on the Example of Moscow) // Social Science Research Network (SSRN). 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4560476 (дата обращения 15.09.2024).

THE MAIN APPROACHES IN BUILDING A REGIONAL TOURISM BRAND

Kuchumov A. V.¹, Eremicheva P. Y.²

*^{1,2}St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: ¹arturspb1@yandex.ru, ²eremicheva2000@outlook.com*

This article describes the importance of regional branding from the point of view of tourism development, examines the features of the main approaches used in the formation of a regional tourism brand. Authors studied the specific features of the project and cluster approaches, presented the structure of the implementation of the approaches, assessed the areas of influence and possible measures within the framework of the implementation of the approaches. This work defines the role of project and cluster approaches in positioning the region and the tourism brand in the context of the national economy and interregional interaction.

All in all, this research reveals the main aspects in defining two approaches generally accepted for implementation in tourism, explains the specifics of their application through the prism of formulating a strategy for building and promoting a territorial tourism brand. First of all, the characteristic features of the project approach were considered, which the authors consider as positioning the region in the form of a complex flexible structure, which is regulated by a number of strict restrictions. Authors explain that the project approach in planning a regional tourism brand has identical features with its application in any other field, because it is primarily focused on achieving results. This article presents a scheme for staging the implementation of the approach at the regional level, taking into account the tourism potential, explanations are provided regarding the meaning and essence of each of the stages of use. As well as main aspects, article reflects examples of specific measures taken within the boundaries of each of the stages of the project approach. Authors revealed the significance and level of the region in the context of the national economy using examples in the form of classical models of regional growth, clarified the essence of the cluster approach in the development of tourism in a limited area. It's important that with the help of the principles on which the model by H. Hoyt is built, because authors explain the specifics of marketing activities in the promotion of the region and the development of tourism. This part of the study is based on the fact that the region is a separate system within the state, which depends on external resources, public and national interests and needs. Authors also emphasize that in the current difficult political situation in which Russia finds itself, it is important to focus on domestic demand, since the domestic tourism market and other related industries are very extensive in order to qualitatively develop and unlock the potential of the territories.

The structure of a classic cluster project within the boundaries of the region was presented, and the locations of agents were determined. In the scheme, authors explained the position of the proposed cluster within the region, identified and separated internal and external elements, and indicated possible relationships, including stakeholders outside the cluster and the region. Authors also reflected the main and non-obvious advantages of implementing a cluster approach in the development of a regional tourism brand. Among the considered areas of influence, clustering of the region's space in the context of the development of the tourist complex, such as increased innovation, increased profitability

and competitiveness, impact on GDP and GRP growth, multiplier effect, development of small and medium-sized enterprises, export growth within the cluster and in the region, increased employment and the development of specialization of the region were noted. In addition, this work reflects main things about formulating and using of the main approaches in the context of promoting tourism in boundaries of a region.

Keywords: project approach, cluster approach, tourism, tourism brand, regional brand, regional economy, service sector, cluster, design.

References

1. Gurieva L.K., Kuchumov A.V., Eremicheva P.Yu. Osobennosti ispol'zovaniya klaster'nogo podxoda pri organizacii gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v sfere turizma // Vestnik Severo-Osetinskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K.L. Xetagurova. – №1, 2024. [Electronic resource]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_64901901_29179055.pdf (accessed 14.09.2024).
2. Miroshnikov S.N. Primenenie proektnogo podxoda v ramkax sistemy` strategicheskogo planirovaniya regional'nogo razvitiya // Upravlencheskoe konsul'tirovanie. 2019. №11. p. 92–100. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/338118731_Application_of_Project_Approach_within_the_Framework_of_Strategic_Planning_of_Regional_Development (accessed 14.09.2024).
3. Xoreva L.V., Kuchumov A.V., Eremicheva P.Yu., Lobakov O.P. Rol` geograficheskogo faktora v proektirovanii klasterov sfery` turistskix uslug // Professorskij zhurnal. Seriya: Rekreatiya i turizm. – № 2(22), 2024. p. 51–60. [Electronic resource]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_67949460_50791909.pdf (accessed 15.09.2024).
4. Yasheva G.A. Obosnovanie klaster'nogo podxoda k povыsheniyu e`ffektivnosti regional'nogo proizvodstva // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta. 2012. [Electronic resource]. URL: https://vestnik.vstu.by/files/9913/6326/9483/UDK_334.764.47.pdf (data obrashheniya: 15.09.2024).
5. Mauroner O., Zorn J. Cluster branding – a case study on regional cluster initiatives, cluster management, and cluster brands // International Journal of Innovation and Regional Development. 2017. 7 (4):290. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/319468028_Cluster_branding_-_a_case_study_on_regional_cluster_initiatives_cluster_management_and_cluster_brands (accessed 15.09.2024).
6. Sharov D. Project-Based Approach as a Regional Brand Development Tool (on the Example of Moscow) // Social Science Research Network (SSRN). 2023. [Electronic resource]. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4560476 (accessed 15.09.2024).

Поступила в редакцию 23.06.2024 г.

УДК 924. 338.92

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

Babayeva Z. R.

*Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan, Baku
E-mail: z11-ismayilova@gmail.com*

The article provided about agricultural products, which are the main raw material base of the food industry. One of the main features of the food industry and processing enterprises is related to the development of agriculture. The main goal was to examine the issues of providing agricultural raw materials in the regions. Then certain conclusions were reached and suggestions were made. Since the natural conditions of the republic have wide opportunities for the development of agricultural fields in the regions, the development prospects of the field are great. In the article, based on the official data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan, the production indicators of industrially processed food products for certain years were analyzed. Information was provided on the importance of agricultural enterprises and business entities in the provision of agricultural raw materials, their role and importance in the development of the field.

Ключевые слова: food industry, agriculture, plant growing, cattle-breeding, production.

INTRODUCTION

In many countries of the world, one of the main issues in the field of food supply is to meet the domestic demand based on local products. One of the main tasks of sustainable development defined by the UN Food and Agriculture Organization (FAO) is to provide people with safe, high quality food products for healthy and active lives [1]. In order to overcome the deficiencies in the agricultural statistics systems of many developing countries, the "Global Strategy" for the improvement of agriculture and rural statistics was developed. "Global Strategy" has developed information for national and international systems that enable the application of basic information needed in the 21st century in developing countries. The first phase covered the 2012–2018 years. Starting from 2021, the second phase of the Global Strategy (GSARS 2020–2025) is focused on the application and use of existing methodologies and approaches developed within the framework of the first phase. The main goal will be to continue the work aimed at strengthening the statistical potential of the countries of the world by providing training and technical assistance at the regional and global level.

Factors considered include:

- assistance in the implementation of strategic plans for agricultural statistics;
- provision of training and scholarships on agricultural statistics;
- technical assistance and training on tools and methodologies for data collection, analysis and distribution [2].

The field of agriculture has undergone a great development beginning from production activity and processes of privatization of land ownership to modern times. Agriculture, which historically started with gathering and hunting, has advanced significantly using modern technology and scientific and technical progress. In recent years, competitive production and competitive product production have become one of the important issues in order to achieve sustainable development of the economy. In order to

achieve competitive production, the level of development of the food industry and agriculture should also be increased. Of course, there are factors to consider, such as climate change. It affects productivity in the field of agriculture and supply of raw materials to food industry enterprises.

In modern times, the food industry has an exceptional role in the economic development of every country. Processing and production processes of finished raw materials are carried out in food industry enterprises. It is an economically profitable sector as it produces daily demanded products. Provision of raw materials, establishment of enterprises according to modern standards, production of competitive, high-quality products, production of export grade products are among the main priority issues in the direction of the development of the food industry. Food industry enterprises ensure efficient use of agricultural raw materials and prevention of raw material loss. Azerbaijan's food industry covers the fields of flour and flour products, fruit and vegetable preserves, fruit and berry juices, winemaking, butter, vegetable oils, mineral and carbonated waters, tea, salt, meat and dairy products, fish and fish products processing.

Agriculture plays an important role in the economy of the countries of the world, in the context of income, food security, foreign trade, employment, and is important for both developed and developing countries. Most of the world's population lives in rural areas and provides their daily needs mainly through agriculture. Agriculture has strategic importance for all countries. In addition, it has an important role in the development of rural areas of many developing countries and underdeveloped countries and it is important as the most important sector in their economy [3].

In developing countries, the demand for food products is also increasing in parallel with the increase in the income of the population. Population growth also increases the demand for food products. In this regard, high demand increases the importance of agricultural production. Therefore, one of the most important problems in developing countries is the lack of supply of food products against the background of increasing demand. A unit investment provides more output in agriculture than in industry. It is possible to increase production several times by improving irrigation facilities in the agricultural area, using seeds, fertilizers, and equipment [4].

MATERIAL AND METHOD

The study of food industry and agriculture in the Republic of Azerbaijan has been in the attention of research scientists. In this direction in our republic, Nadirov A.A. [5], Hajizadeh A.M. [6], Hasanov T.G. [7], Gurbanzadeh A.A. [8], Zeynalli A.T. [9], Aliyev K.G. [10] and other scientists have conducted research in this field. Systematic approach, comparative analysis, statistical, mathematical, historical-geographical analysis methods were used for the scientific analysis of the subject.

ANALYSIS AND DISCUSSION

The agricultural sector is the most important sector of the economy in the early stages of the development process in developing countries. The agricultural sector is important for every country. The development of agriculture is not only important for economic

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

progress of developing countries, but also important in the preservation of the economic independence of developed countries. The supply chain in the food industry covers all processes from the purchase of agricultural raw materials to their transformation into quality products and the delivery of products to the final consumer. This process begins with the production of agricultural products. The food industry proceeds with the purchase of agricultural raw materials from suppliers, processing and transportation of products to sales and distribution points. The food supply link ends with the purchase and consumption of food products by consumers [11].

The main task of the food industry is to process agricultural raw materials and transfer them into high-quality, healthy food and beverage products. The most important step in this process is production. Starting from production and ending with the consumer, there are many jobs in the process, from sourcing healthy raw materials to energy consumption, from resource use to waste management, from packaging to distribution points. The food chain is based on the principle of "farm to table"; includes different groups including farmers, suppliers, transport, producers and consumers [12].

World experience shows that increasing the efficiency of agricultural producers depends not only on cooperation based on the principles of internal division of labor in farms, but also on inter-sectoral cooperation and integration of storage, processing and sale of products. In this regard, in our country, especially in its regions, the development of internal economic corporations of farms specializing in the production of agricultural and livestock products, their cooperation with large processing enterprises is the main way to produce high quality products in the environment of an innovative economy [13]. There are also factors to be considered in the implementation of raw material supply in food enterprises. The suppliers implementing the processes of sourcing raw materials and products, inspecting products, sending them to the manufacturing process, and evaluating products.

Since the food industry is a field of vital importance for people, it plays a very important role in the economic and social structure of countries. The presence of infrastructure that includes both agricultural and industrial content makes the area different and special from other areas. The existing demand structure, the search for quality that develops with the improvement in the development levels of the countries and the ever-increasing competitiveness as the closest market to the fully competitive market constitute the developmental role of continuous renewal [14].

One of the main factors in the location of food industry enterprises and the production of their products is the organization of production, the availability of raw materials and material-technical base. The activity of food industry enterprises in the regions has a positive effect on the creation of relations between raw materials and production, increasing the efficiency of production, and increasing the economic activity of the population. The development of the food industry requires the formation of a local raw material base, the main driving force of which is agricultural products.

Raw materials processed in food industry enterprises are classified as follows:

1. Agricultural fields in crop fields;
2. Agricultural areas for animal breeding;
3. Production of non-agricultural processed products.

The first and second groups - the production of plant and livestock products make up a large part of the output of the food industry. Other products include salt, fishing, production of non-alcoholic beverages [15].

Since agricultural products have a limited shelf life before processing, cold storage complexes are used for product storage. Several types of products are produced from the raw materials of the crop and animal farming fields of agriculture, which creates conditions for increasing the variety of products. For example, various types of canned products from fruits and vegetables, fruit juices, frozen and dried fruits, etc. various types of meat and dairy products, semi-finished products, etc. are obtained from meat and milk processing. products are produced.

The implementation of agrotechnical measures is characterized as factors characterizing the intensive development of crop production. Productivity in specialized production areas where high-quality agrotechnical measures are implemented is much higher than in mixed production areas. The application of the rotational cropping system ensures effective use of available land, increasing productivity, improving product quality, and production efficiency [9].

The system of agricultural products transportation services is characterized by the following:

- small farms and traders use their privately owned passenger cars, small and medium-sized trucks, or small and medium-sized trucks owned or used by individual individuals to transport agricultural products. they use medium-capacity trucks;

- large companies engaged in the production, supply, storage and processing of agricultural products have vehicles of various capacities, including special vehicles for transporting perishable products (auto-refrigerators);

- local producers cooperate with relevant transport companies, especially foreign companies, to meet their needs for refrigerated trucks, including auto-refrigerators, used for transporting agricultural products, especially to export markets. Railway transport also has an important share in transporting products to export markets. The share of transportation by air and water transport is very small [16].

The share of agricultural products produced in enterprises in the structure of the total agricultural product in 2022 was 46.5% for crop products and 53.5% for livestock products. The share of crop products for individual entrepreneurs, family farms and households was 50.8%, and the share of livestock products was 49.2%. As can be seen from the data, a slight difference is observed when comparing the share of individual entrepreneurs, family farms and households and the share of agricultural enterprises in the structure of the total product. The increase in the share of individual entrepreneurs, family farms and households is of great importance in the socio-economic development of those engaged in the field, and in the employment of the population.

According to the statistics of the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, the economic regions with high production of melon products in the country are Karabakh, Nakhchivan, Ganja-Dashkasan, Central Aran, Mil-Mugan, Sheki-Zagatala, Shirvan-Salyan. Production of sugar beet in Shamkir, Tovuz, Beylagan, Bilasuvar, Hajigabul, Agjabedi, Fuzuli, Agsu, Imishli regions has higher production indicators than other regions [17].

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

Adapting the geography of agriculture to modern requirements and ensuring its sustainable development depends on increasing the efficiency of its economic relations, and more effectively adapting to the laws and conditions of global economic integration. Taking into consideration that a number of agricultural products are exportable in Azerbaijan, attention is paid to their development. The fact that domestic products are of high quality and have an international comparative advantage makes it one of the priority directions of meeting consumer demand through domestic production and increasing exports. There are agricultural and processing industries in the republic whose products are semi-finished products and in most cases are exported without passing the final processing stage [8].

Based on the indicators of production of crop products by species, when comparing 2010 and 2022, the production of cereals and cereal legumes, vegetables is observed with continuous growth. Fluctuating growth is noticeable in potato and melon products.

Agriculture is spread over a wide area and is currently the most engaged area of the republic's population. It also creates a basis for the development of other economic activities. Agricultural zoning is mostly related to climate-soil conditions, real estate entrepreneurship such as farms. The distinctive features of such regions include the configuration of their territory, the characteristics of the used equipment, seasonality, intensity level, quick change of specialization and etc. [7].

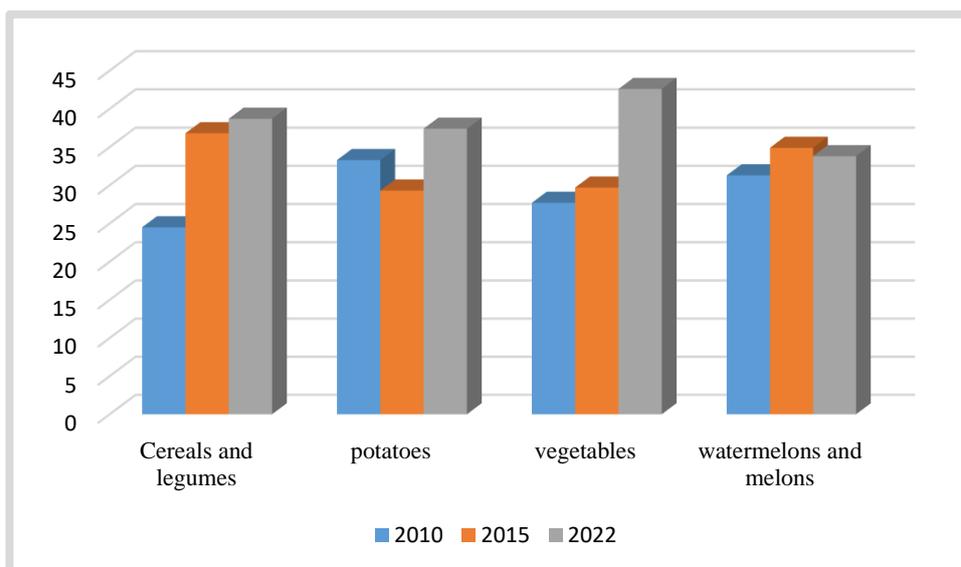


Fig. 1. Production indicators of crop products, %

Source: Agriculture of Azerbaijan. Baku, 2022.

Based on the production indicators of crop products by species, when comparing 2010 and 2022, continuous growth is observed in the production of cereals, cereal legumes, and vegetables. Variable growth is noticeable in potatoes and melons. Exports are dominated by unprocessed fruits and vegetables.

Canned fruit and vegetable and fruit juice production facilities with large production capacity are located in Khachmaz, Guba, Bilasuvar, Kurdamir, Gabala, Gusar, Goychay, Lankaran, Masalli, Gazakh, Balaken, and Zagatala regions. Wine production enterprises with large and small production capacity located in Ganja, Goygol, Shamkir, Tovuz, Nakhchivan, Agsu, Absheron, Ismayilli, Khachmaz, Sheki regions of the republic, "Janub Agro" LLC rice plant in Lankaran-Astara economic region, Astaracay LLC tea processing factory, "Avangard MMC" in Jalilabad district cleans and packages cereals and legumes, rice plant, tea processing factory operates in Lankaran district. Enterprises for the production of vegetable oils based on sunflower, corn, and olive raw materials operate in the regions. Vegetable oil production enterprises are located in Absheron, Shirvan districts, butter and vegetable oil production enterprise is located in Sumgayit city. Mineral and carbonated water production enterprises are located in Nakhchivan, Absheron, Gadabey, Gazakh, Shamakhi, Agstafa, Samukh, Shamkir regions, salt production enterprises are located in Absheron-Khizi and Nakhchivan economic regions. Since tea is a product in demand in the country, a certain part of it is imported in addition to local production. Azerbaijani tea is distinguished by its quality. It is exported to many countries.

In 2022, the economic regions that dominate the harvesting of grain and grain legumes across the country are Sheki-Zagatala /14.9%/, Central Aran /11.7%/, Dagliq Shirvan /11.4%/, Karabakh /11.6%/, Shirvan-Salyan /11.2 %/. Shirvan-Salyan, Gazakh-Tovuz economic regions take a leading place in sugar beet harvesting. 50.9% of the country's potato harvest is shared by the regions Gazakh-Tovuz economic region, 51.1% of the melon harvest is in Mil-Mugan, 20.6% of the vegetable harvest is in Gazakh-Tovuz, and 16.1% is in the Karabakh economic region [17]. The natural conditions of the Absheron-Khizi economic region and the lack of arable land limit the possibilities of growing agricultural products. Vegetables and melons are mainly grown in this region. Despite the low indicators in Ganja-Dashkasan, Central Aran, Eastern Zangezur economic regions, the mentioned economic regions are promising in the future in terms of growing sugar beet.

The development of food and food products through processing has historically been related to the areas of agriculture and animal breeding, and it has necessitated the formation of a purposeful system of relations between the areas of production, supply, processing, storage and trade. Thus, people living in different places tried to meet their demand for these products in different seasons of the year by adapting to local conditions and using activities based on the production, storage and processing of seasonal crops and livestock products with basic methods. In addition to preventing the spoilage of the products obtained in this way, the nutritional qualities and consumption possibilities of these products have been improved [18].

It should be noted that the measures implemented by the state for the development of both the food industry and the agriculture that supplies it with raw materials provide an additional stimulus to the development of the field. State programs of the socio-economic development of the regions of the Republic of Azerbaijan (2004–2008) [19], State programs of the socio-economic development of the regions of the Republic of Azerbaijan (2009–2013) [20], The main goal in the preparation of State programs of the socio-

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

economic development of the regions of the Republic of Azerbaijan (2014–2018) [21], State programs of social and economic development of regions of the Republic of Azerbaijan (2019–2023) [22], State program on the reliable supply of food products to the population in the Republic of Azerbaijan (2008-2015) [23], the Strategic Roadmap for production and processing of agricultural products in the Republic of Azerbaijan (2016) [16] are to provide the population with food products through local production. In 2007, the Laws of the Republic of Azerbaijan "On Breeding", "Fishing" were adopted, the State Program for 2018–2025 on "Development of Rice Farming in the Republic of Azerbaijan", 2018–2027 — on "Development of Tea Cultivation in the Republic of Azerbaijan" The State Program for the years 2018–2025 on "Development of citrus fruit growing in the Republic of Azerbaijan" was prepared.

In addition to protecting and increasing the livelihoods of individual entrepreneurship and family farms, producing more products in the future is one of the main issues. To meet the growing and changing food demand, to halt environmental degradation and restore the degraded environment, significant improvements in using efficiency of resources and some progress in the conservation of raw materials are necessary factors on a global scale [1].

One of the measures implemented by the state was the creation of agricultural parks in the regions. The creation of agricultural parks has been started since 2014. In agroparks, work was carried out on the organization of the processes of growing, processing and production of agricultural products. The main goal is the development of entrepreneurship, peasant farms in the regions, increasing production, reducing imports, and expanding exports.

Among the imported food products during the years 2000–2022, the import of agricultural products such as wheat flour, corn, rice and wheat flour, as raw materials sugar and tea slightly increased in the mentioned years. increased during the mentioned years.

During the years 2000–2022, the specific weight of food sector products in exported products was 9%. The share of agricultural products in the exported food products was 77.8% in 2000 and 87.3% in 2022. Of the mentioned products, potatoes, fresh fruits and vegetables are important for export without processing.

The analysis of the sustainable level of the quality of the agricultural product shows that the problem is of great importance in the context of economic, social and market relations. The sustainable efficiency of quality in agricultural geography is explained by the fact that high quality products increase purchasing power and accelerate the formation of a market economy. On the other hand, the sustainable development of quality creates an initial source of ideas for the creation of a technological production model. As a result, the process of transformation of agricultural production areas into competitive structures is formed [8].

According to the statistical analysis there was an increase in the production of meat, milk and eggs during the mentioned years. Meat production (in slaughter weight) increased /1.4 times/, milk production /1.4 times/, egg production /1.8 times/. It should be noted that the table contains the total of products produced both by agricultural enterprises and by individual entrepreneurs, family farmers and households [17].

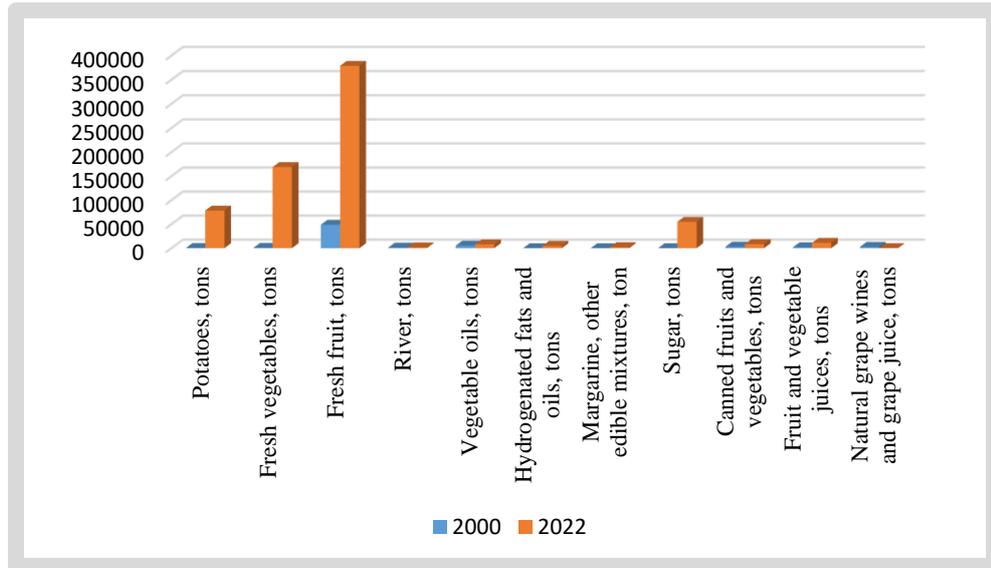


Fig. 2. Exported food products, %

Source: [17].

Guba-Khachmaz, Central Aran, Shirvan-Salyan, Karabakh, Mil-Mugan economic regions take a leading place in meat production. In milk production, Karabakh, Central Aran, Mil-Mugan, Lankaran-Astara, Absheron-Khizi, Shirvan-Salyan, Mil-Mugan economic regions take the leading place in egg production [17].

Meat products manufacturing enterprises across the country include food products refinery factory in Khachmaz city, meat and various ready-made food cans at Qafqaz cannery, "Hijaz", "Sab", "Sevimli dad", "Hunters", "Halal Nemet", Sahlily in Absheron-Khizi economic regions, Elba meat and meat products enterprise and other private enterprises, Khirdalan meat processing enterprise and others. In order to meet the needs of the urban population, some enterprises are located in Absheron district, Baku city and surrounding areas. Khirdalan milk processing enterprise for the production of dairy products is located in Baku city "Milk" pro.ltd, Taimeks, Az Food Company, Hökmeli settlement, Nakhchivan, Agjabedi, Bilasuvar, Saatli, Tovuz, Gabala, Kurdamir districts. In the field of production of poultry products, there are meat-oriented poultry farms, poultry processing enterprises in Nakhchivan economic region, poultry (broiler) enterprises in Siyazan, Shamkir, Lankaran, Jalilabad, Khachmaz, Shabran, Neftchala, Sabirabad, Beylagan, Kurdamir, Salyan, Imishli regions. For the production of fish products, fish factory named after N. Narimanov, Khilli fish breeding, fish feed, processing and canning in Neftchala district, Lankaran fish canning factory, Khudat fish processing, fish breeding and processing enterprises were established in Nakhchivan, Shahbuz, Sharur regions [19].

In order to meet the demand for flour and flour products, special importance is given to the development of grain farming, and grain storage complexes and processing enterprises have been established. "Absheron Takil" LLC, "Karat-Holding", "Karmen LLC", "Ganja-Dairman" LLC, "Baku-Takil" OJSC, "Khachmaz-Takil" LLC, "Khirman"

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

LLC, "AZAGROTAXIL" LLC for grain processing in the republic, "Sari Sunbul" company, "SAF Express Agro" LLC grain processing enterprises can be mentioned [20].

In 2022, self-sufficiency with all types of meat products was 86.4%, self-sufficiency with dairy products was 84.8%, self-sufficiency with eggs was 99.1%, and self-sufficiency with fish and fish products was 78.2% [17].

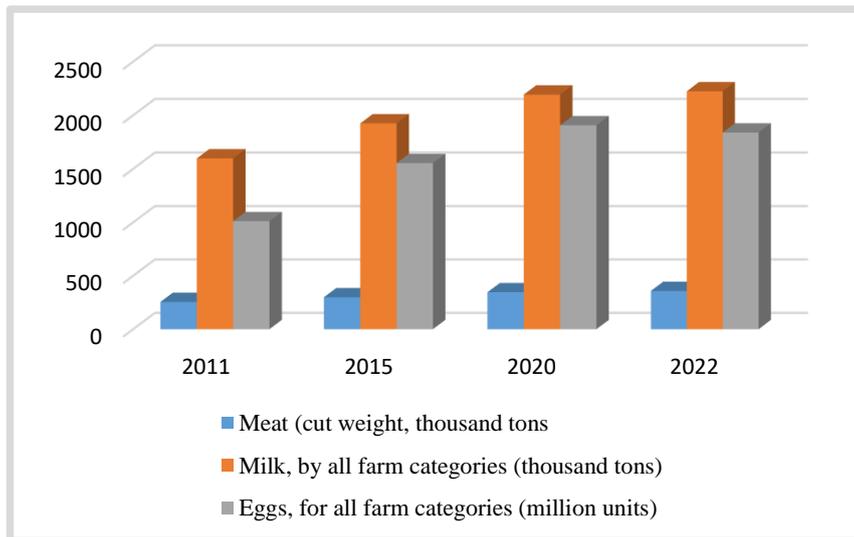


Fig. 3. Production indicators of the main livestock products

Source: [17].

The dynamics of consumption of agricultural products, balancing the supply and demand, the effect of decreasing the price of the product and, as a result under the conditions of stable or decreasing imports, increasing the purchasing power of the population. The main factors affecting the dynamics of livestock products also affects the population's needs for meat products, milk, eggs, the demand for raw materials of the food industry, and the export structure. It determines the production and export balance of livestock products for each product, commodity and goods circulation, the formation of the market demand structure and the accurate consumption structure [24].

Intensive experiments conducted over many years in many countries of the world show that agricultural development and economic growth are necessary for improving both food security and nutrition [2].

The state provides concessional loans to entrepreneurs for the modernization and construction of livestock complexes, which allows processing enterprises to use loans on discounted terms. The activity of individual entrepreneurs and family farms is one of the factors that have a positive effect on the development of this field. Agricultural products are grown by rural-farmers, and the income from the sale of products affects the provision of social life of agricultural work forces, creating conditions for providing employment to the population in the regions. Modern forms of location of industrial production affect the improvement of the territorial organization of the economy and the development of

regions. The efficient placement of industrial enterprises affects the employment of the population and the improvement of their social situation.

CONCLUSION

1. There are some types of products that are imported as raw materials. One of the reasons for this is to meet local demand, and another reason is that after being imported as raw materials, they undergo a processing process and become exportable as finished products. For example is raw sugar. After being imported as raw materials, the finished product is obtained at a sugar processing plant in the Imishli region. One of the main issues in the supply of agricultural products is to increase the supply of raw materials in order to reduce imports. A relative decrease in the production indicators of legumes, melons, and sugar beet has been observed over the last 10 years. The production of green tea leaves is observed with a weak growth rate. Green tea leaves are grown in Lankaran, Astara, Masalli, and Zagatala regions across the country. As there is fact that Lankaran economic region has the advantage in production of tea, it is appropriate to increase production.

2. According to the analyzes of the production indicators of vegetable crops in the economic regions, melons and vegetable crops in the Daglig-Shirvan economic region, potatoes, melons, vegetables, sugar beet in the Ganja-Dashkasan economic region, melon plants in the Guba-Khachmaz economic region, vegetables and melons in the Sheki-Zagatala economic region production of plants has weak indicators compared to other economic regions.

3. According to the analysis of the indicators of the development of animal breeding, it is appropriate to increase the production of meat products in Absheron-Khizi, Ganja-Dashkasan and Daglig-Shirvan economic regions.

4. From the analysis of indicators of the level of self-sufficiency with crop products, it can be concluded that there is a need to increase the self-sufficiency of legumes, cereals. An increase in self-sufficiency with livestock products is observed over the years.

5. In the direction of the development of the food sector, it is appropriate to implement the following factors: the produced product should satisfy local demand and have export value; high quality and competitive product production, increasing product range; investment attractiveness, creation of favorable conditions for entrepreneurial activity; qualified personnel training;

Thus, the analysis of the issues of supplying the food industry with agricultural products which are the raw material base, shows that there is great prospects for the future development of this field in the country. Measures are being taken by the state to expand the raw material base. In the future, in order to make entrepreneurs pay more attention to this field, continuous measures, increasing investment, and increasing the supply of agricultural raw materials are among the important factors that will be implemented in the direction of the development of the food industry.

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF
AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

Reference

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 2017, 180 p.
2. Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics (GSARS). URL: www.FAO.org.
3. Акденіз, З., Агрікултурал сектор ін Түркіє анд політїес фоллошед ін агрїкултурє ін 2000. Т.Ц. Істанбул Універсіте Інстітуе оф Соціал Сціенсес, Департмент оф Економіс, Департмент оф Економіс Полїці, Мастерс Thesis, Істанбул, 2019, 163 п. (in Türkiye)/
4. Valiyev, Dzh., Politika ekonomichnoho rozvytku, realizovana v Azerbaydzhani; pryklad sil'skohospodars'koho sektoru, Instytut sotsial'nykh nauk Stambul's'koho universytetu T. S., Departament ekonomiky, Stambul, 2008, 293 stor. (in Türkiye).
5. Надїров, А.А. Фодд індустри оф тхе Азербайян ССР: / А. Надїров [ет ал.] Баку: 1963, Інстітуе оф Економіс, 435 п. (in Azerbaijan).
6. Hadzhyzade A.M. Azerbaydzhans'kyu promyslovyu kompleks. Baku: 1975, Azernashr, 201 p. (in Azerbaijan).
7. Гасанов Т. Г. Економіко-географїчне районування. Баку: 2012, БДУ, 245 с. (in Azerbaijan).
8. Kurbanzade A.A. Neohrafiya sil's'koho hospodarstva Azerbaydzhanu. Baku: Kooperasiya, 2011, 256 p. (in Azerbaijan).
9. Zeynalli A.T. Suchasni problemy sil's'kohospodars'koyi heohrafiyi Azerbaydzhanu. Baku: Elm, 2005, 392 p. (in Azerbaijan).
10. Aliyev K.K. Регїональні проблеми розвитку підприємництва в аграрній сферї. Baku: Nurlar, 2009, 160 s. (in Azerbaijan).
11. Erbay R., Yrd.Doç.Dr./Asst.Prof.Dr., Rol' sil's'koho hospodarstva v ekonomichnomu rozvytku: ohlyad Turechchyny., 2013, 16 stor. (in Türkiye).
12. Hekimoglu, B., Altindeger, M., Potensial sektoru zamorozhenykh produktiv kharchuvannya, pidrozdil stratehichnoho rozvytku inzheneriv sil's'koho hospodarstva, T.C. Upravlinnya sil's'koho ta lisovoho hospodarstva provintsiyi Samsun. 2019, (in Türkiye).
13. Tukhtabaev J.Sh., Uktamov Kh. F., Kukhar V.S., Loretts O.G., Neverova O.P. :IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, The role of industrial enterprises in ensuring food security, 2022.
14. Kuşat, N., Kösekahyaoglu, L., Doslidzhennya faktoriv, yaki nehatyvno vplyvayut' na innovatsiyni rishennya firm u kharchovomu sektori: pryklad rehionu zakhidnoho Seredzemnomor'ya, 2012, 180–205 p. (in Türkiye).
15. Ібрагімова, Н. Ї. Економіка харчової промисловості: / Н. Ї. Ібрагімова [та ін.], Баку: Маарїф, 1986, 445 с. (in Azerbaijan).
16. Strategic Roadmap for the production and processing of agricultural products in the Republic of Azerbaijan: // approved on December 6, Baku: 2016, 177 p.
17. Agriculture of Azerbaijan. Baku: ARDSK, 2024. 774 p.
18. Аббасов, В.Х., Горчієва Т.К. Девелопмент прїорїтїес оф фодд індустри ареас. Агрїкултурал Економіс 2020, No. 1 (31) (in Azerbaijan).
19. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2004-2008): // Prepared on February 11, 2004, Baku: 2009, 204 p.
20. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2009-2013): // Prepared on April 14, 2009, Baku: 2010, 352 p.
21. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2014-2018): // Prepared on February 27, 2014, Baku: 2019, 324 p.
22. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2019-2023): // Prepared on January 29, 2019, Baku: 2020, 352 p.
23. The State Program on the reliable supply of food products to the population in the Republic of Azerbaijan (2008-2015) // was also adopted on August 25, 2008., Baku: 2008, 61 p.
24. Aliyev K.K. Регїональні проблеми розвитку підприємництва в аграрній сферї. Baku: Nurlar, 2009, 160 s. (in Azerbaijan).

ЗНАЧЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЫРЬЕ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Бабаева З. Р.

*Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку, Республика Азербайджан
E-mail: z11ismayilova@gmail.com*

В статье дана характеристика сельскохозяйственной продукции, являющейся основной сырьевой базой пищевой промышленности Республики Азербайджан. Одна из основных особенностей пищевой промышленности и перерабатывающих предприятий связана с развитием сельского хозяйства. Основной целью было рассмотрение вопросов обеспечения регионов сельскохозяйственным сырьем. Природные условия республики имеют большие перспективы для развития сельскохозяйственных угодий в регионах. В статье приводятся результаты анализа продукции, полученной в результате промышленной переработки, на основе официальных данных Государственного комитета по статистике Азербайджанской Республики. Дана информация о значении сельскохозяйственных предприятий и субъектов хозяйствования в обеспечении сельскохозяйственным сырьем, их роли и значении в развитии отрасли.

В Азербайджане часть сельскохозяйственной продукции импортируется в качестве сырья. Часть импорта удовлетворяет потребности местных производителей. Другое направление использования импортного сырья (например, сырой сахар) — его реэкспорт в третьи страны. Одна из основных проблем в снабжении сельскохозяйственной продукции республики — это увеличение поставок сырья с целью сокращения импорта. За последние 10 лет наблюдается относительное снижение производственных показателей бобовых, дынь и сахарной свёклы. Производство зеленого чая наблюдается с низким темпом роста. Листья зеленого чая выращиваются в Ленкорань, Астаре, Масаллы и Закатале. Однако, именно Ленкорань имеет преимущества в производстве чая, где целесообразно увеличивать его производство.

Согласно анализу производственных показателей овощных культур в экономических регионах, производство дынь и овощных культур в Дагли-Ширванском экономическом районе, картофеля, дынь, овощей, сахарной свёклы в Гянджа-Дашкасандском экономическом районе, дынных культур в Губа-Хачмазском экономическом районе, овощей и дынь в Шеки-Загатальском экономическом районе имеет слабые показатели по сравнению с другими экономическими регионами.

Согласно анализу показателей развития животноводства, целесообразно увеличить производство мясной продукции в Абшерон-Хызы, Гянджа-Дашкасандском и Дагли-Ширванском экономических регионах.

Из анализа показателей уровня самодостаточности в производстве сельскохозяйственной продукции можно сделать вывод о необходимости увеличения самодостаточности бобовых и злаковых. За годы наблюдается увеличение самодостаточности в производстве продукции животноводства.

RAW MATERIALS OF THE FOOD INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN THE ROLE OF AGRICULTURE IN PROVIDING

В направлении развития пищевой отрасли целесообразно реализовать следующие факторы: произведенный продукт должен удовлетворять местный спрос и иметь экспортную ценность; производство высококачественной и конкурентоспособной продукции, увеличение ассортимента; инвестиционная привлекательность, создание благоприятных условий для предпринимательской деятельности; подготовка квалифицированных кадров.

Таким образом, анализ вопросов обеспечения пищевой промышленности сельскохозяйственными продуктами, которые являются сырьевой базой, показывает, что существует большой потенциал для дальнейшего развития этой сферы в стране. Государством принимаются меры по расширению сырьевой базы. В будущем, чтобы привлечь предпринимателей к этому направлению, непрерывные меры, увеличение инвестиций и увеличение поставок сельскохозяйственного сырья будут важными факторами для развития пищевой промышленности.

Ключевые слова: пищевая промышленность, сельское хозяйство, растениеводство, животноводство, производство.

Литература

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 2017, 180 p.
2. Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics (GSARS). URL: www.FAO.org.
3. Акденіз, З., Агрікултурал сектор ін Түркіє анд поліцієс фоллошед ін агрікултуре ін 2000. Т.Ц. Істанбул Універсіті Інстітуте оф Соціал Сцієнцес, Департмент оф Економіцс, Департмент оф Економіцс Поліці, Мастерсьє Thesis, Істанбул, 2019, 163 п. (in Türkiye)/
4. Valiyev, Dzh., Polityka ekonomichnoho rozvytku, realizovana v Azerbaydzhani; pryklad sil's'kohospodars'koho sektoru, Instytut sotsial'nykh nauk Stambul's'koho universytetu T. S., Departament ekonomiky, Stambul, 2008, 293 stor.
5. Надіров, А.А. Фодд індустрі оф тхе Азербайян ССР: / А. Надіров [ет ал.] Баку: 1963, Інстітуте оф Економіцс, 435 п.
6. Hadzhyzade A.M. Azerbaydzhans'kyu promyslovyyu kompleks. Baku: 1975, Azernashr, 201 p.
7. Гасанов Т. Г. Економіко-географічне районування. Баку: 2012, БДУ. 245 с.
8. Kurbanzade A.A. Neohrafiya sil's'koho hospodarstva Azerbaydzhanu. Baku: Kooperasiya, 2011. 256 p.
9. Zeynalli A.T. Suchasni problemy sil's'kohospodars'koyi heohrafiyi Azerbaydzhanu. Baku: Elm, 2005, 392 p.
10. Aliyev K.K. Регіональні проблеми розвитку підприємництва в аграрній сфері. Baku: Nurlar, 2009. 160 p.
11. Erbay R., Yrd.Doç.Dr./Asst.Prof.Dr., Rol' sil's'koho hospodarstva v ekonomichnomu rozvytku: ohlyad Turechchyny., 2013, 16 stor.
12. Hekimoglu, B., Altindeger, M., Potensial sektoru zamorozhenykh produktiv kharchuvannya, pidrozdil stratehichnoho rozvytku inzheneriv sil's'koho hospodarstva, T.C. Upravlinnya sil's'koho ta lisovoho hospodarstva provintsiyi Samsun. 2019.
13. Tukhtabaev J.Sh., Uktamov Kh. F., Kukhar V.S., Lorets O.G., Neverova O.P. :IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, The role of industrial enterprises in ensuring food security, 2022.
14. Kuşat, N., Kösekahyaoglu, L., Doslidzhennya faktoriv, yaki nehatyvno vplyvayut' na innovatsiyni rishennya firm u kharchovomu sektori: pryklad rehionu zakhidnoho Seredzemnomor'ya, 2012, 180-205 p.
15. Ібрагімова, Н. Й. Економіка харчової промисловості: / Н. Й. Ібрагімова [та ін.], Баку: Мааріф, 1986, 445 с.
16. Strategic Roadmap for the production and processing of agricultural products in the Republic of Azerbaijan: // approved on December 6, Baku: 2016, 177 p.
17. Agriculture of Azerbaijan. Baku: ARDSK, 2024. 774 p.

18. Аббасов, В.Х., Горчієва Т.К. Девелопмент пріорітес оф фодд індустри ареас. Агрікултурал Економіцс 2020. №.1 (31).
19. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2004-2008): // Prepared on February 11, 2004, Baku: 2009, 204 p.
20. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2009-2013): // Prepared on April 14, 2009, Baku: 2010, 352 p.
21. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2014-2018): // Prepared on February 27, 2014, Baku: 2019, 324 p.
22. State Program of the Republic of Azerbaijan "Socio-economic development of regions" (2019-2023): // Prepared on January 29, 2019, Baku: 2020, 352 p.
23. The State Program on the reliable supply of food products to the population in the Republic of Azerbaijan (2008-2015) // was also adopted on August 25, 2008., Baku: 2008, 61 p.
24. Aliyev K.K. Регіональні проблеми розвитку підприємництва в аграрній сфері. Baku: Nurlar, 2009. 160 p.

Поступила в редакцію 23.06.2024 г.

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 504.3.054

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

Дрыгваль А. В.¹, Дрыгваль П. В.², Табуницик В. А.³

^{1,2,3}*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия,
Курортное, Российская Федерация*

^{1,3}*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Российская Федерация*

²*ФГУП НТЦ Радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, г. Москва,
Российская Федерация*

E-mail: ¹drygva195@mail.ru

В статье проведена оценка содержания диоксида азота (NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом в период 2019–2023 гг. В качестве фоновых значений были взяты концентрации диоксида азота (NO₂) над ООПТ в пределах разных ландшафтных уровней. Используя метод z-анализа (метод расчета стандартизированных аномалий), получены 4 уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота (NO₂): условно низкий уровень загрязнения ($z < 1$), условно средний уровень загрязнения ($1 < z < 2$), условно повышенный уровень загрязнения ($2 < z < 3$) и условно высокий уровень загрязнения ($z > 3$). На основе этих условных уровней загрязнения воздуха были классифицированы данные о концентрации рассматриваемого атмосферного газа, полученные от спутников, и построены карты пространственного распределения отклонений от фоновых значений концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосферном воздухе над Крымским полуостровом в период 2019–2023 гг. Выявлено, что в пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона и плакорного ландшафтного уровня наблюдаются наибольшие зоны распространения условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) за весь рассматриваемый период (2019–2023 гг.)

Ключевые слова: диоксид азота (NO₂), атмосферный воздух, фоновые значения концентраций, ООПТ, уровни загрязнения воздуха, спутниковые данные, z-анализ, стандартизированная оценка, ландшафтные уровни, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды азота (NO₂ и NO) — это важные компоненты земной атмосферы, присутствующие как в тропосфере, так и в стратосфере. Диоксид азота (NO₂) играет значимую роль в качестве предшественника антропогенного озона и является основным фактором образования различных соединений в воздухе, таких как азотная кислота, аэрозольные частицы, пероксиацетилнитрат, нитрозамины и нитрополициклические ароматические углеводороды [1].

Оксиды азота в атмосфере имеют два основных источника образования: природный и антропогенный. Природные оксиды азота образуются в результате электрических разрядов (грозовых) [2], при которых образуется монооксид азота

(NO), который затем окисляется до диоксида азота (NO₂). В небольших количествах NO₂ также может выделяться при разложении растительных остатков микроорганизмами. Также небольшое количество закиси азота (N₂O) выделяется из азотсодержащих соединений в почве [3].

Основным источником антропогенных выбросов оксидов азота (в основном NO) является сжигание топлива при высоких температурах (выше 1000°C) [4, 5]. Некоторые отрасли химической промышленности (производство взрывчатых веществ [6], удобрений [7], обработка металлов [8]) также выделяют монооксид азота (NO), но главным источником выбросов NO является автомобильный транспорт [9].

Закись азота (N₂O) сохраняется в атмосфере на протяжении десятилетий [10]. В стратосфере это вещество вступает в реакцию с атомарным кислородом (O) и гидроксильными радикалами (OH), образуя монооксид азота (NO). Разрушительное воздействие монооксида азота (NO) наиболее заметно на высотах 20-30 километров. Диоксид азота (NO₂) в свою очередь является одним из основных загрязнителей атмосферы, образуясь за счет фотохимических реакций оксидов в атмосфере. Данный загрязнитель способен вызывать смог, кислотные дожди, а также негативно влияет на организм человека (мишень – органы дыхательной системы).

В настоящем исследовании диоксид азота (NO₂) используется как общий показатель концентрации оксидов азота, потому что в течение дня под воздействием солнечного света монооксид азота (NO) и диоксид азота (NO₂) постоянно переходят из одной формы в другую в результате фотохимических реакций с участием озона (O₃). Этот процесс происходит за несколько минут [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Спутниковые данные. В работе использовались спутниковые снимки набора данных Sentinel-5P OFFL NO₂: Offline Nitrogen Dioxide [1], полученные через облачную платформу для геопространственного анализа данных Google Earth Engine [14] по шагам, описанным в статьях Табунщика и др. [11, 12]. В этом наборе данных представлены автономные снимки высокого разрешения концентраций NO₂. Они имеют следующее временное покрытие: с 28 июня 2018 года по настоящее время, а также разрешение 1° x 1°. В работе используются среднегодовые данные концентрации диоксида азота (NO₂) в период 2019–2023 гг.

Прибор TROPOMI на спутнике Sentinel-5 Precursor, с помощью которого получены данные о концентрации диоксида азота (NO₂) в атмосфере, извлекает продукты тропосферного и стратосферного столба диоксида азота (NO₂) [1]. Также для настоящего исследования использовались данные из канала (Band) NO₂_column_number_density. Количественные данные измеряются в моль/м². Данные в этом канале представляют собой концентрацию диоксида азота (NO₂) в общем вертикальном столбе (отношение плотности диоксида азота (NO₂) в столбе и общего коэффициента массы воздуха).

Визуализация спутниковых данных и построение карт производилось с использованием программного комплекса ArcGIS 10.2.

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.**

Фоновые значения концентрации диоксида азота (NO₂). Для проведения анализа отклонений от фоновых значений концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом в качестве фоновых территорий использовались ООПТ представленные в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики особо охраняемых природных территорий (ООПТ)

Наименование ООПТ	Ландшафтный уровень (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]	Площадь, га	Местоположение	Примечание
Природный парк «Калиновский»	Гидроморфный	12000 (включая акваторию озеро Сиваш)	Природный парк расположен на территории Джанкойского района Республики Крым. Ближайший населенный пункт — с. Прозрачное Джанкойского района.	ООПТ регионального значения
Карадагский природный заповедник	Низкогорный южного макросклона	2874,2 (с акваторией)	Ближайший населенный пункт к заповеднику — г. Феодосия, посёлок городского типа Курортное	ООПТ федерального значения
Природный парк «Белая скала»	Низкогорный северного макросклона	2260	Ближайший населенный пункт к участку степи — г. Белогорск	ООПТ регионального значения
Природный парк «Тарханкутский»	Плакорный	10900	Природный парк расположен на территории Черноморского района Республики Крым	ООПТ регионального значения
Национальный парк «Крымский»	Среднегорный	34563,5	Национальный парк расположен на территориях муниципальных образований Республики Крым: Бахчисарайский, Симферопольский муниципальные районы, городские округа Алушта и Ялта	ООПТ федерального значения

Составлено авторами.

Среднегодовые значения концентраций диоксида азота (NO_2) над этими территориями (табл. 2) будут являться фоновыми. Территории выбранных ООПТ, как фоновых в пределах ландшафтных уровней Крымского полуострова представлены на рис. 1.

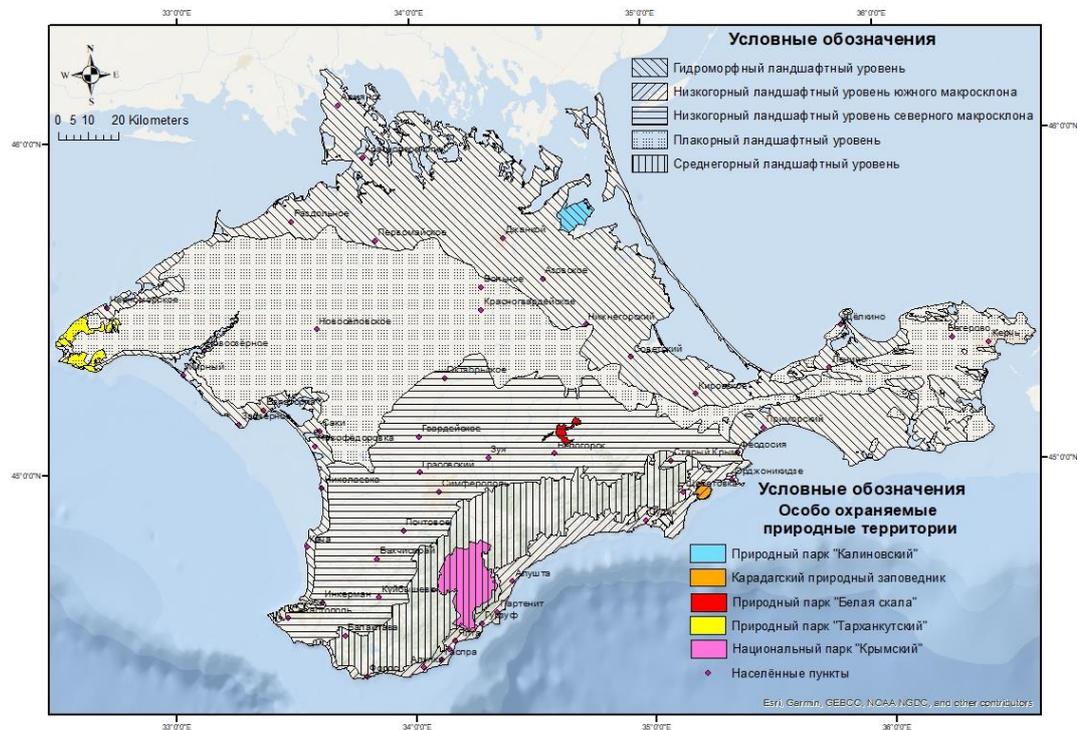


Рис. 1. Особо охраняемые природные территории (фоновые территории) в пределах ландшафтных уровней Крымского полуострова

Составлено авторами.

Для проведения анализа отклонений от фоновых значений концентраций диоксида азота (NO_2) была применена стандартизованная оценка (или z-анализ) значений концентраций рассматриваемого вещества в воздухе. Z-стандартизованная величина ряда данных.

Стандартизованная оценка (z-оценка, англ.: Standard score, z-score) — это мера относительного разброса, наблюдаемого или измеренного значения, которая показывает, сколько стандартных отклонений составляет его разброс относительного среднего значения. Это безразмерный статистический показатель, используемый для сравнения значений разной размерности или шкалой измерений [14].

В качестве оцениваемых выборок данных в настоящей работе выступают выборки со значением концентрации в воздухе над ООПТ, потому что именно они

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.**

используются в качестве фоновых значений. Стандартизированная оценка проводилась для каждого ООПТ за каждый рассматриваемый год: с 2019 по 2023 гг.

Для расчета стандартизированных значений z необходимы:

- переменные (случайные величины), которые и составляют саму выборку (x_i);
- среднее значение (математическое ожидание), которое вычисляется как среднее арифметическое число из ряда данных выборки (\bar{x});
- стандартное (среднеквадратичное) отклонение для рассматриваемой выборки данных (σ).

Таблица 2.

Среднегодовые значения концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосфере над
выбранными ООПТ Крымского полуострова с 2019 по 2023 гг.

Год	Природный парк «Калиновский»	Карадагский природный заповедник	Природный парк «Белая скала»	Природный парк «Тарханкутский»	Национальный парк «Крымский»
моль/м ³ * 10 ⁻⁵					
2019	6,879	6,622	6,887	6,638	6,500
2020	6,648	6,245	6,469	6,262	6,096
2021	7,007	6,678	6,899	6,699	6,617
2022	6,914	6,672	6,924	6,726	6,541
2023	7,398	7,252	7,439	7,079	7,149

Составлено авторами.

Все эти переменные при использовании формулы (1) приводят значения к стандартизированной безразмерной величине (z):

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Так как каждому значению концентрации соответствует свое z -значение, необходимо определить именно пределы концентраций диоксида азота (NO₂), соответствующие значениям $z=1$, $z=2$ и $z=3$, чтобы в соответствии с ними визуализировать отклонение концентрации в ландшафтном уровне относительно фонового значения в ООПТ.

Для проведения z -анализа выборки данных должны соответствовать следующим условиям:

- более 30 значений в выборке;
- нормальное (Гауссовское) распределение значений;

Все рассматриваемые нами выборки соответствуют этим условиям.

Предлагается распределять полученные стандартизированные значения по следующим 4 интервалам относительно фоновых значений концентраций и придать им качественные характеристики:

- условно низкий уровень загрязнения ($z < 1$);
- условно средний уровень загрязнения ($1 < z < 2$): $\bar{x} + 1\sigma$;

- условно повышенный уровень загрязнения ($2 < z < 3$): $\bar{x} + 2\sigma$;
- условно высокий уровень загрязнения ($z > 3$): $\bar{x} + 3\sigma$.

Характеристику «условно» принимаем, поскольку для каждого отдельно рассматриваемого года и для каждого ландшафтного уровня принимаются концентрации как фоновые в пределах выбранных контуров ООПТ, относительно которых выстраиваются качественные характеристики загрязнения атмосферного воздуха. Однако, нельзя утверждать, что уровни загрязнения воздуха: низкие, средние, повышенные или высокие. Они являются таковыми, только при выбранных условиях или относительно концентраций в пределах выбранных контуров ООПТ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием космических снимков из набора данных Sentinel-5P OFFL NO₂: Offline Nitrogen Dioxide [1], полученные через облачную платформу для геопространственного анализа данных Google Earth Engine [15 в статьях Табунщика и др. [11, 12] построены карты полей среднегодовых концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом и отдельно над ландшафтными уровнями Крымского полуострова по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова [13] с 2019 по 2023 гг. Карты были построены с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.5. (Рис. 2)

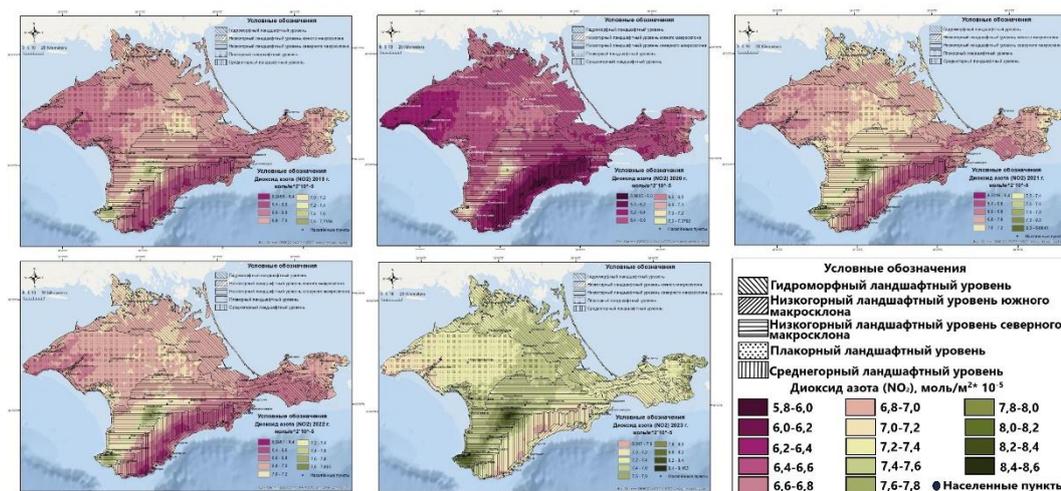


Рис. 2. Распределение концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом в период с 2019–2023 гг.

В табл. 3 представлены статистические данные о концентрации диоксида азота (NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом. Данные в табл. 3 включают крайние значения амплитуды (минимальное и максимальное значения концентрации), амплитуда значений (разность между максимальным и

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.**

минимальным значениями концентрации), среднее арифметическое значение концентраций, стандартное отклонение значений концентрации в пределах территориальных единиц в период с 2019 по 2023 гг.

Таблица 3.

Статистические данные о концентрации диоксида азота (NO₂) в атмосфере над
Крымским полуостровом с 2019 по 2023 гг.

Год	Мин. значение концентрации, моль/м ² *10 ⁻⁵	Мак. значение концентрации, моль/м ² *10 ⁻⁵	Амплитуда значений, моль/ м ² *10 ⁻⁵	Среднее арифм. значение, моль/ м ² *10 ⁻⁵	Станд. откл., моль/ м ² *10 ⁻⁶
1	2	3	4	5	6
Крымский полуостров					
2019	6,247	7,716	1,469	6,815	1,730
2020	5,909	7,370	1,462	6,491	1,843
2021	6,352	8,065	1,713	6,934	1,987
2022	6,247	7,885	1,638	6,899	1,932
2023	6,847	8,463	1,616	7,379	1,798
Гидроморфный ландшафтный уровень (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]					
2019	6,533	7,516	0,984	6,853	1,035
2020	6,066	7,127	1,061	6,550	1,051
2021	6,619	7,682	1,064	6,952	1,267
2022	6,561	7,684	1,123	6,919	1,315
2023	6,947	8,248	1,300	7,391	1,083
Низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]					
2019	6,314	7,174	0,860	6,604	1,146
2020	5,936	6,662	0,726	6,252	1,125
2021	6,383	7,306	0,924	6,665	1,203
2022	6,276	7,200	0,925	6,616	1,296
2023	6,862	7,769	0,906	7,190	1,228
Низкогорный ландшафтный уровень северного макросклона (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]					
2019	6,4665	7,7156	1,2491	6,9372	1,902
2020	6,0383	7,3702	1,3319	6,5795	1,977
2021	6,4698	8,0647	1,5949	7,0905	2,412
2022	6,5268	7,885	1,3582	7,0423	2,215
2023	7,0777	8,463	1,3853	7,5427	2,231
Плакорный ландшафтный уровень (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]					
2019	6,525	7,215	0,691	6,786	1,320
2020	6,102	6,854	0,752	6,494	1,247

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6
2021	6,603	7,200	0,597	6,920	1,087
2022	6,561	7,134	0,573	6,892	0,961
2023	6,955	7,648	0,694	7,336	1,115
Среднегорный ландшафтный уровень (по ландшафтной карте Г.Е. Гришанкова) [13]					
2019	6,247	7,267	1,021	6,596	1,676
2020	5,909	6,794	0,886	6,179	1,515
2021	6,352	7,604	1,253	6,690	2,066
2022	6,247	7,462	1,215	6,643	2,124
2023	6,847	8,008	1,161	7,214	1,835

Составлено авторами.

Максимальные концентрации диоксида азота (NO_2) наблюдаются в 2023 г. (минимальная концентрация равна $6,847 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$, а максимальная — $8,463 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$). В 2020 г. показано наименьшее количество диоксида азота (NO_2) в атмосфере над Крымским полуостровом (минимальная концентрация равна $5,909 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$, максимальная составляет $7,370 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$).

Самые высокие концентрации диоксида азота (NO_2) на протяжении всего рассматриваемого периода с 2019 по 2023 гг. фиксируются в пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона в районе автотрассы от г. Симферополь до г. Севастополь. Самые низкие концентрации диоксида азота (NO_2) фиксируются в пределах среднегорного ландшафтного уровня, над внутренней грядой Крымских гор.

В общем виде наибольшие концентрации диоксида азота (NO_2) в атмосферном воздухе Крымского полуострова в период 2019–2023 гг. ориентируются в направлении от юго-запада на северо-восток, а также в районах г. Красноперекоск, г. Щёлкино и в восточной части Керченского полуострова.

В табл. 4 представлены рассчитанные пределы концентраций диоксида азота (NO_2), соответствующие значениям $z=1$, $z=2$ и $z=3$ на фоновых территориях.

Таблица 4.

Пределы концентраций диоксида азота (NO_2) на ООПТ

Природный парк «Калиновский» (гидроморфный ландшафтный уровень), моль/м²·10⁻⁵			
год	Z=1	Z=2	Z=3
2019	6,931	6,984	7,037
2020	6,688	6,729	6,769
2021	7,067	7,127	7,187
2022	6,956	6,997	7,039
2023	7,441	7,483	7,525

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

Продолжение таблицы 4.

Карадагский природный заповедник (низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона), моль/м²*10⁻⁵			
год	Z=1	Z=2	Z=3
2019	6,639	6,656	6,673
2020	6,272	6,299	6,327
2021	6,703	6,727	6,751
2022	6,686	6,701	6,715
2023	7,286	7,321	7,355
Природный парк «Белая скала» (низкогорный ландшафтный уровень северного макросклона), моль/м²*10⁻⁵			
год	Z=1	Z=2	Z=3
2019	6,921	6,954	6,987
2020	6,507	6,545	6,583
2021	6,935	6,972	7,009
2022	6,963	7,001	7,040
2023	7,458	7,477	7,496
Природный парк «Тарханкутский» (платформенный ландшафтный уровень), моль/м²*10⁻⁵			
год	Z=1	Z=2	Z=3
2019	6,692	6,745	6,799
2020	6,332	6,402	6,472
2021	6,741	6,784	6,827
2022	6,799	6,872	6,945
2023	7,140	7,201	7,262
Национальный парк «Крымский» (среднегорный ландшафтный уровень), моль/м²*10⁻⁵			
год	Z=1	Z=2	Z=3
2019	6,586	6,671	6,757
2020	6,169	6,241	6,314
2021	6,715	6,814	6,912
2022	6,679	6,816	6,954
2023	7,254	7,359	7,464

Составлено авторами.

В соответствии с рассчитанными интервалами концентраций фоновых значений концентраций диоксида азота (NO₂) (табл. 4) визуализируем отклонения от них в пределах всех ландшафтных уровней с 2019 по 2023 гг. Пространственное распределение отклонений от фоновых значений концентраций диоксида азота

(NO₂) в атмосфере над Крымским полуостровом с 2019 по 2023 гг. представлено на рис. 3.

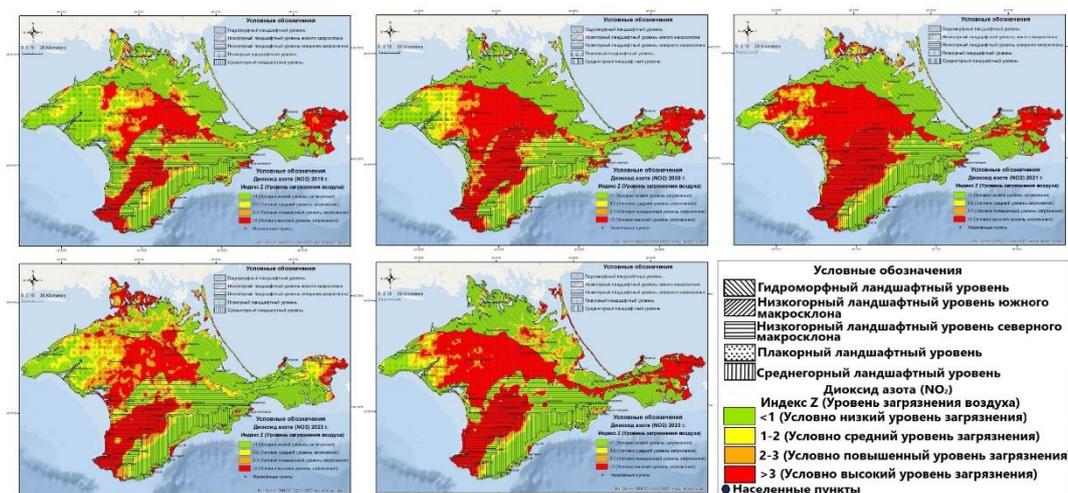


Рис. 3. Пространственное распределение отклонений от фоновых значений концентраций диоксида азота (NO₂) в атмосферном воздухе над Крымским полуостровом в период 2019–2023 гг.

Составлено автором.

Над Крымским полуостровом в период 2019–2023 гг. концентрации диоксида азота (NO₂) в атмосферном воздухе классифицируются в основном как условно низкий уровень загрязнения и условно высокий уровень загрязнения. Условно средний уровень загрязнения и условно повышенный уровень загрязнения имеют небольшие зоны распространения.

В пределах гидроморфного ландшафтного уровня условно высокий уровень загрязнения диоксидом азота (NO₂) наблюдается в северной части ландшафтного уровня (2019–2022 гг.), пик распространения такого уровня загрязнения приходится на 2022 г. В 2023 г. условно высокий уровень загрязнения диоксидом азота (NO₂) фиксируется на Арабатской стрелке. Также такой уровень загрязнения фиксируется в 2019 г. южнее г. Джанкой и в 2022 г. и 2023 г. в районах г. Джанкой и п. Азовское.

Низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона характеризуется небольшими зонами распространения условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) в районах п. Форос, п. Гаспра, г. Ялта, г. Алушта, г. Судак и п. Орджоникидзе. Причем, нужно отметить, что в 2023 условно высокий уровень загрязнения диоксида азота (NO₂) наблюдался только в районе г. Алушта, а в районе г. Судак такой уровень загрязнения фиксировался в 2019 г., 2020 г., 2022 г. (юго-восточнее г. Судак).

В пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона условно высокий уровень загрязнения диоксидом азота (NO₂) в период 2019–2023 гг. наблюдается практически на 1/2 доли территории ландшафтного уровня (от

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

г. Севастополь до г. Зуя). Также условно высокий уровень рассматриваемого газа зафиксирован в г. Белогорск. Наибольшая зона распространения условно высокого уровня зафиксирована в 2020 и 2021 гг. Распространение условно высокого уровня концентрации диоксида азота (NO₂) в воздухе в этой зоне обусловлено наличием дорожно-транспортной инфраструктуры.

Плакорный ландшафтный уровень характеризуется большими зонами распространения условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) в 2020 г., 2021 г. и 2023 г. В 2019 г. и 2022 г. зона этого распространения меньше, поскольку увеличилась зона распространения условно низкого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) на западе Крымского полуострова. Условно высокий уровень загрязнения диоксидом азота (NO₂) отмечаются в пределах этого ландшафтного уровня на западной части Керченского полуострова с 2019 по 2023 гг.

Для среднегорного ландшафтного уровня характерно распространение условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) только в юго-западной его части, а также в районе г. Балаклава.

Несмотря на тенденцию к увеличению среднегодовой концентрации NO₂ над Крымским полуостровом (в среднем на $0,577 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$) за рассматриваемые 6 лет, территории, которые охватывают высокие относительные уровни загрязнения уменьшаются (за счет увеличения значений фоновых концентраций NO₂ над ООПТ).

ВЫВОДЫ

За рассматриваемый период с 2019 по 2023 гг. наименьшие концентрации диоксида азота (NO₂) отмечаются в 2020 г. (от $5,909 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$), и напротив, наибольшие — в 2023 г. ($8,463 \text{ моль/м}^2 \cdot 10^{-5}$).

Самые высокие концентрации диоксида азота (NO₂) на протяжении всего рассматриваемого периода с 2019 по 2023 гг. фиксируются в пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона в районе автотрассы от г. Симферополь до г. Севастополь, а также ориентируются в направлении от юго-запада на северо-восток. Высокие концентрации зафиксированы также в районах г. Красноперекоск, г. Щёлкино и в восточной части Керченского полуострова.

Самые низкие концентрации диоксида азота (NO₂) фиксируются в пределах среднегорного ландшафтного уровня, над внутренней грядой Крымских гор.

В пределах низкогорного ландшафтного уровня северного макросклона и плакорного ландшафтного уровня наблюдаются наибольшие зоны распространения условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) за весь рассматриваемый период (2019–2023 гг.).

На распространение условно высокого уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) в пределах Крымского полуострова за рассматриваемый период влияют многие факторы, среди которых: изрезанность береговой линии, которая способствует накоплению и рассеиванию газов в атмосфере (низкогорный ландшафтный уровень южного макросклона), плотность дорожной сети и

населенных пунктов (низкогорный ландшафтный уровень северного макросклона), общая циркуляция атмосферного воздуха, рельеф земной поверхности — внешняя и внутренняя гряды Крымских гор вносят свои коррективы в распределение и перенос атмосферных газов в пределах Крымского полуострова (среднегорный ландшафтный уровень), социальные факторы (пандемия COVID-19 и др.).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала ФИЦ ИнБЮМ по теме «Мониторинг климатически активных веществ в наземных экосистемах Республики Крым в условиях изменения климата и антропогенного воздействия с применением дистанционных методов исследований» (№ гос. регистрации 124052000057-0).

Список литературы

1. Earth Engine Data Catalog. Sentinel-5P OFFL NO2: Offline Nitrogen Dioxide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_NO2#description. (дата обращения: 27.04.2024)
2. Кузнецова В.Л., Соловьева А.Г. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21037> (дата обращения: 15.10.2024).
3. Середина В.П. Загрязнение почв: учебное пособие. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. 346 с.
4. Пашков Л.Т. Основы теории горения. М.: МЭИ, 2002. 136 с.
5. Росляков П.В., Закиров И.А. Нестехиометрическое сжигание природного газа и мазута на тепловых электростанциях. М: МЭИ, 2001. 144 с.
6. Султанов Е.В., Булушев Д.А., Акинин Н.И., Смирнов С.П. Количественное определение оксидов азота (II) в продуктах взрыва модельных промышленных составов на основе нитрата аммония // Успехи в химии и химической технологии. 2022. Т. 36. № 10. С. 124–128.
7. ГОСТ Р 56828.44-2018. Наилучшие доступные технологии. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. Выбор маркерных веществ для выбросов в атмосферу от промышленных источников. М: Стандартинформ, 2018. 16 с.
8. Шабанова И.А., Ковалева С.В., Коршунов А.В. Сравнительная эффективность технологий очистки отходящих газов от оксидов азота // Инженерный вестник Дона. 2023. №5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8428> (дата обращения: 15.10.2024).
9. Ситдикова А.А., Святова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19623> (дата обращения: 15.10.2024).
10. Денисова К.О., Ильин А.А., Ильин А.П., Румянцев Р.Н., Волкова А.В. Закись азота: получение, применение, защита окружающей среды // Журнал общей химии. 2019. Т. 89. №6. С. 1338–1346.
11. Tabunschik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Unveiling Air Pollution in Crimean Mountain Rivers: Analysis of Sentinel-5 Satellite Images Using Google Earth Engine (GEE) // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. iss. 13. Art. №. 3364. 25 p.
12. Tabunschik V., Gorbunov R., Bratanov N., Gorbunova T., Mirzoeva N., Voytsekhovskaya V. Fatala River Basin (Republic of Guinea, Africa): Analysis of Current State, Air Pollution, and Anthropogenic Impact Using Geoinformatics Methods and Remote Sensing Data // Sustainability. 2023. Vol. 15. iss. 22. Art. №15798. 29 p.
13. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

14. РУНИВЕРСАЛИС энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://руни.рф/Z-оценка> (дата обращения: 13.07.2024).
15. Google Earth Engine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthengine.google.com/> (дата обращения: 27.04.2024).

**ASSESSMENT OF NITROGEN DIOXIDE (NO₂) CONTENT IN THE
ATMOSPHERE OVER THE CRIMEAN PENINSULA
IN THE PERIOD 2019–2023**

Drygval A. V.¹, Drygval P. V.², Tabunschik V. A.³

^{1,2,3}T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosia, Kurortnoye, Russia

^{1,3}A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

²FSE RTC RCSH, Moscow, Russia

E-mail: ¹drygval95@mail.ru

The article assesses the nitrogen dioxide (NO₂) content in the atmosphere over the Crimean Peninsula in the period 2019–2023. Nitrogen dioxide (NO₂) concentrations over protected areas within different landscape levels were taken as background values. Using the z-analysis method (method of calculation of standardized anomalies), 4 levels of atmospheric air pollution by nitrogen dioxide (NO₂) were obtained: conditionally low pollution level ($z < 1$), conditionally medium pollution level ($1 < z < 2$), conditionally elevated pollution level ($2 < z < 3$) and conditionally high pollution level ($z > 3$). Based on these conditional levels of air pollution, data on the concentration of the considered atmospheric gas obtained from satellites were classified and maps of the spatial distribution of deviations from background values of nitrogen dioxide (NO₂) concentrations in the atmospheric air over the Crimean Peninsula in the period 2019–2023 were constructed.

The highest concentrations of nitrogen dioxide (NO₂) throughout the period under consideration from 2019 to 2023 are recorded within the low-mountain landscape level of the northern macroslope in the area of the highway from Simferopol to Sevastopol, and oriented in the direction from southwest to northeast. High concentrations were also recorded in the areas of Krasnoperekopsk, Shchylkino and in the eastern part of the Kerch Peninsula.

The lowest concentrations of nitrogen dioxide (NO₂) are recorded within the mid-mountain landscape level, over the inner ridge of the Crimean Mountains.

Above the Crimean Peninsula in the period 2019–2023 nitrogen dioxide (NO₂) concentrations in the atmospheric air are classified mainly as conditionally low pollution level and conditionally high pollution level. Conditionally medium pollution level and conditionally high pollution level have small distribution zones.

It is revealed that within the low-mountain landscape level of the northern macroslope and the upland landscape level the largest zones of distribution of conditionally high level of nitrogen dioxide (NO₂) pollution for the whole period under consideration (2019–2023) are observed.

Keywords: nitrogen dioxide (NO₂), atmospheric air, background concentration values, protected areas, air pollution levels, satellite data, z-analysis, standardized assessment, landscape levels, Crimean Peninsula.

References

1. Earth Engine Data Catalog. Sentinel-5P OFFL NO₂: Offline Nitrogen Dioxide [Electronic resource]. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_NO2#description, (дата обращения: 27.04.2024) (in English).
2. Kuznecova V.L., Soloveva A.G. Oksid azota: svoystva, biologicheskaya rol', mekhanizmy dejstviya (Nitric oxide: properties, biological role, mechanisms of action) // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015. no. 4. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21037> (дата обращения: 15.10.2024). (in Russian).
3. Seredina V.P. Zagryaznenie pochv: uchebnoe posobie (Soil contamination: textbook) Tomsk: Izdatel'skij Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (Publ.), 2015. 346 p. (in Russian)
4. Pashkov L.T. Osnovy teorii goreniya (Basics of combustion theory). M.: MEI (Publ.), 2002. 136 p. (in Russian).
5. Roslyakov P.V., Zakirov I.A. Nestekhiometricheskoe szhiganie prirodnogo gaza i mazuta na teplovyh elektrostanciyah (Non-stoichiometric combustion of natural gas and fuel oil at thermal power plants). M.: MEI (Publ.), 2001. 144 p. (in Russian).
6. Sultanov E.V., Bulushev D.A., Akinin N.I., Smirnov S.P. Kolichestvennoe opredelenie oksidov azota (II) v produktah vzryva model'nyh promyshlennyh sostavov na osnove nitrata ammoniya (Quantitative determination of nitrogen oxides (II) in the explosion products of model industrial compositions based on ammonium nitrate) // *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*, 2022, Vol. 36. no. 10. pp. 124–128. (in Russian).
7. GOST R 56828.44-2018. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Proizvodstvo ammiaka, mineral'nyh udobrenij i neorganicheskikh kislot. Vybormarkernykh veshchestv dlya vybrosov v atmosferu ot promyshlennyh istochnikov (GOST P 56828.44-2018. Best available technologies. Production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids. Selection of marker substances for air emissions from industrial sources.). M: Standartinform (Publ.), 2018. 16 p. (in Russian).
8. Shabanova I.A., Kovaleva S.V., Korshunov A.V. Sravnitel'naya effektivnost' tekhnologij oчитki othodyashchih gazov ot oksidov azota (Comparative efficiency of technologies for purification of waste gases from nitrogen oxides) // *Engineering Bulletin of the Don*, 2023. no. 5. [Electronic resource]. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8428> (дата обращения: 15.10.2024) (in Russian).
9. Sitdikova A.A., Svyatova N.V., Careva I.V. Analiz vliyaniya vybrosov avtotransporta v krupnom promyshlennom gorode na sostoyanie zagryazneniya atmosfernogo vozduha (Analysis of the impact of motor transport emissions in a large industrial city on the state of atmospheric air pollution) // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 3 [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19623> (дата обращения: 15.10.2024) (in Russian).
10. Denisova K.O., Il'in A.A., Ilin A.P., Romyancev R.N., Volkova A.V. Zakis' azota: poluchenie, primenenie, zashchita okruzhayushchej sredy (Nitrous oxide: production, application, environmental protection) // *Zhurnal obshchej himii*, 2019, Vol. 89, no. 6. pp. 1338–1346 (in Russian).
11. Tabunschik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Unveiling Air Pollution in Crimean Mountain Rivers: Analysis of Sentinel-5 Satellite Images Using Google Earth Engine (GEE) // *Remote Sensing*, 2023, Vol. 15, iss. 13., Art. №. 3364. 25 p. (in English).
12. Tabunschik V., Gorbunov R., Bratanov N., Gorbunova T., Mirzoeva N., Voytsekhovskaya V. Fatala River Basin (Republic of Guinea, Africa): Analysis of Current State, Air Pollution, and Anthropogenic Impact Using Geoinformatics Methods and Remote Sensing Data // *Sustainability*. 2023, Vol. 15, iss. 22. Art. № 15798. 29 p. (in English).
13. *Sovremennye landshafty Kryma i sopredel'nyh akvatorij* (Modern landscapes of Crimea and adjacent water areas). E.A. Pozachenyuk. Ed. Simferopol: Biznes-Inform (Publ.), 2009. 672 p. (in Russian).

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА (NO₂) В АТМОСФЕРЕ НАД
КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ В ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

14. RUNIVERSALIS enciklopediya (RUNIVERSALIS encyclopedia) [Electronic resource]. URL: <https://руни.рф/Z-оценка> (дата обращения: 13.07.2024) (in Russian).
15. Google Earth Engine. [Electronic resource]. URL: <https://earthengine.google.com/> (дата обращения: 27.04.2024) (in English).

Поступила в редакцию 30.10.2024 г.

УДК 911.52 (911.3)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

Остроухов А. В.¹, Климина Е. М.², Мирзаханова З. Г.³

*^{1,2,3}Институт водных и экологических проблем Хабаровского федерального
исследовательского центра ДВО РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация
E-mail: ¹Ostran2004@mail.ru, ²kliminaem@bk.ru, ³lorp@iver.as.khb.ru*

На основе комплекса методов геоэкологического и ландшафтного анализа с применением геоинформационных технологий выделены границы пригородной зоны города Хабаровска и создана карта ландшафтов территории в масштабе 1: 200 000. Показано, что современные процессы землепользования, проявляются в отрицательной динамике исходно лесных земель и увеличении площадей селитебно-промышленных земель. Анализ функциональной роли природных ландшафтов позволил выделить четыре категории геосистем по степени измененности и уровням значимости средообразующих функций. Он отразил, что пределах пригородной зоны 38,8% геосистем относятся к условно неизменным и слабоизменным, в том числе 28,6% имеют экологические функции региональной значимости, в то же время наиболее измененные геосистемы занимают площадь 15,5%. Результаты свидетельствуют о том, что возможности экстенсивного увеличения используемых земель в значительной мере исчерпаны.

Ключевые слова: пригородная зона, оценка состояния ландшафтов, экологическая значимость ландшафтов, Хабаровск.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции к всеобщей глобализации мирового развития прослеживаются во всех сферах жизни стран и народов, в том числе в нарастающих процессах урбанизации. Они проявились в росте городов, городских агломераций, интенсивном росте населения, проживающих в них. В 1990 году было всего 10 городов с населением более 10 млн человек, но к 2030 году таких мегаполисов будет больше 40 [1]. В глобальном масштабе с 2000 по 2030 гг. площадь урбанизированных земель может утроиться. Эти тренды, определяющие будущее планеты, заставляют искать варианты снижения их негативных проявлений. Сегодня больше половины населения мира живет в городах, в России этот показатель составляет 74 %, а в дальневосточных городах сосредоточено до 87 % населения. Учитывая основные тенденции современной экономической и геополитической обстановки в России, обусловившие кардинальный разворот экономики страны на восток, дальневосточные города, уже сегодня являющиеся центрами активизации развития, будут расти как в площадном, так и численном выражении.

Урбанизация — противоречивое явление с набором положительных и отрицательных явлений. По мнению Эйфари А.К., Манцева В.В., город является «в известной степени мутагенным фактором на Земле» [2, с.55]. Являясь частью природной системы, человек отрываясь от нее и погружаясь в техногенный мир, испытывает стресс от экологических проблем и отсутствия возможности непосредственного контакта с природой. Это предопределяет возрастающее внимание к пригородным зонам урбанизированных территорий, с одной стороны,

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

как к зоне перспективного роста селитебных земель, с другой, как некоего природного «резерва», обеспечивающего комфортность и экологическое благополучие городской среды, для поддержания которой разработка планов социально-экономического развития территории должна опираться на данные о современном состоянии ландшафтов не только городской территории, но и пригородной зоны с точки зрения выполняемых ими различных, в том числе экологических, функций. Целью работы является анализ современного состояния и экологической значимости ландшафтов пригородной зоны города Хабаровска — одного из самых крупных центров ДФО, а также факторов, предопределивших их изменения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методической основой работы послужил комплекс традиционных и инновационных методов географии, таких как геоэкологический и ландшафтный анализ, метод ландшафтной индикации, экспертных оценок, полевых исследований, картографический. Важным компонентом последнего в настоящее время выступает активное применение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), прежде всего, снимков среднего пространственного разрешения спутников Landsat-8, Sentinel-2, которые были использованы при ландшафтном картировании. Кроме того, данные высоко детальных изображений сервиса ArcGIS Imagery позволили выполнить дешифрирование и инвентаризацию антропогенно преобразованных земель. Дополнительно, для оценки динамики землепользования применены данные Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover [3] (пространственное разрешение 10 м/пиксель) и Global Forest Change (GFC) [4] (пространственное разрешение 30 м/пиксель). Кроме спутниковой информации исходными материалами выступил широкий набор опубликованных и архивных материалов, в том числе картографических [5, 6], территориальные планы муниципальных образований и районов, результаты экспедиционных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Пригородные зоны в структуре землепользования выделяются особым статусом. Его специфика продиктована сложными факторами самого разнообразного плана, но объединенными географическим положением пригорода и подчинением его роли функциональному развитию города. Практически все проблемы (экологические, ресурсные, территориальные, социальные, экономические) использования территорий пригородной зоны, а также варианты их решения, в значительной степени обусловлены необходимостью удовлетворения потребностей города. Поэтому понятие «город» неотделимо от понятия его «пригородной зоны» и, более того, они находятся в системном единстве. Следует отметить, что основные проблемы в функционировании и развитии пригородных территорий связаны с особенностями использования их материальных, финансовых, земельных и других ресурсов. Их истоки заложены как в неоднозначности содержания понятия пригородной зоны, так и неопределенности размеров и границ

зоны, самого термина «пригородная зона», особенностях регулирования отраслевого перераспределения земельных ресурсов, рынка земли и иной недвижимости.

Анализ литературных, в том числе словарных источников, нормативно-правовых документов, в которых даются описание сущности пригородной зоны, ее назначение и общие характеристики, позволяет обобщить и уточнить данный термин [7, 8, 9].

Под пригородной зоной мы понимаем примыкающую к городской черте территорию, которая по функциональному назначению является неотъемлемой частью города в соответствии с экономическими, пространственными, трудовыми, рекреационными связями и закрепленную комплексом административных, градостроительных документов.

Пригородная зона выполняет ряд важных народнохозяйственных функций (земельно-ресурсных, экономических, транспортно-инфраструктурных, культурно-бытовых, рекреационных, природоохранных и др.), при этом их реализация влечет за собой то или иное воздействие, влияющее на преобразование территории и сохранение ее качества. Наибольшую проблему представляет «расползание» города за счет создания поселений.

Проблемы развития пригородных зон городов Хабаровского края сходны с таковыми в других регионах России, различия связаны с имеющейся региональной спецификой. Она проявляется в характере освоения этих территорий, природных параметрах, уникальности растительного и животного мира, более высоких показателях ландшафтного и биологического разнообразия, а для Хабаровска — и в трансграничном положении. Впервые за много лет встал вопрос о комплексных исследованиях пригородных зон городов края, который вскрыл ряд проблем. Одна из них — крайне слабая степень изученности по сравнению с другими регионами.

Для Хабаровска крайне важным аспектом исследований является необходимость определения пространственных границ его пригородной зоны. В настоящее время этот вопрос решается на основе различных подходов [7, 10]. В основе определения границ лежит принцип обеспечения различной функциональной комфортности населения как городского, так и проживающего в пригороде. Он предусматривает выделение:

- ареала трудовых поездок из пригородов в ядро;
- рекреационного ареала, образуемого землями, предназначенными и используемыми жителями ядра и пригородов для организации отдыха, туризма;
- физкультурно-оздоровительной и спортивной деятельности граждан;
- ареала загородных односемейных домов жителей ядра;
- ареала распространения СНТ;
- зон массовых культурно-бытовых поездок жителей пригородных поселений в ядро;
- 45-минутной или 60-ти минутной транспортной доступности,
- маршрутов общественного пригородного транспорта в направлениях пригороды — ядро;

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

– территорий, относящиеся к землям муниципальных образований населенных пунктов, входящих в агломерацию и др.

Выделенная с учетом приведенных выше требований к определению границ, а также региональных природных и административных особенностей территории, пригородная зона города Хабаровска, охватывает западную часть Хабаровского района Хабаровского края (рис. 1), её площадь составляет 3468,1 км² (3856,8 км² — вместе с городом Хабаровск). Использование преимущественно административных границ обусловлено необходимостью сохранения «управляемости» территорией, то есть её выделением в пределах одного субъекта РФ — Хабаровского края, исключая западную часть зоны, относящуюся к ЕАО. Восточная граница уже не связана с административной и выделена на основе ареала транспортной доступности и зоны пешеходной доступности для отдыхающих от основных автодорог.

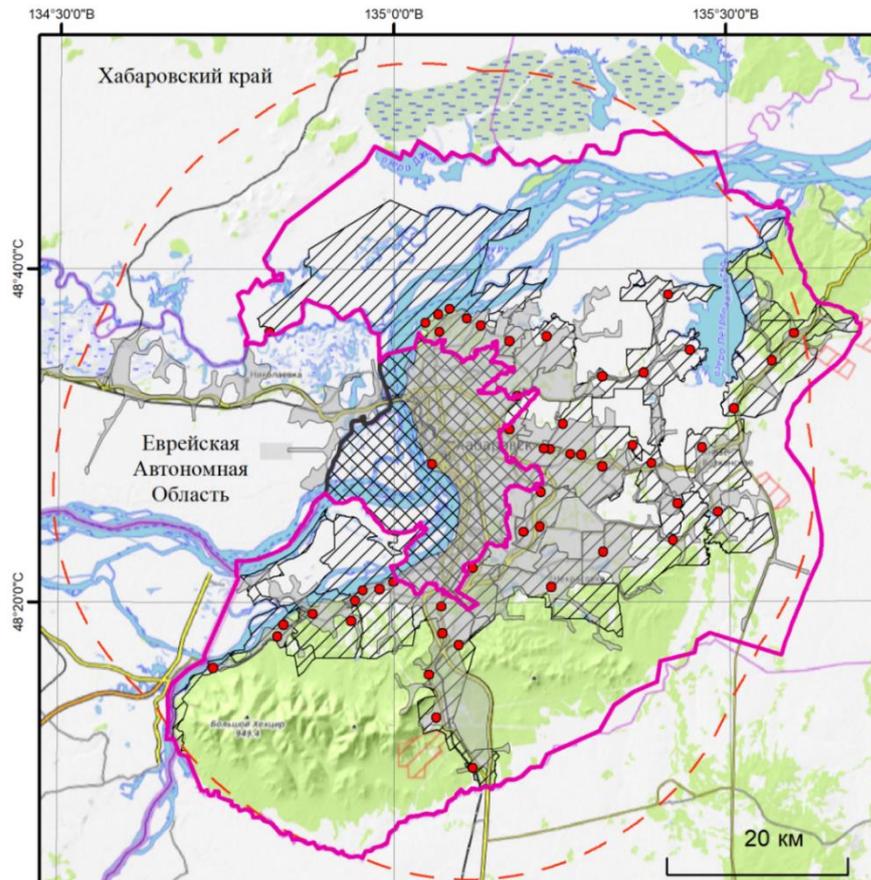
Для анализа природной дифференциации территории пригородной зоны Хабаровской агломерации на основе опубликованных и картографических материалов, данных ДЗЗ (Landsat-8, Sentinel-2 и др.) в программной среде ArcGIS 10.8 была создана инвентаризационная карта ландшафтов в масштабе 1: 200 000. Основной единицей ландшафтного картирования приняты типы урочищ.

Согласно схемам ландшафтно-географического районирования, территория, г. Хабаровск и его пригородов относится к Амуро-Уссурийскому округу Среднеамурской ландшафтной области Амуро-Сахалинской страны и расположена в пределах двух ландшафтных районов: Хабаровского и Хехцирского, что определяет значительные различия в физико-географических условиях [12, 13].

Ландшафтная структуры пригородной зоны характеризуется следующими особенностями. Во-первых, ее положение в пределах Среднеамурской низменности и низкогорного хребта Хехцир определяет контрастность и высокое ландшафтное разнообразие геосистем (58,5% территории составляют равнинные ландшафты, 11% — горно-предгорные). Во-вторых, с запада и севера расположены крупные реки Амур, Усури и приустьевая часть крупного левого притока Амура — р. Тунгуска. Как следствие, треть территории (30,5%) приходится на пойму, водную поверхность рек и крупного припойменного озера Петропавловское. Третья особенность — неравномерность и периферийность распространения лесных массивов (относительно г. Хабаровск). Из общей площади лесов, занимающих 28,3% территории, 11% — относится к горным и предгорным, из оставшихся, равнинных, большая часть примыкает с севера и востока к хребтам Большой и Малый Хехцир, 5,6% расположено в поймах малых рек и менее 3 % лесов — на остальной части низменной равнины (преимущественно в восточной части). Нельзя не отметить такую особенность данной территории как наличие двух ООПТ федерального уровня — заповедника «Большехехцирский» и заказника «Хехцирский», части регионального заказника «Бобровый», суммарно занимающих площадь 30,7% пригородной зоны. Заповедник полностью охватывает хребет Большой Хехцир, включая все горные геосистемы территории, часть равнинных геосистем (14,7% площади исследуемой территории).

Пригородная зона Хабаровска расположена в пределах четырех подклассов ландшафтов (пойменные, равнинные низменные, предгорные и низкогорные), 62

типов урочищ. Более дробное деление локальных геосистем в данной работе не рассматривается. При выделении ландшафтных выделов учитывался и характер антропогенной деятельности, а также и связанная с ним степень измененности природных геосистем.



Границы:

- - Российской Федерации
- - регионов РФ
- - 30-ти километровая зона
- - зона 60-ти минутной транспортной доступности

Земли муниципальных образований:

- - г. Хабаровск
- - сельских поселений
- - населенные пункты входящие в Хабаровскую агломерацию

Рис. 1. Границы пригородной зоны г. Хабаровска.

Составлено авторами по [10, 11].

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

Как было отмечено выше, основным фактором преобразования ландшафтов пригородной зоны является «расползание» города. Его пространственное развитие влечет за собой строительство инженерно-коммуникационной, транспортной, дорожной инфраструктуры. К негативным факторам относятся высокие риски возникновения ландшафтных пожаров, связанные с деятельностью человека (палы, несанкционированные места отдыха), формирование свалок, рост стихийной рекреации. Отражением сложившейся ситуации служит современное использование земель, представленное на рисунке 2.

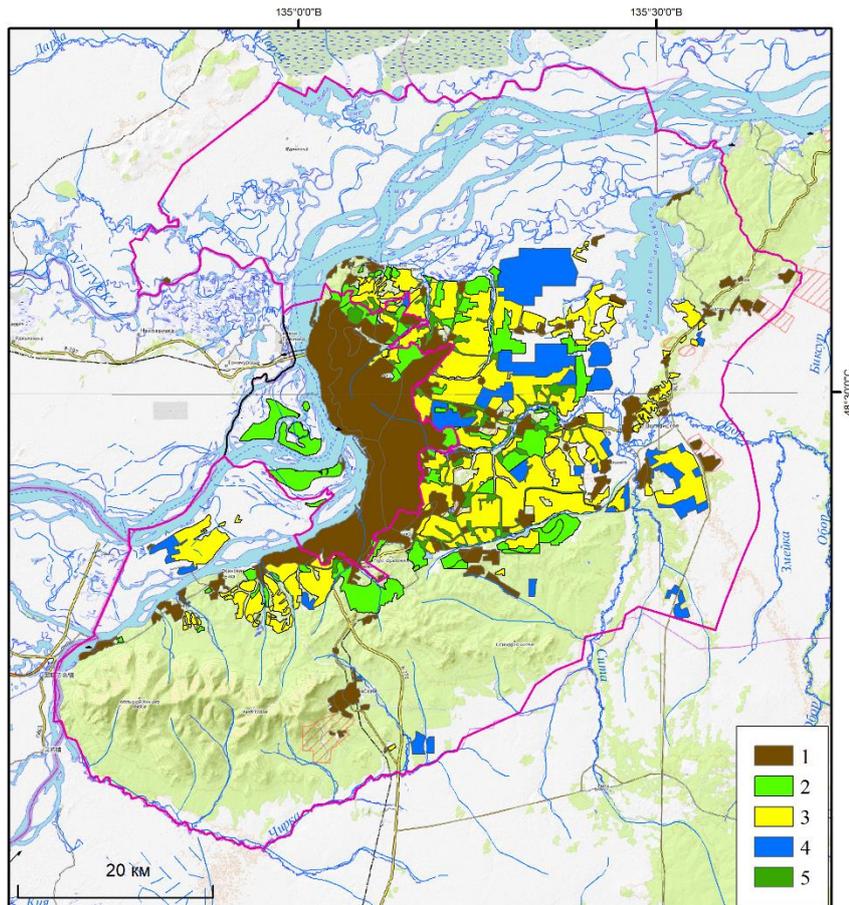


Рис. 2. Антропогенно-преобразованные земли пригородной зоны г. Хабаровска: 1 — селитебно-промышленные зоны, 2 — дачи и коттеджные поселки, 3 — мелиоративные системы, не используемые в сельском хозяйстве, 4 — сельскохозяйственные угодья, 5 — постантропогенные лугово-кустарниковые сообщества с мелколиственно-широколиственным редколесьем.

Составлено авторами.

Обращает на себя внимание, что распределение преобразованных земель относительно выделенных подклассов ландшафтов неравномерное. Наименьшая степень освоенности характерна для ландшафтов низкогорий и предгорий, поскольку относится к двум ООПТ федерального и регионального уровней. Хозяйственная деятельность в поймах рек так же сильно лимитирована, причем ограничения связаны не только с запретами и нормативами, но и большими внутри- и межгодовыми колебаниями уровня реки Амур, приводящие к затоплению обширных территорий. В результате максимальная степень преобразования характерна для ландшафтов низменных полого-холмистых равнин делювиально-пролювиального (25,3% территории) и особенно аллювиального (56,2) генезиса (рис. 2, табл. 1).

Таблица 1.
Доля антропогенно-преобразованных земель в ландшафтах пригородной зоны г. Хабаровска, % от общей площади

Подкласс ландшафтов	Антропогенно-преобразованные земли						природные сообщества	Итого	
	1*	2	3	4	5	всего,			
						% от общей			% от площади подкласса
Низкогорные	0,03	-	-	-	-	0,03	0,28	10,36	10,39
Предгорные	-	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60
Низменные равнины: <i>аллювиальные</i>	2,08	1,66	7,61	2,64	1,03	15,01	51,05	14,39	29,40
<i>делювиально-пролювиальные</i>	1,28	0,98	1,21	0,10	0,09	3,67	16,22	18,95	22,62
Пойменные: <i>крупных рек</i>	0,09	0,03	0,03	0,28	-	0,42	7,45	5,21	5,63
<i>малых рек</i>	0,05	0,02	0,48	0,15	-	0,70	3,28	20,79	21,49
акватория	-	-	-	-	-	-	-	9,87	9,87
Итого	3,53	2,69	9,33	3,16	1,12	19,83	19,83	80,17	100,0

* — категории антропогенно-преобразованных земель см. рис. 1.

Составлено авторами.

Дополнительно для оценки динамики земель использованы данные Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover [3] и Global Forest Change (GFC) [4]. Анализ данных по потерям леса за 2000–2022 гг. на основе материалов GFC показал, что за 22 года они составили 12,62 км², или 0,33% от территории пригородной зоны. За этот же период восстановление лесной растительности произошло на территории в 3,03 км² (0,078%).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

При этом по данным Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover общая площадь лесных земель увеличивается, что объясняется восстановлением древесной растительности (103,7 км²) на неиспользуемых мелиоративных системах и сельскохозяйственных угодьях, а также на постантропогенных пустошах. Одновременно, эти земли выступают основным источником приращения селитебно-промышленных территорий. Потери леса, зафиксированные данными GFC в последние годы (2010–2023), связаны со строительством автостреды «обход Хабаровска», затронувшим территории лесных земель на юге пригородной зоны.

Высокие показатели антропогенной освоенности ландшафтов в совокупности с активным экономическим освоением территории делают актуальным определение приоритетов использования отдельных ландшафтов и оценку их эколого-функциональной значимости, как критерия допустимости освоения.

Вопросы выявления функциональной значимости были рассмотрены в ходе проведения ландшафтно-экологического зонирования крупных природных объектов – Среднеамурской низменности и Северного Сихотэ-Алиня [14, 15]. На основе региональных классификаций функций, прежде всего, лесных экосистем [16, 17], были выделены три основные группы: средообразующие, ресурсообразующие, средовосстанавливающие. Уровень значимости функций отражает роль в системе ранжирования: региональный — для геосистем высокого иерархического ранга (ландшафтный район и область), локальный — для конкретных геосистем (местность, урочище).

Средообразующие функции рассматриваются как приоритетные для сохранения геосистем, поддержания внутри- и межландшафтных связей. К ним относятся почво-, водо-, атмосферо-, биотоохранные; стокоформирующие, водорегулирующие, эрозионностабилизирующие. Все функции в равной степени важны и поэтому в тех случаях, когда трудно отдавать предпочтение той или иной функции, они часто обозначаются общим понятием — «ландшафтообразующие». Однако для ряда геосистем зачастую необходимо выделить особо значимые, доминирующие в зависимости от положения в рельефе, сочетания растительных формаций и т.д. (например, эрозионностабилизирующие). По степени измененности выделено три группы геосистем: условно неизменные и слабоизмененные, слабо- и среднеизмененные (с производными растительными сообществами) и сильноизмененные (антропогенно-техногенные, техногенные).

Экологически значимые ландшафты (природной и социально-эколого-экономической значимости) выделяются по совокупности факторов. В группу природной значимости входят: 1) ландшафты как природные эталоны (типичные, реликтовые, уникальные) (категория «сохранение ландшафтного разнообразия»); 2) ландшафты, для которых характерно наличие высокозначимых биотопов («сохранение биоразнообразия»); 3) высоко уязвимые к антропогенному воздействию, выделяемые по совокупности разрушающих и лимитирующих природных и антропогенных факторов («высоко уязвимые»). Геосистемы, выделенные по критериям социально-эколого-экономической значимости, характеризуются наличием 1) объектов природно-культурного и культурного наследия (категория «культурные ландшафты»); 2) компонентов, представляющих

ресурсную ценность (ресурсной значимости); 3) наиболее острых экологических ситуаций антропогенного происхождения для сильноизмененных ландшафтов) (экологически неблагоприятные) [14]. Регламентация режима может быть вызвана различными, зачастую противоположными причинами: от необходимости сохранения ненарушенных геосистем до полного или частичного восстановления деградированных ландшафтов. В ландшафтном планировании наиболее экологически значимые ландшафты являются узловыми элементами каркасов локального и регионального уровней [18].

Анализ функциональной роли природных геосистем основывался на учете следующих факторов:

- сохранения условно ненарушенных и слабоизмененных геосистем по периферии пригородной зоны (рис. 3);
- высокой средообразующей значимости ряда геосистем (на уровне не ниже регионального), связанной с их положением в пойме трансграничной реки Амур и хребта Большой Хехцир;
- территории максимального биоразнообразия в крае;
- историко-культурными условиями, определившими развитие Приамурья и юга Дальнего Востока в целом;
- приграничным положением.

Для пригородной зоны выделено четыре категории геосистем (по степени измененности и уровням значимости средообразующих функций), каждая из которых объединяет несколько групп ландшафтов (табл. 2). Условно неизменные и слабоизмененные геосистемы занимают площадь 38,9 %, из них с функциями региональной значимости — 28,6 %. Для этой группы геосистем приоритетными являются средообразующие функции. Наиболее измененные геосистемы (четвертая категория геосистем) нуждаются в поддержании экологических функций (в зависимости от вида и степени хозяйственного освоения) и восстановлении нарушенной среды.

Первые две группы относятся к условно коренным и слабонарушенным геосистемам, выполняющим важнейшие средообразующие функции регионального уровня, что частично подтверждено наличием двух ООПТ, включая заповедник. Сюда входят лесные геосистемы низкогорного хребта Хехцир и возвышенных равнин (таежные и хвойно-широколиственные) (9,8% площади пригородной зоны), пойменные ландшафты р. Амур, его крупнейших притоков Уссури и р. Тунгуски (19,9%) (табл. 2, рис. 2). Близость положения к г. Хабаровск с высокими рисками антропогенного пресса, предъявляет особые требования к поддержанию статуса заповедника и заказника «Хехцирский». Несмотря на то, что эти группы геосистем частично входят в состав ООПТ, необходимо осуществление ландшафтного планирования локального уровня с формированием соответствующего ландшафтно-экологического каркаса в рамках города (городских районов), а также территорий сельских поселений.

Важнейшей средоформирующей системой регионального уровня, частично входящей в пригородную зону Хабаровска, является пойменный комплекс реки Амур и впадающих в него рек, урочища склонов хребтов, относящихся к береговой

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

зоне Амура, болотные комплексы, выполняющие водорегулирующую и ландшафтообразующую роль [19, 20]. С Амуром связаны геоморфологические и гидрологические процессы, во многом определяющие функционирование геосистем, исследуемой пригородной зоны. Это, в первую очередь, наводнения и подтопления в пределах поймы озерно-аккумулятивной равнины, пойменные процессы боковой речной эрозии [21].

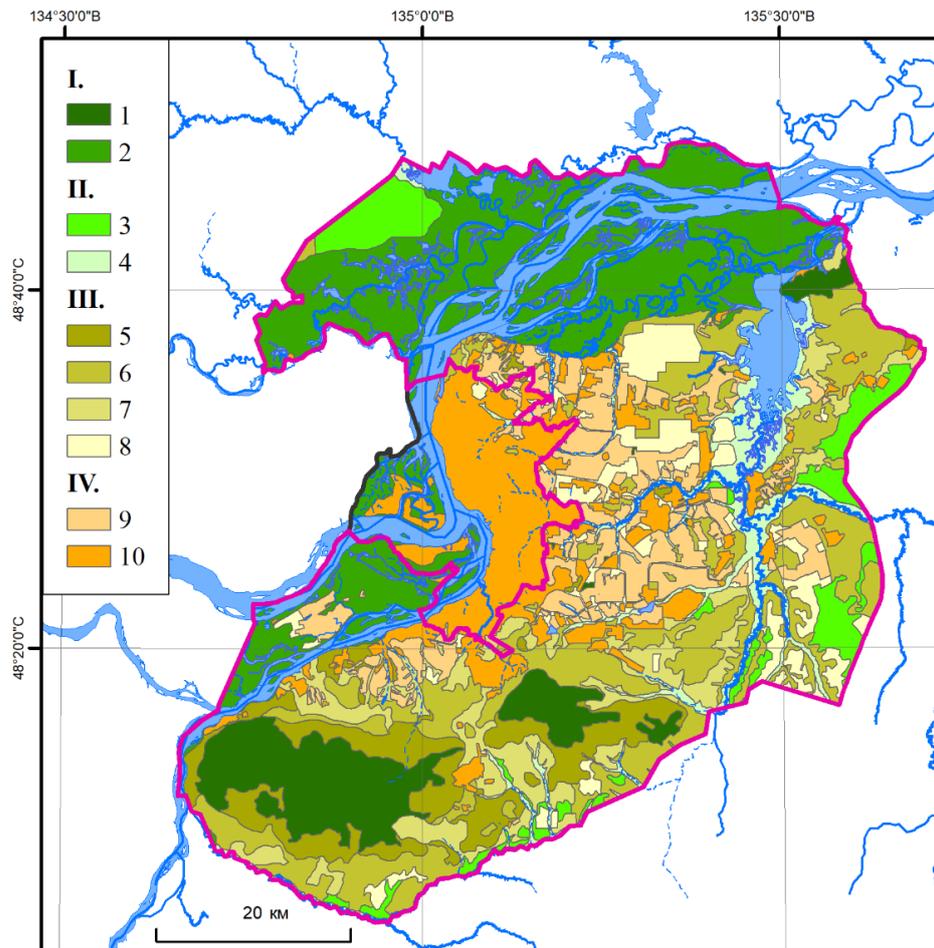


Рис. 3. Функционально-экологически значимые геосистемы пригородной зоны г. Хабаровска. Условные обозначения — см. таблицу 2.

Составлено авторами.

Пойменный комплекс реки Амур также нужно рассматривать с учетом условий формирования культурного наследия коренных малочисленных народов Приамурья, как историко-культурный фактор освоения Приамурья русскими. Пригородная зона Хабаровска является местом локализации подлежащих восстановлению культурных

ландшафтов как опорных звеньев в культурно-природном каркасе Приамурья [22]. Таким образом, пойменные ландшафты Амура и его притоков имеют самые высокие показатели экологической значимости в регионе.

Таблица 2.

Функционально-экологическая значимость геосистем пригородной зоны г. Хабаровска

№	Геосистемы и категории экологически значимых ландшафтов (ЭЗЛ)	Доля площади геосистем, %	
		от общей площади	в ООПТ (в т.ч. заповедник)
1	2	3	4
I. Неизменные и слабоизмененные с экологическими функциями регионального уровня			
1	Горно-таежные и горно-лесные (с каменноберезняками высокогорными, елово-пихтовыми, кедрово-еловыми, кедрово-широколиственными лесами) с высоким средо- и стокоформирующим потенциалом, высоким биоразнообразием. ЭЗЛ: 1. типичные, 2. сохраняющие биоразнообразие, 3. Высоко уязвимые.	7,8	91,0 (64,0)
2	Лугово-болотные, кустарниково-лугово-болотные комплексы (с ивово-кустарниковыми сообществами, участками сухих и заболоченных лугов, травяных болот) сильноразветвленной многорукавной поймы р. Амур высокой средообразующей, водорегулирующей, культурной значимости. ЭЗЛ: 1. Типичные, 2. Сохраняющие биоразнообразие, 4. С опасными процессами; 6. С уникальными ресурсами; 7. Культурные.	20,8	0,4 (0,2)
II. Неизменные и слабоизмененные с экологическими функциями локального и регионального уровня			
3	Лесо-болотные, лесо-лугово-болотные комплексы (с лиственничными марями сфагновыми и зеленомошными; сфагновыми и травяными болотами и заболоченными лугами; релочными лесами из дуба, березы плосколистной и даурской и разнотравно-вейниковыми лугами; лиственным редколесьем с осиной, дубом) высокой средообразующей, водорегулирующей и водоохраной, биостационарной значимости; обеспечивающие высокое биоразнообразие. ЭЗЛ: 1. Типичные; 2. Сохраняющие биоразнообразие.	5,1	25,8 (6,5)
4	Пойм малых рек и озер (с широколиственно-мелколиственными, лиственничными, мелколиственно-лиственничными лесами, прирусловыми ивняками, вейниковыми, вейниково-осоковыми с вейниково-разнотравными лугами, травяными болотами) высокой средообразующей, водорегулирующей и водоохраной, биостационарной значимости. ЭЗЛ: 1. Типичные; 2. Сохраняющие биоразнообразие; 3. Высоко уязвимые.	5,2	35,3 (5)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ
ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА**

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4
III. Слабо- и среднеизмененные с экологическими функциями локального уровня частично нарушенными			
5	Лесные и лесо-луговые (с елово-лиственничными, елово-лиственнично-белоберезовыми, лиственными смешанными с разной долей участия березы желтой и плосколистной, осиной лесами; дубово-широколиственными кустарниково-разнотравными лесами) с высоким средо- и стокоформирующим потенциалом, высоким биоразнообразием, биостационарные. ЭЗЛ: 1. Типичные; 2. Сохраняющие биоразнообразие	6,9	86,2 (43,1)
6	Лесные длительнопроизводные (с дубняками при участии березы даурской и плосколистной, лиственницы, с влажными и сырыми вейниково-осоковыми лугами; речными дубняками кустарниково-разнотравными) биостационарной значимости, с ценными растительными ресурсами. ЭЗЛ: 2. Сохраняющие биоразнообразие.	16,1	50,8 (17)
7	Лесные короткопроизводные мелколиственные (с белоберезово-осиново-лиственничными, лиственнично-белоберезово-осиновыми; белоберезово-осиновыми и осиновые кустарниково-травяными лесами) низкопродуктивные, биостационарные ЭЗЛ: 2. сохраняющие биоразнообразие.	7,1	67,3 (17,5)
8	Редколесно-кустарниковые сообщества, молодые мелколиственные леса на гарях (с березой плосколистной, осиной на месте гарей, иногда с фрагментами сохранившегося древостоя) и сильноизмененных территориях (лугово-польно-кустарниковые с редианами дуба, березы плосколистной, осины, ивы), не используемые мелиоративные системы. ЭЗЛ: 2. Сохраняющие биоразнообразие; 4. С экологическими проблемами.	5,6	14,3 (3,7)
IV. Сильноизмененные с экологическими функциями регионального и локального уровня (разной степени нарушенности)			
9	Пашни, сенокосы и пастбища – с естественным и искусственным поддержанием плодородия. ЭЗЛ. 4. С опасными процессами; 6. С уникальными ресурсами.	9,3	1,6 (0)
10	Техногенные, интенсивно освоенные (под селитебными и промышленными зонами, дачными участками, коттеджами). ЭЗЛ. 5. С экологическими проблемами; 7. Культурные ландшафты.	6,2	5,8 (0,1)
	Итого	100	30,7 (12,9)

Составлено авторами.

Следующая группа представлена геосистемами территорий экстенсивного использования, для которых рекомендуются режимы улучшения состояния,

поддержания и сохранения ресурсного потенциала и средовосстановления на площади 35,7%. Сюда входят лесные геосистемы предгорий и возвышенных равнин с высоким средо- и стокоформирующим потенциалом, биостационарные (14,8%); лиственный мари, травяные болота и луга средообразующей значимости (3,5%) и др. Эта группа геосистем подвергается значительному рекреационному воздействию (на территориях вне заповедника) и пожарам.

Четвертая группа включает геосистемы территорий интенсивного освоения, функциональная роль которых в значительной степени связана с искусственным восстановлением и поддержанием состояния ландшафтов. Их доля в пригородной зоне — 15,5 %. Из них почти 3,5% приходится на техногенные и техногенно-антропогенные. Поддержание функций связано с управлением их состоянием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, специфика физико-географического положения пригородной зоны Хабаровской агломерации (наличие крупных пойменных участков, ООПТ федерального уровня и др.) определяет широкий спектр представленности ландшафтов высокой экологической значимости. Это накладывает те или иные ограничения на вовлечение их в хозяйственный оборот, а возможности экстенсивного увеличения используемых земель в значительной мере исчерпаны. В качестве резервного фонда для последующего освоения могут быть рассмотрены ландшафты, занятые мелколиственными лесами, редколесно-кустарниковыми и лугово-кустарниковыми сообществами вне земель ООПТ — в совокупности около 3% от площади пригородной зоны. Дальнейшее увеличение селитебных и промышленных земель может осуществляться, прежде всего, за счет иных категорий антропогенно-преобразованных земель, что и наблюдается в настоящее время.

Учитывая актуальность рассматриваемой проблемы, как в теоретическом, так и практическом плане, необходимы дальнейшие исследования. Они будут направлены на детальный анализ факторов природного и антропогенного преобразования геосистем пригородной зоны, оценку современного и перспективного использования этой территории в рекреационных целях, проведение эколого-функционального зонирования территории, обоснование и разработку её экологического каркаса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Правительства Хабаровского края «Оценка современного состояния ландшафтов пригородной зоны Хабаровской агломерации для обеспечения экологической безопасности населения и комфортности городской среды» (соглашение № 85С / 2024 от 26 июня 2024 г.) и за счет средств государственного задания Министерства науки и высшего образования России ИВЭП ДВО РАН (проект № 121021500060-4).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

Список литературы

1. Анохин П. Ускорение процессов урбанизации: как изменится наш мир завтра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/future/84954-uskorenie-processov-urbanizacii-kak-izmenitsya-nash-mir-zavtra> (дата обращения: 22.06.2024).
2. Эйфари А. К., Манцев В. В. Изменения в современном мире и новые тенденции урбанизации // Вестник РУДН. Серия Экономика. 2000. №1(6). С54–58.
3. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., M. Mazzariello J. C. M., Mathi M. M., Brumby S. P. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning // 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. 2021. P. 4704–4707.
4. Hansen M. C., Potarov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. 342 (15 November). 850. 53. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change> (дата обращения: 02.04.2024).
5. Калихман Т. П., Бардаш А. В., Богданов В. Н., Огородникова Л. Ю., Климина Е. М., Бочарников В. Н. Особо охраняемые природные территории Дальневосточного федерального округа. Атлас. Иркутск: СО РАН. 2018. 588 с.
6. Хабаровск. Историко-географический атлас города 1858–2008. Гл. ред. Т.Н. Гайфулина. Хабаровск: ФГУП "ДВ Аэрогеодезическое предприятие". 2008. 160 с.
7. Зиятдинов Т. З. Делимитация границ городской агломерации методом функциональных ареалов // Архитектон: известия вузов. 2022. № 1(77). DOI 10.47055/1990-4126-2022-1(77)-9.
8. Поносов А. Н. Совершенствование подходов к определению размеров пригородных зон и организация землепользования при территориальном и экономическом развитии пригородных муниципальных образований на примере Пермской агломерации. Пермь: ИПЦ «Прокрость». 2021. 181 с.
9. Земельный кодекс Российской Федерации: текст с изменениями и дополнениями на 14 февраля 2024 г.: Принят Государственной Думой 28 сентября 2001 года. Одобрен Советом Федерации 10 октября 2001 года // Гарант: информационно-правовой портал. Москва. 2024. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/12124624/4f1044cafcee58fdb43ae8a2051b019/> (дата обращения: 11.06.2024).
10. Состав Хабаровской агломерации. Приложение № 6 к Стратегии социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года. Введен постановлением Правительства Хабаровского края от 12.07.2023 N 315-пр. О внесении изменений в постановление Правительства Хабаровского края от 13 июня 2018 г. № 215-пр «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/465353006/titles/2RU4GHK> (дата обращения: 15.06.2024).
11. Openrouteservice Maps [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://classic-maps.openrouteservice.org/> (дата обращения: 22.04.2024).
12. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа. 1991. 336 с.
13. Климина Е. М. Ландшафтно-картографическое обеспечение территориального планирования (на примере Хабаровского края). Владивосток: Дальнаука. 2007. 132 с.
14. Климина Е. М. Ландшафтно-экологическое зонирование для реализации задач ландшафтного планирования (на примере Среднеамурской низменности) // Вестник ДВО РАН. 2018. № 4. С. 65–72.
15. Klimina E. M., Ostroukhov A. V. Landscape-ecological zoning of the Territory as the basis for the allocation of lands of the Ecological framework of the administrative district // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Resources, Environment and Regional Sustainable Development in Northeast Asia. 2022. P. 46–56.
16. Шейнгауз А. С. Многоцелевое лесопользование: опыт разработки системы понятий / Избранные труды. А.С. Шейнгауз. Хабаровск: ДВО РАН. 2008. С. 382–393.

17. Шлотгауэр С.Д. Антропогенная трансформация растительного покрова тайги. М.: Наука, 2007. 178 с.
18. Теория и методология ландшафтного планирования / Хорошев А. В., Авессаломова И. А., Дьяконов К. Н., Иванов А. Н. и др. Москва: Товарищество научных изданий. КМК. 2019. 444 с.
19. Махинов А. Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука. 2006. 232 с.
20. Приоритетные территории российского Дальнего Востока для сохранения биоразнообразия (экологические "горячие точки"): (Обзор) / "Друзья Земли - Япония", Международный союз охраны природы. Науч. ред. В. П. Каракин. Владивосток. 1999. 200 с.
21. Остроухов А. В. Пространственный анализ воздействия катастрофического наводнения 2013 года на геосистемы долины реки Амур на основе спутниковых данных // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 6. С. 93–96.
22. Климина Е. М. Культурные ландшафты в экологическом каркасе Нижнего Приамурья // Вестник ДВО. 2010. № 6. С. 26–29.

CURRENT STATE AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE LANDSCAPES OF THE SUBURBAN ZONE OF Khabarovsk CITY

Ostroukhov A. V.¹, Klimina E. M.², Mirzechanova Z. G.³

*^{1,2,3}Institute of Water and Ecology problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia
E-mail: ¹Ostran2004@mail.ru, ²kliminaem@bk.ru, ³lorp@ivep.as.khb.ru*

The main trends of the current economic and geopolitical situation in Russia have led to a radical turn of the country's economy to the East. As a result, the Far Eastern cities, which are already today centers of development, will intensively expand which cannot but affect the ecological condition of the adjacent territory and its landscape cover. The purpose of the work is to analyze the current state and ecological significance of landscapes of the suburban zone of Khabarovsk, the factors of their change.

For Khabarovsk, as well as for other large cities, an extremely important aspect of research is the need to determine the spatial boundaries of its suburban zone. Currently, this issue is solved on the basis of the analysis of a set of factors: recreational area formed by the lands intended and used by residents of the core and suburbs for recreation, tourism, the area of suburban single-family homes of city residents, the area of distribution of horticultural non-profit partnerships (dachas), zones of 45-minute or 60-minute transport accessibility and others. The suburban zone of Khabarovsk, identified on the basis of these parameters, as well as natural and administrative features, is 3468.1 km² (3856.8 km² - together with the city).

The territory of the suburban zone belongs to the Amur-Ussuri district of the Middle Amur landscape area of the Amur-Sakhalin country and is located within two landscape areas, which determines significant contrasts in physical and geographical conditions.

Based on the developed typology of landscapes at the level of tract types and the created landscape map at a scale of 1: 200 000, the features of the landscape structure of the suburban zone were revealed. Firstly, it is its contrast, which is determined by its location within the Middle Amur Lowland and low-lying Khekhtsir Ridge. Secondly, the large rivers Amur, Ussuri and the mouth part of the large left tributary of the Amur — Tunguska River are located within its boundaries from the west and north. As a consequence, one third of the territory (30.5%) falls on the floodplain, the water surface of

the rivers and the large floodplain lake Petropavlovskoye. The third peculiarity is the uneven and peripheral distribution of forest areas (relative to Khabarovsk). It is impossible not to mention such a peculiarity of this territory as the presence of two federal-level protected areas — the Bolshekhtsirsky Reserve and the Khekhtsirsky Wildlife Refuge, part of the regional wildlife refuge “Bobrovyy”, collectively occupying an area of 30.7% of the suburban zone.

The analysis of spatial specificity of anthropogenically transformed land distribution within geosystems reflects its extreme heterogeneity (the share of land involved in economic turnover varies from 0.28% for the territory of low mountain landscapes to 51% of the area of lowland alluvial plains).

The use of materials from the Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover [5] and Global Forest Change (GFC) projects allowed us to reflect the current processes of land use change:

– negative dynamics of original forest lands with increase of total forest area due to overgrowing of unused reclamation systems, agricultural lands, and post-anthropogenic wastelands;

– increase in the area of residential-industrial lands on the basis of changing the status of agricultural lands and development of abandoned lands with meadow-shrub communities.

Based on the analysis of the functional role of natural geosystems for the suburban zone four categories of geosystems (by the degree of change and the level of significance of environment-forming functions), combining several types of landscapes were identified. The results show that 38.8% of geosystems are conditionally unchanged and weakly changed, including 28.6% of those with ecological functions of regional significance. At the same time, the most changed geosystems that need to maintain ecological functions (depending on the type and degree of economic development) occupy an area of 15.5%.

Due to the peculiarities of the physiographic location and the specifics of the suburban zone of Khabarovsk agglomeration (the presence of large floodplains, federal-level protected areas), the possibilities of extensive increase in land use are largely exhausted. At the same time, a large share of landscapes with high ecological significance has certain restrictions on their involvement in economic turnover due to their inclusion in the structure of protected areas of one or another rank or their location within the protection zones of various types, primarily water and fish protection zones. Geosystems of small-leaved forests, sparse woodland-shrub and meadow-shrub communities outside the protected areas, which together occupy about 3% of the area of the suburban zone, can become a reserve of land for industrial and residential development. At present, such growth of residential and industrial lands is primarily due to various categories of anthropogenically transformed lands.

Keywords: suburban zone, landscape assessment, ecological significance of landscapes, Khabarovsk.

References

1. Anokhin P. Uskorenie protsessov urbanizatsii: kak izmenitsya nash mir zavtra (Acceleration of urbanization processes: how our world will change tomorrow) [Electronic resource]. URL: <https://vc.ru/future/84954-uskorenie-processov-urbanizacii-kak-izmenitsya-nash-mir-zavtra> (date of access: 22.06.2024). (in Russian).

2. Eifari A. K., Mantsev V. V. *Izmeneniya v sovremennom mire i novye tendentsii urbanizatsii* (Changes in the modern world and new trends of urbanization). *Vestnik RUDN. Seriya Ekonomika*, 2000, No (6). pp. 54–58. (in Russian).
3. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., M. Mazzariello J. C. M., Mathi M. M., Brumby S. P. *Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning*. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021, pp. 4704–4707.
4. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J. R.G. *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. *Science*, 2013, 342 (15 November), 850, 53. [Electronic resource]. URL: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change> (date of access: 02.04.2024).
5. Kalikhman T.P., Bardash A.V., Bogdanov V.N., Ogorodnikova L.Yu., Klimina E.M., Bocharnikov V.N. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga*. Atlas. (Special Protected Natural Territories of the Far Eastern Federal District. Atlas.). Irkutsk: SO RAN (Publ.), 2018, 588 p. (in Russian).
6. *Khabarovsk. Istoriko-geograficheskii atlas goroda 1858–2008*. (Khabarovsk. Historical and geographical atlas of the city 1858–2008). Gl. red. T.N. Gaifulina. Khabarovsk: FGUP "DV Aerogeodezicheskoe predpriyatie" (Publ.), 2008, 160 p. (in Russian).
7. Ziyatdinov T.Z. *Delimitatsiya granits gorodskoi aglomeratsii metodom funktsional'nykh arealov* (Delimitation of urban agglomeration boundaries by the method of functional areas). *Arkhitekton: izvestiya vuzov*, 2022, No 1(77). DOI 10.47055/1990-4126-2022-1(77)-9. (in Russian).
8. Ponosov A.N. *Sovershenstvovanie podkhodov k opredeleniyu razmerov prigorodnykh zon i organizatsiya zemlepol'zovaniya pri territorial'nom i ekonomicheskom razvitiy prigorodnykh munitsipal'nykh obrazovaniy na primere Permskoi aglomeratsii* (Improvement of approaches to determining the size of suburban zones and organization of land use in territorial and economic development of suburban municipalities on the example of Perm agglomeration). Perm: IPTs «Prokrost» (Publ.), 2021, 181 p. (in Russian).
9. *Zemel'nyi kodeks Rossiiskoi Federatsii: tekst s izmeneniyami i dopolneniyami na 14 fevralya 2024 g.: Prinyat Gosudarstvennoi Dumoi 28 sentyabrya 2001 goda*. *Odobren Sovetom Federatsii 10 oktyabrya 2001 goda* (Land Code of the Russian Federation: text with amendments and additions as of February 14, 2024: Adopted by the State Duma on September 28, 2001. Approved by the Federation Council on October 10, 2001). Garant: informatsionno-pravovoi portal. Moskva. 2024. [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/12124624/4f1044cafcee58fdb43ae8a2051b019/> (date of access: 11.06.2024). (in Russian).
10. *Sostav Khabarovskoi aglomeratsii. Prilozhenie № 6 k Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Khabarovskogo kraia na period do 2030 goda*. *Vveden postanovleniem Pravitel'stva Khabarovskogo kraia ot 12.07.2023 N 315-pr. O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Khabarovskogo kraia ot 13 iyunya 2018 g. № 215-pr «Ob utverzhdenii Strategii sotsial'no- ekonomicheskogo razvitiya Khabarovskogo kraia na period do 2030 goda»* (Composition of Khabarovsk agglomeration. Appendix No. 6 to the Strategy of socio-economic development of Khabarovsk Krai for the period up to 2030. Introduced by the Resolution of the Government of Khabarovsk Krai dated 12.07.2023 N 315-pr. On Amendments to the Resolution of the Government of Khabarovsk Krai of June 13, 2018 N 215-pr "On Approval of the Strategy of Socio-Economic Development of Khabarovsk Krai for the period up to 2030"). [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/465353006/titles/2RU4GHK> (date of access: 15.06.2024). (in Russian).
11. *Openrouteservice Maps* [Electronic resource]. URL: <https://classic-maps.openrouteservice.org/> (date of access: 22.04.2024).
12. Isachenko A. G. *Landschaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* (Landscape science and physiographic zoning.). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1991, 336 p. (in Russian).
13. Klimina E.M. *Landschaftno-kartograficheskoe obespechenie territorial'nogo planirovaniya (na primere Khabarovskogo kraia)* (Landscape cartographic support of territorial planning (on the example of Khabarovsk territory)). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2007, 132 p. (in Russian).
14. Klimina E.M. *Landschaftno-ekologicheskoe zonirovaniye dlya realizatsii zadach landschaftnogo planirovaniya (na primere Sredneamurskoi nizmennosti)* (Landscape-ecological zoning for the realization

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ
ЛАНДШАФТОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ХАБАРОВСКА

- of landscape planning tasks (on the example of the Middle Amur lowland)). Vestnik DVO RAN, 2018, No 4, pp. 65–72. (in Russian).
15. Klimina E.M., Ostroukhov A.V. Landscape-ecological zoning of the Territory as the basis for the allocation of lands of the Ecological framework of the administrative district. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Resources, Environment and Regional Sustainable Development in Northeast Asia, 2022, pp. 46–56.
 16. Sheingauz A.S. Mnogotselevoe lesopol'zovanie: opyt razrabotki sistemy ponyatii. Izbrannye trudy. A.S. Sheingauz (Multipurpose forest management: experience in developing a system of concepts. Selected works. A.S. Sheingauz). Khabarovsk: DVO RAN (Publ.), 2008, pp. 382–393. (in Russian).
 17. Shlotgauer S.D. Antropogennaya transformatsiya rastitel'nogo pokrova taigi (Anthropogenic transformation of the taiga vegetation cover). M.: Nauka (Publ.), 2007, 178 p. (in Russian).
 18. Teoriya i metodologiya landshaftnogo planirovaniya (Theory and Methodology of Landscape Planning.). Khoroshev A.V., Avessalomova I.A., D'yakonov K.N., Ivanov A.N. i dr.. Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy. KMK (Publ.), 2019, 444 p. (in Russian).
 19. Makhinov A.N. Sovremennoe rel'efoobrazovanie v usloviyakh allyuvial'noi akkumulyatsii (Modern Relief Formation in the Conditions of Alluvial Accumulation). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.), 2006, 232 p. (in Russian).
 20. Prioritetnye territorii rossiiskogo Dal'nego Vostoka dlya sokhraneniya bioraznoobraziya (ekologicheskie "goryachie toчки"): (Obzor) (Priority areas of the Russian Far East for biodiversity conservation (ecological "hot spots"): (Review)). "Druz'ya Zemli - Yaponiya", Mezhdunarodnyi soyuz okhrany prirody. Nauch. red. V.P. Karakin. Vladivostok (Publ.), 1999, 200 p. (in Russian).
 21. Ostroukhov A.V. Prostranstvennyi analiz vozdeistviya katastroficheskogo navodneniya 2013 goda na geosistemy doliny reki Amur na osnove sputnikovykh dannykh (Spatial analysis of the impact of the 2013 catastrophic flooding on the Amur River valley geosystems based on satellite data.). Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"emka, 2015, No 6. pp. 93–96. (in Russian).
 22. Klimina E.M. Kul'turnye landshafty v ekologicheskom karkase Nizhnego Priamur'ya (Cultural landscapes in the ecological framework of the Lower Priamurye). Vestnik DVO, 2010, No 6, pp. 26–29. (in Russian).

Поступила в редакцию 17.09.2024 г.

РАЗДЕЛ 3.
ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 910.3:556 (477.75)

**МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА**

Соцкова Л. М.¹, Чернов Я. И.²

*^{1,2}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация
E-mail: ¹slms2986@mail.ru, ²chernov99999999@mail.ru*

Развитие сельского хозяйства Республики Крым во многом определяется сохранением плодородия почв. Понятия плодородия и агрохимические показатели являются фундаментальной основой сохранения продуктивности почв. Увеличение продуктивности растениеводства должно базироваться на поддержании оптимального уровня их агрохимических показателей. Произведены мониторинговые исследования агрохимических свойств почв земель сельскохозяйственного назначения 16 хозяйств Бахчисарайского района, определяющих их плодородие: содержание органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия в пахотном горизонте и $pH_{\text{водн}}$ почвы. На основании мониторинговых изысканий построены графические интерпретации территориального распределения ключевых агрохимических показателей и произведены расчеты почвенного плодородия.

Ключевые слова: мониторинг, отбор проб, органическое вещество, подвижный фосфор, обменный калий, пахотный горизонт, кислотность почвы, плодородие, земли сельскохозяйственного назначения.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам регулирования агрохимических свойств почв, обеспечивающих способность производить урожай сельскохозяйственных растений, и сохранения почвенного плодородия, посвящен значительный пласт законодательной и научной литературы. В первую очередь отметим Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 325 «Об утверждении Методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации» [1], Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 N 150 (ред. от 24.05.2022) «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения» [2].

Мониторинг агрохимических показателей — содержание органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия в пахотном горизонте и $pH_{\text{водн}}$ почвы проводился в соответствии с «Методическими указаниями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» [3], ГОСТ 58595-19 [4], ГОСТ 26210-91 [5], ГОСТ 26205-91 [6], ГОСТ 17.4.4.02- [7].

Расчет показателей плодородия на основании результатов агрохимических показателей производился согласно [8].

МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА

В Протоколах испытаний агрохимического обследования ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский» [9] приведены обширные сведения по показателям плодородия земель сельскохозяйственного назначения Крыма.

В монографии Сычева В.Г [10] охарактеризованы основополагающие сведения о плодородии почв, количественных характеристиках содержания органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия в пахотном горизонте и рН почвы. В статьях Складар С.И., Ильина А.В., Валин Д.Н., Липиева Н.Н. [11, 12], Илюшкиной О.В. [13] изложены современные сведения о содержании агрохимических показателей в почвах Республики Крым.

Цель исследования: реализация экспериментального блока наблюдений агрохимических показателей для своевременного контроля сохранения почвенного плодородия путем проведения мониторинговых исследований на территории 16 хозяйств Бахчисарайского района и расчета плодородия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глобальные тенденции развития аграрного сектора определяются в первую очередь значительным сокращением площади мировых сельхозугодий, снижением плодородия почв и, соответственно, усугублением продовольственной проблемы. Агроклиматические условия, длительный опыт развития агрокультуры, геополитическое положение Крыма определяют значительную роль региона в развитии евроазиатского рынка продовольствия. В научной литературе имеется множество различных определений понятия плодородия почв и его расширенного воспроизводства [10]. В этой связи чрезвычайно важным и актуальным является изучение территориального распределения ключевых показателей плодородия почвы — органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия, $pH_{\text{водн}}$ почвы как важнейших факторов, определяющих развитие растениеводства и сохранение плодородия почв.

Для формирования банка данных использовались следующие материалы:

– данные отбора объединенных почвенных проб на 26 сельскохозяйственных участках за февраль-апрель 2024 г.;

– данные обработки полевых исследований объединенных почвенных проб по содержанию органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия в пахотном горизонте и $pH_{\text{водн}}$;

– ряд оригинальных карт, на основе аэрофотоснимков, обработанных с помощью специализированных программ (QGIS 3.32.2), инструментарий которых позволяет собирать, хранить, обрабатывать, передавать и визуализировать данные.

Мониторинг агрохимических показателей производил строго в соответствии с выше указанными законодательными актами [1, 2, 3], и ГОСТ [4, 5, 6, 7], что позволило сформировать базу данных, отвечающих требованиям полноты, однородности и достоверности информации, корректности расчетов плодородия.

Отбор смешанного образца проводился согласно [4, 5, 6]. Отбор объединенных почвенных проб осуществлялся способом маршрутных ходов — (W — образный), а также методом конверта в Бахчисарайском районе согласно [7].

Реализация мониторинга агрохимических характеристик почв — основа сохранения их плодородия и проводится с целью определения степени насыщения органическим веществом, а также обеспеченности основными элементами минерального питания и водородного показателя.

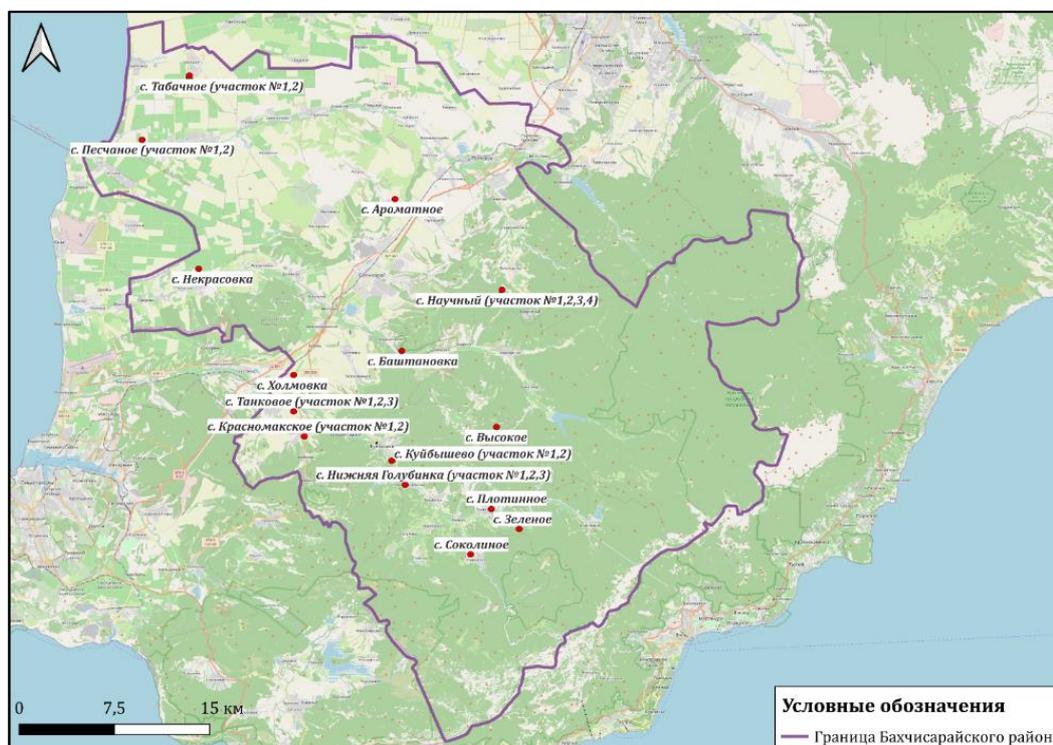


Рис. 1. Расположение сельскохозяйственных участков агрохимического обследования на землях сельскохозяйственного назначения Бахчисарайского района.

Составлено авторами.

Общее количество исследуемых сельскохозяйственных участков — 26 (рис. 1) на площади 154,32 га.

Для каждого элементарного участка применялся индивидуальный способ маршрутного хода, в зависимости от расположения и границ участка. Объединенная проба для элементарного участка с площадью не более 5–6 га составлялась из 5 точечных проб, а на более крупных 6 и более точечных проб. Таким образом, общее количество точечных проб составляет — 211 (табл. 1), а общее количество объединенных проб — 26, что соответствует [7].

На пахотных почвах точечные пробы отбирались тростевым буром на глубину 0–20 см на сенокосах и пастбищах — на глубину гумусового горизонта, но не глубже 10 см. Масса смешанного почвенного образца изменялась в диапазоне от 400 г до 1 кг.

**МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА**

Таблица 1.

Площадь исследуемых сельскохозяйственных участков и количество индивидуальных проб по 15 населенным пунктам Бахчисарайского района

№	Населенный пункт	Площадь, га	Количество точечных проб
1.	с. Нижняя Голубинка:		15 проб всего
	– участок №1	3,05 га	5 проб
	– участок №2	2 га	5 проб
	– участок №3	2,9 га	5 проб
2.	с. Соколиное	7,7 га	7 проб
3.	с. Зеленое	1,63 га	5 проб
4.	с. Плотинное	0,68 га	5 проб
5.	с. Танковое:		15 проб всего
	– участок №1	0,78 га	5 проб
	– участок №2	1,68 га	5 проб
	– участок №3	1,08 га	5 проб
6.	с. Куйбышево:		10 проб
	– участок №1	2,28 га	5 проб
	– участок №2	1,14 га	5 проб
7.	с. Высокое	0,91 га	5 проб
8.	с. Песчаное:		10 проб всего
	– участок №1	2,13 га	5 проб
	– участок №2	0,65 га	5 проб
9.	с. Холмовка	4,58 га	5 проб
10.	с. Баштановка	1,13 га	5 проб
11.	с. Научный:		27 проб всего
	– участок №1	9,1 га	10 проб
	– участок №2	7,4 га	7 проб
	– участок №3	4,7 га	5 проб
	– участок №4	5,7 га	5 проб
12.	с. Некрасовка	2 га	5 проб
13.	с. Табачное:		78 проб всего
	– участок №1	32,1 га	32 пробы
	– участок №2	46,3 га	46 проб
14.	с. Ароматное	9,2 га	10 проб
15.	с. Красномакское		10 проб всего
	– участок №1	1,4 га	5 проб
	– участок №2	2,1 га	5 проб
Общая площадь, га: 154,32			

Составлено авторами.

Выполнение лабораторных исследований почвенных образцов проводилось в ГБУ РК «Крымская ГГМЭ», которая располагает химико-аналитической лабораторией, аккредитованной в качестве испытательной лаборатории в национальной системе аккредитации по стандарту ИСОМЭК 17025 (аттестат

аккредитации RA.RU.21НН93) в соответствии с требованиями, установленными нормативно-методической документацией.

Для почв Республики Крым приняты оптимальные значения агрохимических показателей: гумус — 4 %; подвижный фосфор — 60 мг P_2O_5 /кг почвы; обменный калий — 600 мг K_2O /кг почвы; $pH_{\text{водн.}}$ почвы — 7,0 [9]

Характеристика почв по содержанию органического вещества.

Содержание органического вещества — весьма сложного химического комплекса биогенного генезиса - важнейший фактор сохранения плодородия почв. Территориальное распределение иллюстрирует рис.2. Именно этот агрохимический показатель обеспечивает доступность питательных веществ для агрокультур, формирует особенности водного баланса, влагоемкости почв, их водоудерживающие характеристики. Максимальное содержание органического вещества в почвах отмечается на сельскохозяйственных участках в с. Соколиное (12,53), с. Научный (участок №1 — 6,4, участок №2 — 8,46, участок №3 — 11,11, участок №4 — 6,58), с. Красномакское (8,36), с. Зеленое (6,32), с. Баштановка (5,28), с. Высокое (5,13), с. Табачное (участок №1 — 5,03, участок №2 — 4,38), с. Танковое (участок №1 — 4,64, №2 — 4,82). Минимальный показатель содержания органического вещества в почвах зафиксирован в с. Красномакское (1,88).

Таким образом, в пределах обследованных сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района преобладают большинство почв с очень высоким содержанием органического вещества, что составляет 57,7% от общего количества исследуемых участков. Средневзвешенное содержание оценивается как очень высокое — 4,92 (%).

Ведущей триадой почвенного плодородия называют важнейшие агрохимические показатели: содержание подвижного фосфора и обменного калия в пахотном горизонте и величину $pH_{\text{водн.}}$ почвы.

Характеристика почв по содержанию подвижного фосфора.

Наличие достаточного количества усвояемых форм подвижного фосфора в почвах способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур на фоне как оптимизации их устойчивости к значительному диапазону изменения температур воздуха, так и ускорению созревания. Абсолютно правильно указывается в [11], что в земледелии Крыма в качестве первого ограничивающего фактора выступает содержание подвижного фосфора в почве, а снижение до критического уровня в 6,0–10,0 мг P_2O_5 /кг почвы без применения удобрений достаточно лишь для формирования урожая зерновых культур только до 10–15 ц/га.

МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА

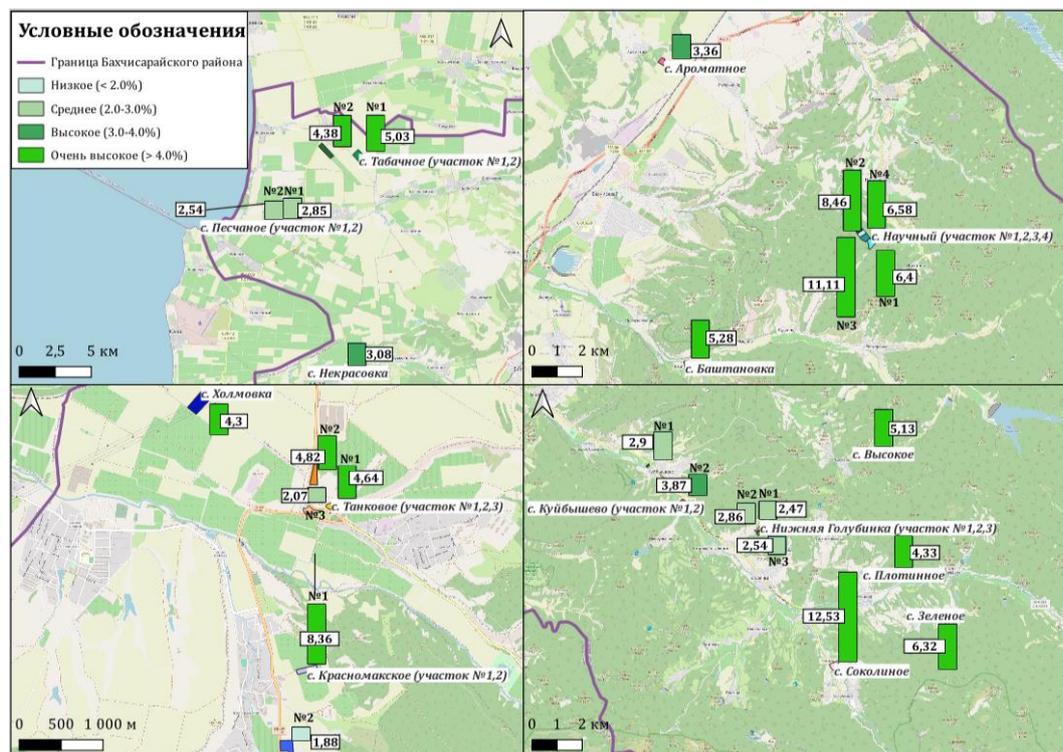


Рис. 2. Содержание органического вещества в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района (%).

Составлено авторами.

Весьма интересны данные ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский», осуществляющего мониторинг в рамках агрохимической паспортизации почв земель сельскохозяйственного назначения по содержанию подвижного фосфора в почвах Республики Крым. С периода 2013 по 2021 год содержание средневзвешенного подвижного фосфора в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайском районе снизилось с 25,6 мг до 18,1 мг P_2O_5 /кг, что на 29,3% меньше по сравнению с 2013 годом [9].

Рис. 3 иллюстрирует значительный диапазон колебания содержания подвижного фосфора от 92,23 мг/кг (очень высокое), до очень низких показателей в точках отбора проб в с. Баштановка (7,2), с. Плотинное 7,76, с. Нижняя Голубинка — 8,7 мг/кг (очень низкое).

Выявленные низкие показатели, подтверждают предположения о унаследованной недостаточности внесения фосфорных удобрений на фоне весьма интенсивной эксплуатации земель в прошлом [9, 11]. Такое содержание подвижного фосфора весьма опасно, так как именно этот агрохимический показатель рассматривают как системообразующий фактор плодородия наравне с содержанием органического вещества для достижения высокой урожайности сельскохозяйственных культур.

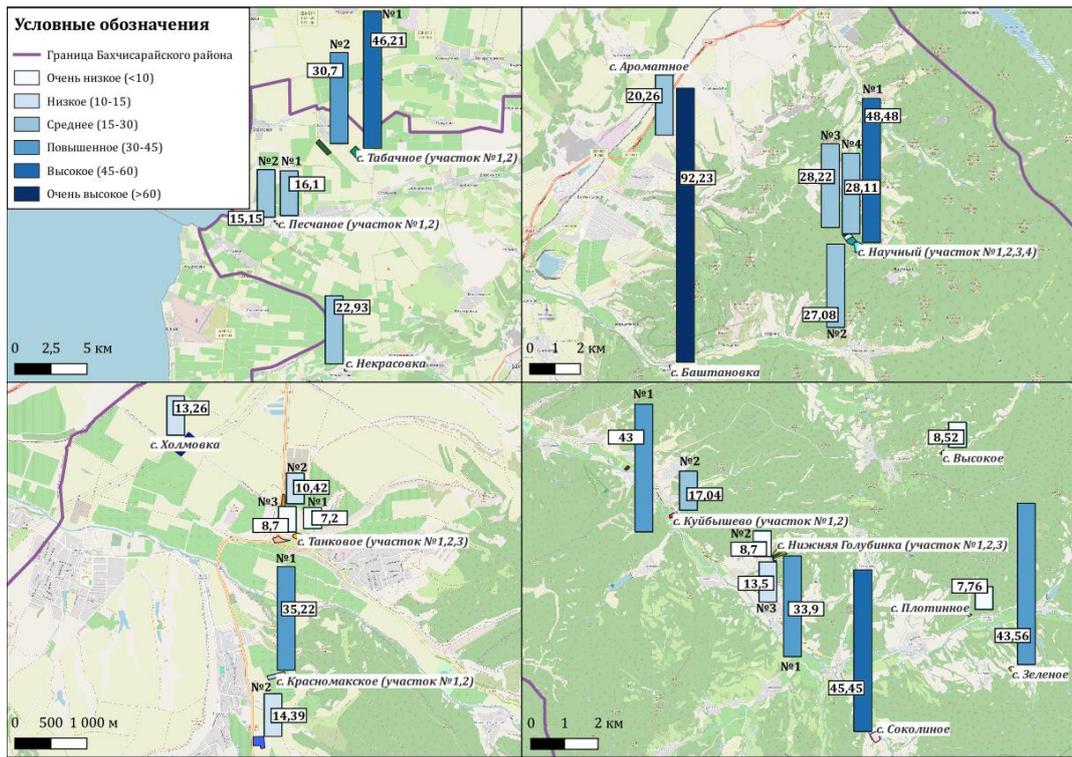


Рис. 3. Содержание подвижного фосфора в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района.

Составлено авторами.

Статистическая обработка данных позволяет оценить средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах, как среднее — 26,38 (мг/кг), что на 8,28 мг P_2O_5 /кг (31,4%) больше по сравнению с показателями 2021 года [9].

Характеристика почв по содержанию обменного калия в пахотном горизонте.

Роль калия трудно переоценить, так как он относится к триаде основных макроэлементов необходимых растениям для нормального роста и развития. Содержание обменного калия в почве по методу Мачигина определяется как очень низкое величиной 50 K_2O мг/кг. Для агроклиматических условий территории Крыма чрезвычайно важна роль обменного калия для устойчивости растений к проявлению стрессовых ситуаций (низкая относительная влажность, засухи, значительная повторяемость дней с высокими температурами). Природные почвенные запасы обменного калия в пахотных горизонтах обследованных почв значительны и достаточны для формирования высоких урожаев (рис. 4). Динамика параметров включает максимальные показатели — 502,25 K_2O /кг почвы (с. Куйбышев), 485,5 K_2O /кг почвы (с. Красномакское) и минимальные значения в 124,4 K_2O /кг почвы (Нижняя Голубинка), 107,85 K_2O /кг почвы (с. Танковое), что значительно

МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА

превышает предельный минимум. Средневзвешенное содержание обменного калия в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района оценивается как высокое — 227,0 (мг/кг). Тем не менее отмечается тенденция к снижению.

Согласно материалам исследований ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский», проявляется тенденция к снижению содержания средневзвешенного обменного калия, достигавшего в 2021 г. величины в 325,6 мг K_2O /кг [9], что на 30,29% больше показателя в текущем году.

Характеристика pH водн. почв.

Кислотность почвы определяется содержанием ионов водорода (pH -уровень) в растворе почвенной влаги. Кислотность — важный агрохимический показатель плодородия почвы, определяющий особенности прохождения химических, физико-химических и биологические процессы в почве. pH водн. почв поддерживает уровень минерального питания сельскохозяйственных культур, соответственно во многом оказывает влияние как на урожайность, так и качество продукции.

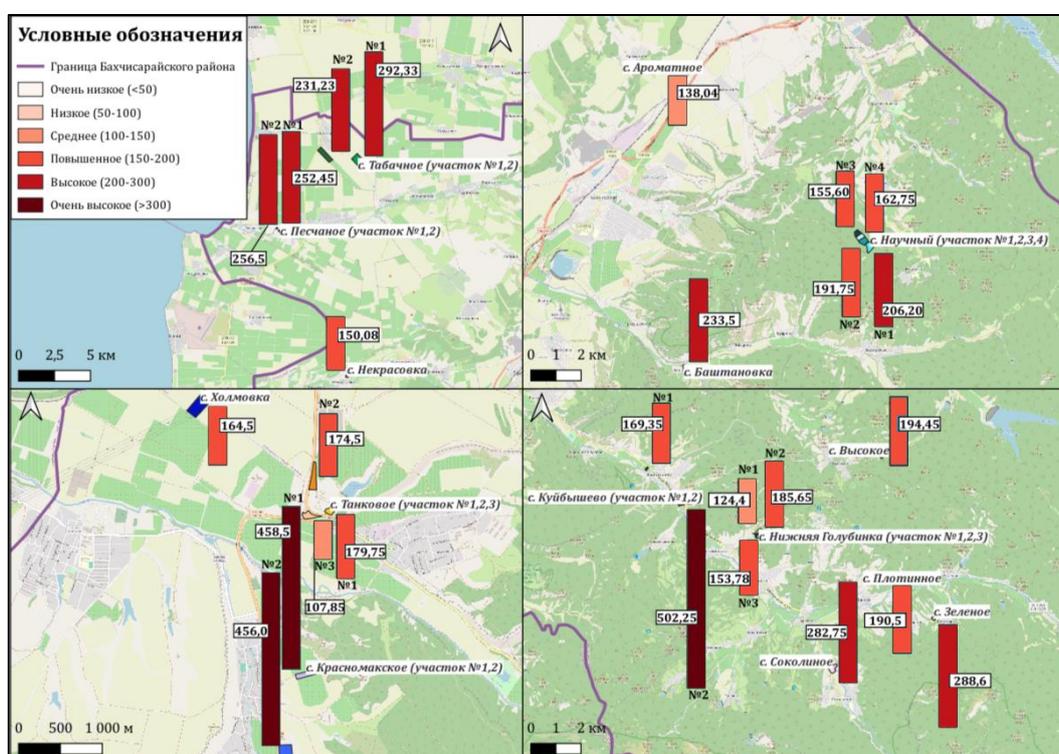


Рис. 4. Содержание обменного калия в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района (мг/кг).

Составлено авторами.

Характеристики pH водн. почв пашни иллюстрирует рис. 5. Наибольшая степень кислотности почвы отмечается на сельскохозяйственных участках в с. Танковое (участок №1 — 8,93, участок №2 — 8,9, участок №3 — 9,08), с. Красномакское

(участок №1 — 9,04), с. Холмовка (8,8), с. Песчаное (участок №1 — 8,83, участок №2 — 8,88), с. Куйбышево (участок №1 — 8,81).

Связано это с тем, что Бахчисарайский район содержит различные типы горных пород. Породы карбонатного генезиса способствуют высокой щелочности почв. Оптимальная степень кислотности для выращивания сельскохозяйственных культур характерна для земель с. Зеленое (7,22), с. Баштановка (7,35), с. Плотинное (7,49).

Из результатов мониторинга следует, что среди обследованных почв преимущественно сильнощелочные составляют 30,7, среднещелочные — 26,9 и слабощелочные — 30,7%. Средневзвешенный показатель $pH_{\text{водн. почв}}$ района оценивается как среднещелочной — 8,18.

Кислотность почвы оказывает влияние на доступность питательных веществ для растений. При сильно кислой или щелочной среде, некоторые элементы становятся недоступными для растений, что может привести к недостаточному питанию и снижению урожайности.

Расчет показателя почвенного плодородия.

Показатель плодородия рассчитывается [8] как среднее от суммы соотношений фактических значений четырех агрохимических показателей почв земель сельскохозяйственного назначения Бахчисарайского района к их оптимальным значениям по всем типам почв посевных площадей сельскохозяйственных культур. содержанию

При расчете учитываются следующие агрохимические показатели:

- кислотность почв ($pH_{\text{водн. почв}}$, ед.);
- содержание гумуса (%);
- содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5 , мг/кг почвы);
- содержание обменного калия (K_2O , мг/кг почвы).

Показатель кислотности для щелочных почв $pH_{\text{водн. почв}}$ рассчитывается как соотношение оптимального значения показателя к фактическому, для кислых почв $pH_{(КС1)}$ — фактического к оптимальному.

Учитывая, что почв Республики Крым приняты такие оптимальные значения вышеуказанных показателей: гумус — 4 %; подвижный фосфор — 60 мг P_2O_5 /кг почвы; обменный калий — 600 мг. K_2O /кг почвы; $pH_{\text{водн. почв}}$ — 7,0 [9,11].

Три последних агрохимических показателей относят к «триаде плодородия». Методика расчета, прописанная в [8] характеризуется четким алгоритмом процедур, позволяющих рассчитать показатели плодородия в баллах и выявить тенденции изменения плодородия почв.

Показатель плодородия для каждого типа почв рассчитывается для щелочных почв по формуле (1), для кислых почв по формуле (2):

$$K_{пп} = \left(\frac{\text{гумус ф.}}{\text{гумус опт.}} + \frac{P_2O_5 \text{ ф.}}{P_2O_5 \text{ опт.}} + \frac{K_2O \text{ ф.}}{K_2O \text{ опт.}} + \frac{pH(H_2O) \text{ опт.}}{pH(H_2O) \text{ ф.}} \right) : 4 \cdot 100, \quad (1)$$

$$K_{пп} = \left(\frac{\text{гумус ф.}}{\text{гумус опт.}} + \frac{P_2O_5 \text{ ф.}}{P_2O_5 \text{ опт.}} + \frac{K_2O \text{ ф.}}{K_2O \text{ опт.}} + \frac{pH(КС1) \text{ опт.}}{pH(КС1) \text{ ф.}} \right) : 4 \cdot 100, \quad (2)$$

где $K_{пп}$ – показатель почвенного плодородия;

$pH(H_2O)$ гумус, P_2O_5 , K_2O /кг почвы – агрохимические показатели;

ф. — фактические значения агрохимических показателей;

опт. — оптимальные значения агрохимических показателей;

**МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА**

pH (H₂O) — для щелочных почв;

pH (KCl) — для кислых почв.

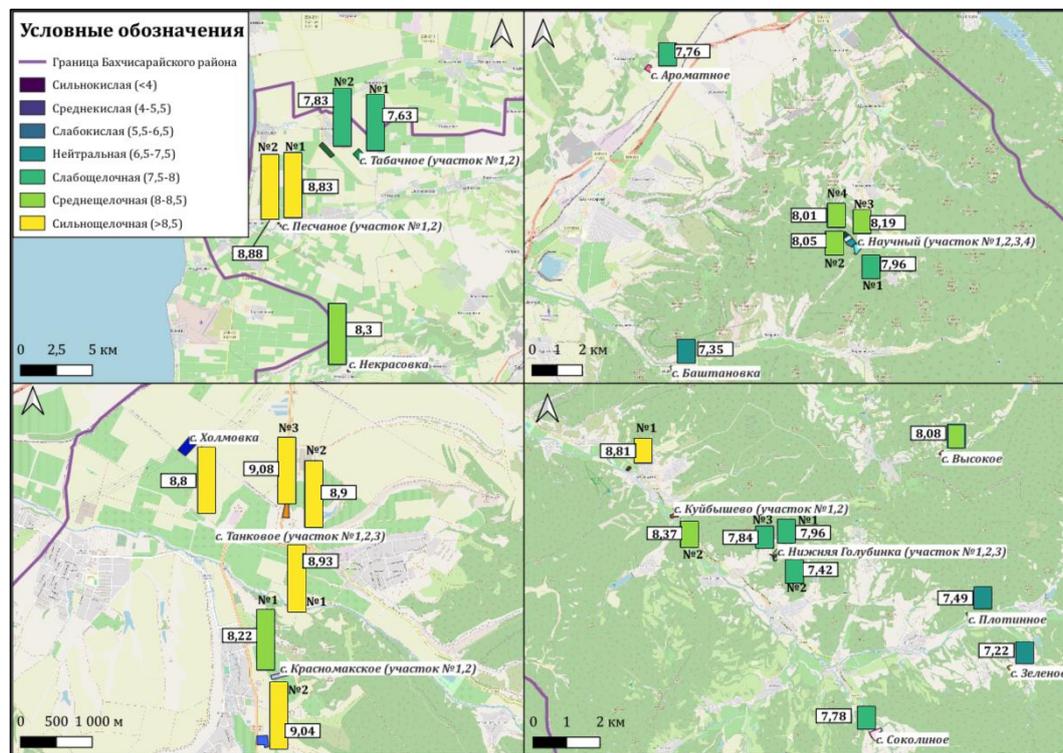


Рис. 5. Степень кислотности в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района.

Составлено авторами.

Показатели почвенного плодородия почв пашни в Бахчисарайском районе показаны на рис. 6.

Если рассчитанный оценочный балл основных показателей (рН, гумус, P₂O₅, K₂O больше 1, то результат приравнивается к 1.

Исходя из вышеперечисленного можно рассчитать показатель почвенного плодородия.

с. Песчаное (участок №1):

$$K_{пп} = \left(\frac{2,85}{4} + \frac{16,1}{60} + \frac{252,45}{600} + \frac{7}{8,83} \right) : 4 \cdot 100 = 54 \text{ балла.}$$

с. Песчаное (участок №2):

$$K_{пп} = \left(\frac{2,54}{4} + \frac{15,15}{60} + \frac{256}{600} + \frac{7}{8,8} \right) : 4 \cdot 100 = 52 \text{ балла.}$$

Таким же расчетным методом проведены расчеты и для других исследуемых сельскохозяйственных участков.

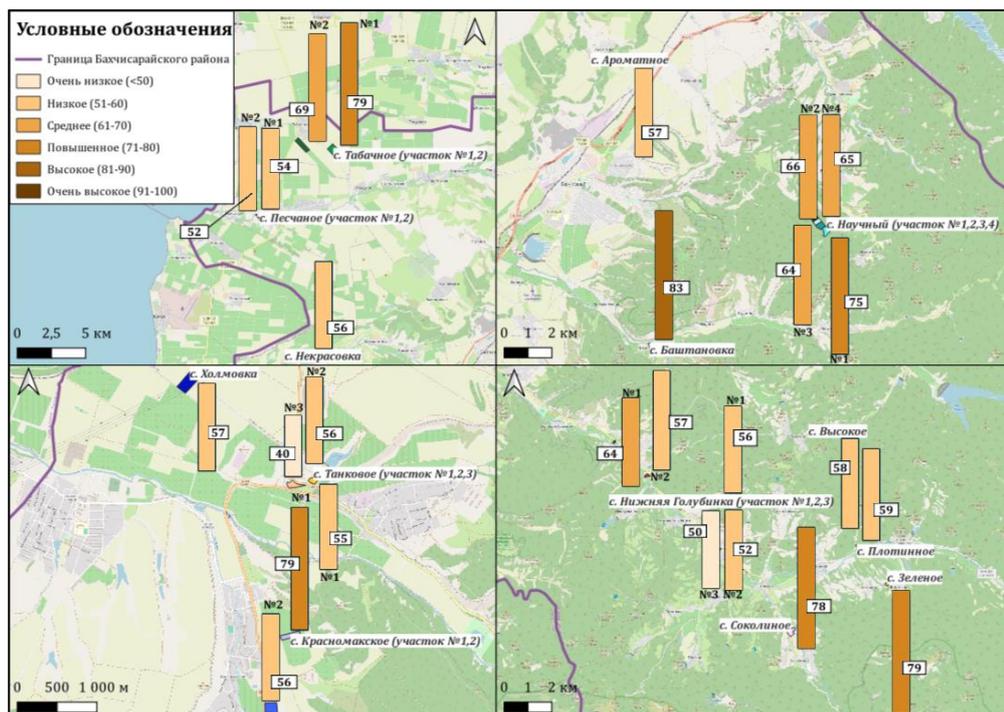


Рис. 6. Показатели почвенного плодородия сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района (баллы).

Составлено авторами.

Наибольший показатель почвенного плодородия в почвах содержится на сельскохозяйственном участке в с. Баштановка (83 балла — высокое). Здесь отмечаются лучшие суммарные агрохимические показатели (кислотность почв (pH , ед.), содержание гумуса (%), содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5 , мг/кг почвы), содержание обменного калия (K_2O , мг/кг почвы).

Согласно произведенным расчетам повышенные показатели почвенного плодородия отмечаются в с. Табачное (участок №1 — 79 баллов), с. Красномакское (участок №1 — 79 баллов), с. Научный (участок №1 — 75 баллов), с. Соколиное (78 баллов), с. Зеленое (79 баллов). К средним показателям относится с. Табачное (участок №2 — 69 баллов), с. Научный (участок №2 — 66 баллов, участок №3 — 64 балла, участок №4 — 65 баллов), с. Нижняя Голубинка (участок №1 — 64 балла).

Они являются наиболее продуктивными и благоприятными для использования в сельском хозяйстве. Однако для поддержания плодородия почв, в особенности показатели среднего значения, вероятно требуется ежегодное внесение и органоминеральных удобрений в соответствии с видами выращиваемых культур; 13 участков имеют низкий показатель почвенного плодородия, еще 2 — очень низкий. Их суммарные агрохимические показатели не соответствуют оптимальным значениям плодородия почв и требуют срочного внедрения механизмов агрохимических, мелиоративных, а, возможно и фитосанитарных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, реализация мониторинга агрохимических показателей почв сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района в пределах 25 участков на площади 154,32 га проведена в соответствии законодательным и нормативным документам.

Для каждого элементарного участка применялся индивидуальный способ маршрутного хода, в зависимости от расположения и границ участка. Объединенная проба для элементарного участка с площадью не более 5–6 га составлялась из 5 точечных проб, а на более крупных 6 и более точечных проб. Таким образом, общее количество точечных проб составляет — 211, а общее количество объединенных проб — 26 (рис. 7).

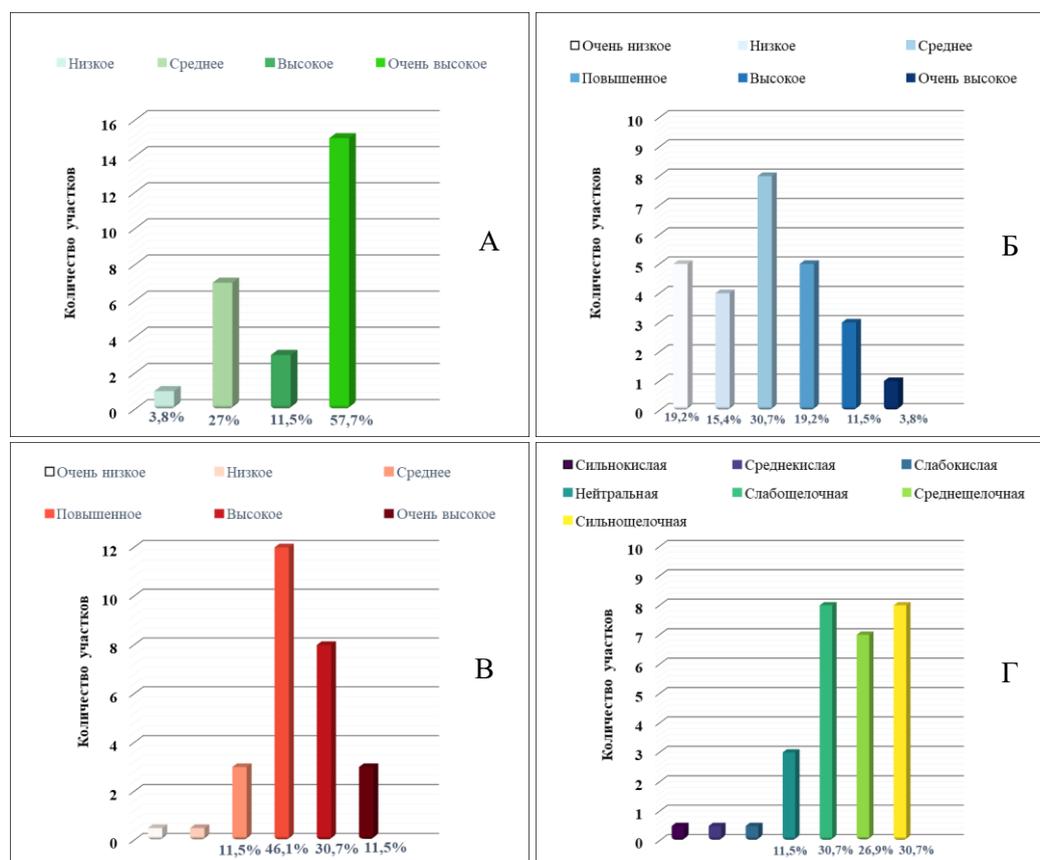


Рис. 7. Процентное соотношение и количество участков с показателем содержания органического вещества (А), подвижного фосфора (Б,) обменного калия (В), по степени кислотности почв (Г).

Составлено авторами.

Статистическая обработка данных позволяет оценить средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах, как среднее — 26,38 (мг/кг), что на 8,28 мг P₂O₅/кг (31,4%) больше по сравнению с показателями 2021 года.

Средневзвешенное содержание обменного калия в почвах сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района оценивается как высокое — 227,0 (мг/кг).

Из результатов мониторинга следует, что среди обследованных почв преимущественно сильнощелочные составляют 30,7, среднещелочные — 26,9 и слабощелочные — 30,7%. Средневзвешенный показатель $pH_{\text{водн.}}$ почв района оценивается как среднещелочной — 8,18.

Для почв сельскохозяйственных земель Бахчисарайского района проблема сохранения оптимального содержания органического вещества является особенно важной вследствие длительного ведения земледелия. Природное плодородие почв, естественно изменяется под влиянием агрокультуры. На обследованных сельскохозяйственных землях средневзвешенный показатель почвенного плодородия оценивается как средняя величина — 62,5 % от общего количества исследуемых участков.

Проведенные исследования позволяют расширить базу экспериментальных данных в целях сохранения агрохимических свойств почв, расчетов внесения норм удобрений с учетом требований сельскохозяйственных культур, реализации объективных и превентивных механизмов сохранения плодородия, высокой продуктивности земледелия.

Список литературы

1. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 325 «Об утверждении Методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации».
2. Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 N 150 (ред. от 24.05.2022) «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
3. «Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения». Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М.: ВНИИА, 2003. 196 с.
4. ГОСТ 58595-19. «Почвы. Отбор проб».
5. ГОСТ 26210-91 «Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой».
6. ГОСТ 26205-91 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО».
7. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».
8. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 325 «Об утверждении методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте российской федерации». 4 августа 2017.
9. ГБУ РК «Крымская ГТМЭ». Протокол испытаний агрохимического обследования. 2024. 34 с.
10. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с.
11. Скляр С.И., Валин Д.Н., Липиева Н.Н. Содержание подвижного фосфора в почвах административных районов Республики Крым // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. №. 32. С. 30–43.

МОНИТОРИНГ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА

12. Скляр С.И., Ильин А.В., Валин Д.Н., Липиева Н.Н. Содержание подвижного фосфора в почвах административных районов Республики Крым // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. №. 32. С. 30–43.
13. Илюшкина О.В. Проблемы почвенного плодородия сельскохозяйственных угодий Республики Крым // «Инновации и продовольственная безопасность» № 3(41), 2023. С. 115–123

**MONITORING OF AGROCHEMICAL INDICATORS OF AGRICULTURAL
SOILS IN BAKHCHISARAI DISTRICT**

Sotskova L. A.¹, Chernov Y. I.²

^{1,2}*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

E-mail: ¹slms2986@mail.ru, ²chernov99999999@mail.ru

The development of agriculture in the Republic of Crimea is largely determined by the preservation of soil fertility. The concepts of fertility and agrochemical indicators are the fundamental basis for maintaining soil productivity. The increase in crop production productivity should be based on maintaining the optimal level of their agrochemical indicators. Monitoring studies of the agrochemical properties of soils of agricultural lands of 16 farms of the Bakhchisarai district, determining their fertility: the content of organic matter, mobile phosphorus, exchangeable potassium in the arable horizon and the pH of water. soils. Based on the monitoring surveys, graphical interpretations of the territorial distribution of key agrochemical indicators were constructed and calculations of soil fertility were made.

The implementation of monitoring the agrochemical characteristics of soils is the basis for preserving their fertility and is carried out with the aim of determining the degree of saturation with organic matter, as well as the provision of basic elements of mineral nutrition and pH value. The development scenario of the agro-industrial complex of the Russian Federation is designed for expanded reproduction of soil fertility.

The total number of agricultural plots under study is 26 on an area of 154.32 hectares. For each elementary section, an individual route method was used, depending on the location and boundaries of the section. The combined sample for an elementary plot with an area of no more than 5–6 hectares was composed of 5 point samples, and for larger ones 6 or more point samples. Thus, the total number of point samples is 211, and the total number of combined samples is 26.

Organic matter plays a big role in creating soil fertility. Organic matter contains 98% of the total soil nitrogen, 80% of sulfur and 60% of phosphorus. The role of humus is also great in maintaining the favorable physical, physicochemical and biological properties of the soil. Therefore, ensuring a deficit-free balance of humus in the soil is one of the most important tasks of agriculture in the Bakhchisarai region.

The surveyed agricultural lands of the Bakhchisarai region are dominated by the majority of soils with low soil fertility, which is 50% of the total number of study areas. The weighted average indicator of soil fertility in the soils of agricultural lands in the Bakhchisarai region is estimated as average — 62.15 (point). The weighted average

indicator of soil fertility in the soils of agricultural lands in the Bakhchisarai region in 2021 was 60.7 (point), which is 2.4% less than this year.

Statistical data processing allows us to estimate the weighted average content of available phosphorus in soils as an average of 26.38 (mg/kg), which is 8.28 mg P₂O₅/kg (31.4%) more than in 2021, according to the Federal State Budgetary Institution "Center for Agrochemical Service "Crimean".

The established low indicators suggest insufficient application of phosphorus fertilizers against the backdrop of very intensive land exploitation in the past. This content of mobile phosphorus is very dangerous, since it is this agrochemical indicator that is considered as a system-forming factor of fertility along with the content of organic matter for achieving high crop yields.

The weighted average content of exchangeable potassium in the soils of agricultural lands in the Bakhchisarai region is estimated as high — 227.0 (mg/kg). According to the Federal State Budgetary Institution "Center for Agrochemical Service "Crimean", the average content of exchangeable potassium in the Bakhchisarai region is high. The content of average weighted exchangeable potassium in the soils of agricultural lands in the Bakhchisarai region in 2021 was 325.6 mg K₂O/kg, which is 30.29% more than this year.

From the monitoring results it follows that among the surveyed soils, the soils are predominantly highly alkaline — 30.7, medium alkaline — 26.9 and slightly alkaline — 30.7%. The weighted average pH of aqueous soils in the region is assessed as moderately alkaline — 8.18.

This is due to the fact that the Bakhchisarai region contains various types of rocks, including carbonate rocks such as limestones and dolomites. These rocks often contribute to high alkalinity in soils due to their calcium and magnesium content. The optimal degree of acidity for growing crops is typical for lands with. Green (7.22), p. Bashtanovka (7.35), p. Dam (7.49).

The highest indicator of soil fertility in soils is found in 7 agricultural plots, and in 13 it is low, and in 2 — very low. Their total agrochemical indicators do not correspond to the optimal values of soil fertility and require the application of fertilizers.

The preservation and increase of soil fertility is carried out by carrying out a complex of agrotechnical, agrochemical, phytosanitary, anti-erosion, reclamation and other measures developed based on the results of comprehensive monitoring of the fertility of agricultural lands.

For soils of agricultural lands of the Bakhchisarai region, the problem of optimal organic matter content is especially important due to long-term farming. The natural fertility of soils naturally changes under the influence of agriculture. The majority of soils with a low soil fertility index prevail on the surveyed agricultural lands, which is 50% of the total number of studied plots, the weighted average soil fertility index is estimated as an average value in terms of content and trends in agrochemical indicators — 62.15 (point). The conducted research makes it possible to expand the experimental data base in order to preserve the agrochemical properties of soils, implement objective and preventive mechanisms for preserving fertility, and high agricultural productivity.

Keywords: monitoring, sampling, organic matter, mobile phosphorus, exchangeable potassium, arable horizon, soil acidity, fertility, agricultural land.

References

1. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 325 «Об утверждении методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации».
2. Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 N 150 (ред. от 24.05.2022) «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
3. «Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения». М. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации / М.: ВНИИ, 2003. 196 с.
3. ГОСТ 58595-19. «Почвы. Отбор проб».
4. ГОСТ 26210-91 «Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой».
5. ГОСТ 26205-91 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации СИАО».
6. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (SSOP). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»
7. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 325 “Об утверждении методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации” 4 августа 2017.
8. GBU RK «Krymskaya GGME». Protokol ispytanij agrokhimicheskogo obsledovaniya. 2024. 34 p.
9. Sychev V.G. Sovremennoe sostoyanie plodorodiya pochv i osnovnye aspekty ego regulirovaniya. M.: RAN, 2019. 328 p.
10. Sklyar S.I., P'in A.V., Valin D.N., Lipieva N.N. Soderzhanie podvizhnogo fosfora v pochvah administrativnyh rajonov Respubliki Krym // Izvestiya sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy. 2022. №.32. S. 30–43.
11. Sklyar S.I., Valin D.N., Lipieva N.N. The content of mobile forms of trace elements in the soils of the Republic of Crimea and its significance // Izvestia of agricultural science of Taurida. 2021. №. 25. pp. 5-18.
12. Ilyushkina O.V. Problemy pochvennogo plodorodiya sel'skohozyajstvennyh ugodij Respubliki Krym//«Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'» № 3(41), 2023. S. 115-123.

Поступила в редакцию 04.11.2024 г.

УДК 504.064

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ:

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Шишкин А. В.¹, Кочетова Ж. Ю.², Великанов А. В.³, Тронин А. Л.⁴

*^{1,2,3,4} Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация
E-mail: ¹zk_yva@mail.ru*

Показаны перспективы применения беспилотных летательных аппаратов для определения заражения территорий аварийно химически опасными веществами, а также сложность их использования для оценки загрязнения почвы. Предложена конструкция квадрокоптера с повышенной устойчивостью при взлете-посадке, оснащенного подвижным аналитическим модулем для оценки заражения почвы. В качестве анализатора аварийно химически опасных веществ предложено использовать матрицу пьезосенсоров («электронный нос»), позволяющую идентифицировать и количественно определять различные вещества в почве без пробоотбора и пробоподготовки в присутствии сопутствующих компонентов, в широких диапазонах рабочих температур и концентраций. Разработана схема облета местности, отличающаяся от известных возможностью адаптации траектории беспилотного летательного аппарата с учетом особенностей распространения токсичных веществ в почве.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, беспилотный летательный аппарат, загрязнение почв, аварийно химически опасные вещества, пьезосенсор, электронный нос, схема облета местности.

ВВЕДЕНИЕ

Малогабаритные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные полезными нагрузками для обнаружения химических веществ, более двух десятилетий являются ценным инструментом в различных областях гражданской и военной сфер деятельности. Большинство разработок посвящено применению БПЛА для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в результате промышленных выбросов, оценки последствий природных и техногенных катастроф [1, 2, 3]. Беспилотные системы мониторинга становятся популярными в сельскохозяйственной и лесной отраслях [4].

Благодаря развитию техники, микроэлектроники, искусственного интеллекта успешно решаются такие сложные задачи, как создание трехмерных карт загрязнения воздуха с высоким пространственным разрешением; оценка опасных уровней токсичных газов в труднодоступных местах (дымоходы, вулканы); непрерывный мониторинг химического состава нижних слоев атмосферы в крупных промышленных городах; оценка состояния почв и здоровья растений [4, 5, 6].

Важнейшей областью применения БПЛА является мониторинг химически опасных объектов, которые используют в своих технологических процессах аварийно химически опасные вещества (АХОВ). Наибольшую опасность представляют аммиак, ацетонитрил, водород фтористый, водород цианистый, диметиламин, метил хлористый, метилакрилат, нитрил акриловой кислоты, оксиды

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

азота, окись этилена, сернистый ангидрид, сероводород, сероуглерод, соляная кислота, формальдегид, фосген, хлор, хлорпикрин [77]. На территории Российской Федерации расположено около 2800 предприятий химической промышленности. Эти объекты размещены по всем федеральным округам Российской Федерации, с наибольшим развитием химической отрасли в Приволжском (43,5% от общего объема производства химического комплекса РФ), Центральном (24,4%), Сибирском (11,2%), Южном (10,4%).

В последнее время возросла угроза террористических актов на химически опасных предприятиях, связанная с выбросом большого количества смертельно опасных химических соединений и переносом их атмосферным воздухом на десятки километров в течение нескольких часов [8]. Аварийно химически опасные вещества оседают на почвы, воды, могут заражать масштабные территории, в том числе селитебные и рекреационные зоны. Мониторинг объектов окружающей среды при развитии чрезвычайных ситуаций в реальном режиме времени имеет первостепенную задачу, так как от скорости и надежности получения информации зависят здоровье и жизнь людей.

В то же время при проведении военных операций (боевых действий) не принимается ни одно решение без учета химической и радиационной обстановки. Учитывая требования к современному бою, достоверная информация должна оперативно и непрерывно поступать в кратчайшие сроки для быстрого планирования. Для осуществления мероприятий химической защиты войск требуемая информация о факте применения противником химического и биологического оружия устанавливается с использованием наземных средств и методов химической разведки [9]. К основным недостаткам получения информации о заражении территорий с помощью наземных средств относятся: возможность отравления и гибели личного состава; длительное время разведки, обработки и передачи данных; ограниченные площади мониторинга, особенно в труднодоступных местах и на территориях под огневым контролем противника; наличие специализированного транспорта и специально обученного личного состава [10].

Существуют разработки комплексов целевой воздушной химической и радиационной разведки на платформе беспилотных летательных аппаратов. Самый известный из отечественных комплексов – «Пчела» (НИИ «Кулон»). Размещенные на БПЛА автономные датчики позволяют довольно точно оценивать содержание отравляющих и аварийно химически опасных веществ в воздухе [11]. Однако большинство из детектируемых химических соединений тяжелее воздуха, они скапливаются в низинах, проникают в верхние слои почвы и сохраняются в ней в течение длительного периода времени [12].

Несмотря на это, описание датчиков для дистанционного мониторинга заражения почвы практически отсутствует. Это вызвано главным образом необходимостью для большинства методов анализа предварительного пробоотбора и подготовки почвы, что в режиме реального времени не осуществимо или имеет ряд сложностей, связанных с условиями эксплуатации анализаторов.

Применение многих чувствительных датчиков (электрохимических, спектральных) в комплексе с БПЛА затруднено из-за наличия в окружающей среде разнообразных мешающих компонентов, агрессивных сред и радиации; сложных погодных условий; вибрации БПЛА; перепадов давления и температур объектов окружающей среды; изменения положения самих датчиков в пространстве. Для повышения надежности оценки химического загрязнения часто предлагается использовать комплекс из датчиков различного принципа действия или из датчиков, реагирующих на различные химические вещества, что уменьшает полезную нагрузку БПЛА, усложняет обработку и передачу информации. Из последних исследований по созданию высокоточных измерительных устройств токсичных веществ в объектах окружающей среды следует выделить работы Кучменко Т.А., Лисичкина Г.В., Власова Ю.Г., Штыкова С.Н. и др. [13, 14, 15, 16]. Из открытых источников следует, что высокоточная дистанционная оценка заражения почв в реальном режиме времени остается актуальным вопросом и требует решения.

Цель исследования — повышение эффективности проведения дистанционной химической разведки почвы в реальном режиме времени путем разработки беспилотного комплекса, оснащенного высокочувствительным датчиком на основе матрицы пьезосенсоров, и методик его применения в реальных условиях.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи: модификация промышленного БПЛА для химической разведки почвы и разработка съемного модуля для анализатора АХОВ в почвах; разработка методики идентификации и количественного определения АХОВ в почве с применением матрицы пьезосенсоров; разработка схемы облета местности при дистанционной оценке заражения почв.

КОНСТРУКЦИЯ БПЛА СО СЪЕМНЫМ АНАЛИТИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ

Современные БПЛА по конструкции бывают самолетного, вертолетного (однороторные и мультироторные) и гибридного типов. Для анализа веществ в воздухе на значительной высоте используют аппараты самолетного и гибридного типов. Они отличаются сложностью в управлении, требуют специальных знаний и навыков у оператора, наличия устройств взлета-посадки и специально оборудованных взлетно-посадочных полос.

Однороторные БПЛА схожи по конструкции с пилотируемыми вертолетами, оснащены ведущим воздушным винтом и небольшим по размеру воздушным винтом на хвосте, обеспечивающим контроль курса. Такие БПЛА, по сравнению с мультироторными, имеют более длительное время полета, могут приводиться в действие двигателями внутреннего сгорания. Однако большие размеры лопастей несущего винта не позволяют пилотирование и посадку в труднодоступных местах.

Мультироторные БПЛА просты в изготовлении и эксплуатации, экономичны. Из недостатков следует отметить ограниченное время полета, небольшие грузоподъемность и скорость. Такие БПЛА возможно использовать для проведения химической разведки грунта на ограниченных территориях с применением миниатюрных энергоэкономичных датчиков. Из всех рассмотренных моделей

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

БПЛА мультироторного типа наиболее стабильными и устойчивыми являются квадрокоптеры [17].

В качестве платформы для аналитического модуля химической разведки почвы рассмотрена линейка квадрокоптеров китайской компании DJI. Компания хорошо зарекомендовала себя на мировом рынке с 2006 г. и имеет официальные представительства в Российской Федерации. Благодаря модульному принципу конструирования целевой нагрузки БПЛА DJI получили широкое распространение в различных сферах, в том числе в точном земледелии, строительстве, картографии, геодезии, поиске и спасении, охране природы. Некоторые технические характеристики БПЛА компании DJI представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Некоторые характеристики квадрокоптеров компании DJI

Характеристика	Модель квадрокоптера				
	MATRICE 100	S900	S1000	MATRICE 300	MATRICE 600
Вес, г	2355	3300	4400	6300	9,6
Размеры, мм	806×806×253	460×450×360	460×511×305	810×670×430	620×320×505
Максимальное время полета, мин	40	18	15	55	35
Максимальная высота полета, м	120	500	500	5000	2500
Максимальная скорость горизонтального полета, м/с	22	19	19	23	18
Максимальная скорость набора высоты, м/с	5	5	5	6	5
Максимальная скорость снижения, м/с	4	4	4	5	3
Полезная нагрузка, г	1000	5000	6000	2700	6000
Температура рабочей среды, °С	-10-40	-10-40	-10-40	-20-40	-10-40
Максимальный взлетный вес, г	3600	8200	11000	-	15100
Относительная цена на текущее время	0,22	0,16	0,20	1,0	0,40

Составлено авторами с помощью поисковой системы «Яндекс».

С применением системного анализа для достижения поставленной в работе цели выбран квадрокоптер модели MATRICE 100. Аппарат оснащен набором различных портов питания и данных, что позволяет расширять его функционал, создавая приложения или программы специально для своей отрасли.

Следует отметить, что ни один из имеющихся в продаже БПЛА мультироторного типа не имеет достаточной устойчивости при посадке на твердую поверхность в условиях сильно измененного рельефа, а также в комплектацию

БПЛА не входит устройство для подвижного крепления аналитического модуля, позволяющего проводить измерения концентраций АХОВ над поверхностью почвы. Авторами запатентована конструкция устойчивых телескопических стоек БПЛА, а также устройство для спуска-подъема анализатора АХОВ (рис. 1) [18].



Рис. 1. Опытный образец используемого в работе беспилотного комплекса химической разведки грунта

Составлено авторами.

В качестве анализатора АХОВ в почвах выбрано миниатюрное устройство типа «электронный нос», включающее матрицу высокочувствительных пьезосенсоров, помещенную в открытую ячейку детектирования [19, 20]. Пьезосенсоры представляют собой тонкую пластину кварца АТ-среза с собственной частотой колебаний 10–15 МГц, на которую с двух сторон напылены металлические электроды, модифицированные пленками сорбентов. При приращении массы вещества в результате адсорбции на пленке-модификаторе происходит снижение собственной частоты колебаний кварцевой пластины на величину ΔF (Гц), пропорциональную концентрации анализируемых газов в околосенсорном пространстве (над почвами). Подобные системы успешно применяются для анализа различных природных сред и отличаются высокой чувствительностью (до 2,5 МГц/мг), быстродействием (время отклика до 5 с), точностью микровзвешивания (погрешность лучших пьезосенсоров составляет 1–2 %), надежностью, экономичностью, минимальным энерго- и ресурсопотреблением [21–23]. Также немаловажным фактором при выборе чувствительных элементов для съемного аналитического модуля БПЛА является и то, что пьезосенсоры устойчивы к вибрации, механическим воздействиям, радиации, агрессивным средам; обратимы и способны к саморегенерации в течение 1–2 мин; результаты измерений не зависят от положения пьезосенсоров в пространстве [23].

Матрицы из нескольких пьезосенсоров с неселективными разнородными чувствительными сорбционными покрытиями используют для идентификации

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

химических соединений в объектах окружающей среды, то есть выбранный анализатор универсален. С набором одних и тех же пьезосенсоров возможна идентификация и количественное определение различных химических соединений. Обработка и визуализация суммарного аналитического сигнала от нескольких пьезосенсоров проводится по различным алгоритмам в зависимости от решаемых задач [13, 19, 22]. Наибольшее распространение на сегодняшний день имеет метод нейронных сетей, подразумевающий предварительное обучение системы сенсоров по эталонным образцам анализируемого объекта [24].

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АХОВ В ПОЧВЕ

На примере определения диметиламина (ДМА) в статье представлена методика оценки загрязнения почв с применением анализатора, включающего матрицу из трех пьезосенсоров. Диметиламин — газ с резким запахом гнилой рыбы, тяжелее воздуха; относится к соединениям II класса опасности. Его используют при производстве резины, отравляющих веществ, ракетного топлива. При правильном хранении диметиламин является стабильным веществом, а в почвах (особенно во влажных) трансформируется в гептил, нитрозодиметиламин, тетраметилтетразен, диметилформамид, метилтриазол, диметилтриазол, диметилгидразон формальдегида [25]. ДМА хорошо растворим в воде (1630 г/л при 20 °С); безразмерная константа закона Генри при 20 °С для него равна $3,37 \cdot 10^{-9}$, что означает низкую летучесть токсиканта с поверхности почвы.

В качестве пленочных покрытий пьезосенсоров матрицы использовали растворы разнополярных сорбентов: полярный пчелиный клей (сенсор 1); средне полярный тритон X-100 (сенсор 2); неполярный полистирол (сенсор 3). Значительно отличающаяся природа сорбентов обеспечивает различие в величине аналитического сигнала каждого пьезосенсора (ΔF_i) и кинетике сорбции различных АХОВ ($\Delta F_i = f(\tau)$), что позволяет идентифицировать вещества с большей вероятностью [21].

Для приготовления модельных смесей паров ДМА и построения градуировочных графиков рассчитывали концентрацию паров диметиламина над стандартным 40 %-ным химически чистым раствором по закону Генри-Дальтона [26]:

$$C_{\text{газ}} = C_{\text{р-р}}/H_{\text{сс}},$$

где $C_{\text{газ}}$ и $C_{\text{р-р}}$ — концентрации ДМА в газовой и водной фазах ($\text{мг}/\text{м}^3$); $H_{\text{сс}} = 2,97 \cdot 10^{10}$ — безразмерная растворимость Генри — обратная величина константе Генри.

Вычисленная равновесная концентрация ДМА в газовой фазе 40 %-ного раствора составила $137,9 \text{ мг}/\text{м}^3$. Насыщенные пары диметиламина разбавляли в генераторе модельных газовых смесей до заданной концентрации [27].

Модифицированные пьезосенсоры закрепляли в закрытой ячейке детектирования, в которую инжектировали шприцем пары ДМА с заданными

концентрациями в интервале $C_{\text{газ}}=10\text{--}105 \text{ мг/м}^3$. Считывали снижение частоты колебаний каждого пьезосенсора с шагом $\tau=15 \text{ с}$, через 1 мин от начала сорбции фиксировали аналитический сигнал ΔF_i . Полученные градуировочные графики представлены на рисунке 2.

Наибольшей чувствительностью к парам ДМА характеризуется пьезосенсор (1) с пленочным покрытием на основе тритона X-100. Этот пьезосенсор использовали для количественно определения паров ДМА над поверхностью почвы, при этом учитывали температурный коэффициент, установленный для диметиламина экспериментально путем построения изостеры сорбции ($K_{\text{иср}}=26 \text{ Гц/5 } ^\circ\text{C}$).

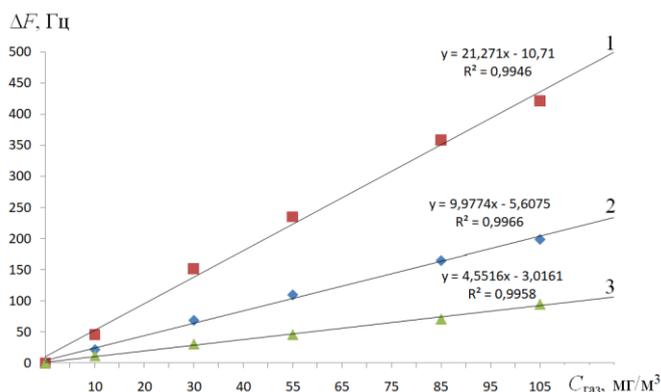


Рис. 2. Зависимость аналитических сигналов пьезосенсоров, модифицированных пчелиным клеем (1), тритоном X-100 (2) полистиролом (3) от концентрации диметиламина в газовой фазе (температура воздуха $22\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Составлено авторами.

Для идентификации АХОВ формировали суммарный аналитический сигнал от трех пьезосенсоров путем построения «отпечатка запаха» — лепестковой диаграммы в программе Excel [21]. Для этого по часовой стрелке на радиальных осях диаграммы поочередно откладывали аналитические сигналы каждого пьезосенсора с шагом $\tau=15 \text{ с}$. Такой подход позволяет учесть не только интенсивность сорбции аналита на сорбентах различной природы, но и учесть особенности кинетики сорбции, что является качественной характеристикой метода. «Отпечатки запаха» различных газов уникальны, как отпечатки пальцев. Примеры лепестковых диаграмм, полученных для различных газов, представлены на рисунке 3. При изменении концентрации анализируемого газа изменяется площадь диаграммы, а геометрия остается прежней. При наличии сопутствующих компонентов геометрия диаграммы изменяется и тем значительно, чем выше содержание мешающего вещества в смеси газов (рис. 4).

Для снижения влияния сопутствующих компонентов на надежность идентификации АХОВ в почве проводили обучение искусственного интеллекта на базе общедоступной программы Loginot по базам данных, полученных для различных условий сорбции ДМА. Для обучения использовали 1225 образцов с

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

различными концентрациями ДМА, в присутствии сопутствующих газов в различных соотношениях, в интервале температур воздуха от 5 до 32 °С. Вероятность правильной идентификация ДМА в почвах при наличии сопутствующих компонентов при их содержании, не превышающих концентрацию анализируемых АХОВ, в заданных температурных условиях составляет 99,8%.

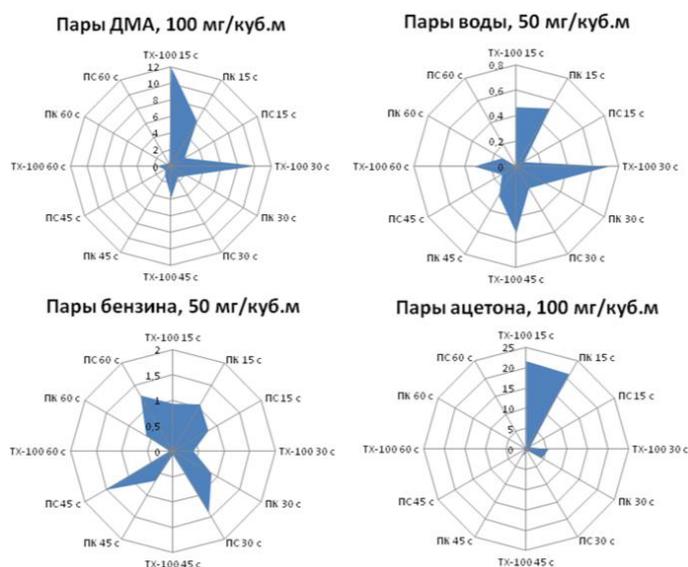


Рис. 3. «Отпечатки запахов» различных соединений, полученные с применением трехсенсорной матрицы (температура воздуха $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$)

Составлено авторами.

СПОСОБ ОБЛЕТА БПЛА МЕСТНОСТИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ПОЧВ

Для ведения воздушной разведки местности при мониторинге воздуха применяют известные схемы облета территории (режимы «прочесывания»; «разворота»; «змейки» и др.) [28]. Известные траектории БПЛА возможно использовать и при анализе заражения почвы. Схема мониторинга при этом будет отличаться тем, что в точках отбора проб производится посадка БПЛА; открытая ячейка детектирования автоматически устанавливается на грунт; в течение 1 минуты производится считывание аналитических сигналов пьезосенсоров, которые в режиме реального времени передаются на компьютер оператора, где обрабатываются с помощью специальных программ с целью идентификации опасного вещества (если оно не известно априори) и установления его концентрации над поверхностью почвы. После проведения измерения открытая ячейка детектирования автоматически поднимается с применением специального устройства. В течение времени набора высоты БПЛА и его перелета к следующей

контрольной точке (1–2 мин) происходит регенерация сорбционных пленочных покрытий, то есть пьезосенсоры готовы к повторному использованию.

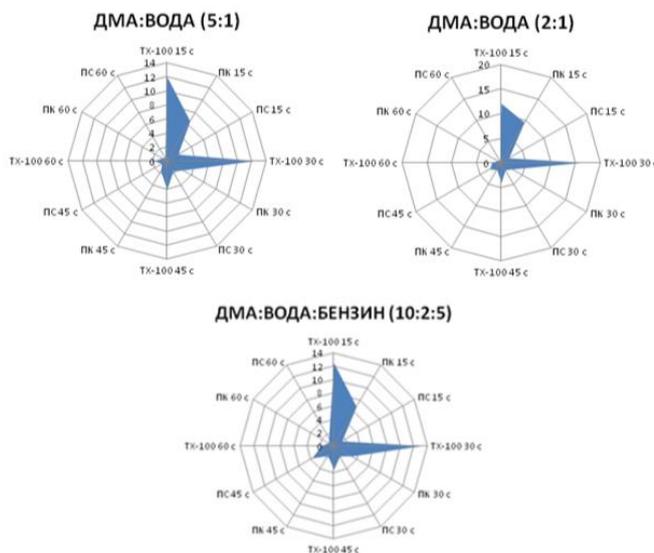


Рис. 4. «Отпечатки запахов» смесей газов (температура воздуха $20\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
Составлено авторами.

Однако известные способы облета территорий не учитывают характер распространения АХОВ в депонирующих средах, который зависит от многих факторов, в том числе от причины заражения территории (осаждение облака АХОВ, утечка или разлив из цистерны для хранения АХОВ или трубопровода, гильотинное разрушение цистерны или трубопровода в результате взрыва); интенсивности и объема выброса АХОВ; рельефа местности; типа и уплотнения депонирующей среды; физико-химических свойств АХОВ; метеорологических условий [29].

В депонирующих средах АХОВ в зависимости от своих физико-химических свойств, разлитого количества и условий окружающей среды могут оставаться в неизменном виде от нескольких часов до нескольких недель, месяцев и даже лет [12]. При эмиссии АХОВ из депонирующих сред происходит вторичное заражение территории. Прогнозировать характер распространения пятна АХОВ в депонирующих средах и распространение вторичного облака загрязнения при большом сочетании случайных факторов невозможно. Поэтому предлагается специальная схема мониторинга грунтов с применением БПЛА, которая представлена на рисунке 5 а.

На первом этапе измерение концентраций АХОВ в почве необходимо проводить по спирали от очага химической аварии на небольшом удалении от источника (5–10 м), что обеспечивает наглядность формирования основного направления распространения пятна. На втором этапе шаг и направление выбора точек измерения концентрации АХОВ адаптируют в режиме реального времени.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Адаптация зависит от соотношения текущей концентрации АХОВ к нормативу в каждом предыдущем витке спирали от очага химического загрязнения. Если текущая концентрация в точке по выбранному направлению не превышает установленный норматив, то по этому направлению прекращают вести анализ и перестраивают траекторию движения роботизированного комплекса.

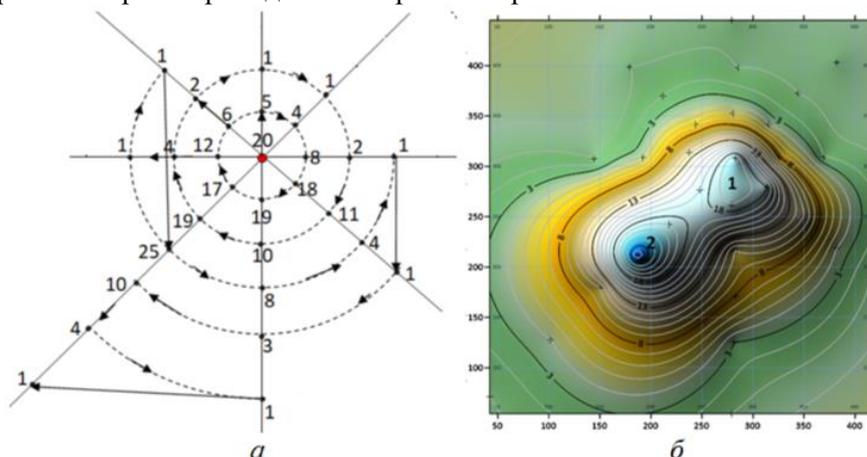


Рис. 5. Схема облета БПЛА местности для мониторинга загрязнения почвы в адаптированном режиме (а) и карта загрязнения почв (б). Стрелками показано направление движения БПЛА; точками — места пробоотбора; цифрами — кратность превышения нормативов содержания АХОВ

Составлено авторами.

Такой способ мониторинга почв обеспечивает точность оконтуривания пятна АХОВ при минимальном числе точек анализа. Расстояние между точками измерений возможно варьировать в режиме реального времени. При мало изменяющихся концентрациях расстояние между точками следует увеличить без потери информации и снижения точности мониторинга. После обработки информации строится концентрационная карта распространения пятна АХОВ в депонирующих средах (например, в программе Surfer), по которой с учетом изменяющихся метеорологических условий возможно более точное прогнозирование образования над пятном АХОВ вторичного облака (цифра 2 на рисунке 5 б) и переноса его в воздухе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделан краткий анализ применения современных беспилотных комплексов для дистанционного мониторинга загрязнения объектов окружающей среды в гражданских и военных целях. Их главные отличия от наземных средств — скорость получения информации и безопасность персонала (личного состава). Большинство существующих комплексов химической разведки оснащены датчиками для обнаружения аварийно химически опасных (отравляющих) веществ в атмосферном воздухе. Для решения проблемы дистанционного мониторинга

заражения почв предложен квадрокоптер с повышенной устойчивостью при взлете-посадке, оснащенный подвижным аналитическим модулем — анализатором АХОВ на основе матрицы пьезосенсоров («электронный нос»).

Разработанная методика позволяет анализировать загрязнение почв АХОВ в широком интервале температур (5–32 °С); концентраций (10–105 мг/м³ над почвой); в присутствии сопутствующих соединений (паров воды, бензина, спирта). Методика универсальна, то есть с использованием набора одних и тех же пьезосенсоров возможно обнаружение различных химических соединений над почвами. Время измерения в одной точке (без учета взлета-посадки квадрокоптера) составляет 1 мин. Регенерация пьезосенсоров происходит самопроизвольно воздухом через открытое дно ячейки детектирования при перелете БПЛА к следующей контрольной точке. Представленная методика не требует пробоотбора и пробоподготовки почвы; специальной аппаратуры для регенерации чувствительных элементов анализатора. Информация о загрязнении почв передается в режиме реального времени на пульт оператора.

Схемы облета местности зависят от многих факторов и поставленных задач. Для оценки заражения почвы АХОВ следует учитывать характер, объемы и причины их поступления в окружающую среду, климатические условия, рельеф. Предложенная в работе схема облета местности с адаптацией маршрута в зависимости от степени загрязнения почв в контрольных точках позволяет сократить время облета без снижения точности и надежности мониторинга загрязнения почвы.

Список литературы

1. Осанов В.А., Шурихин А.А., Кондратьев С.М., Михаленко Ю.А., Коняева О.С. Разработка автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха с использованием беспилотного летательного аппарата // Т-Сотт-Телекоммуникации и Транспорт. 2019. № 13(5). С. 28–34.
2. Пат. № 2645249 Российская Федерация, МКП G01W 1/08(2006.01). Способ мониторинга окружающей среды и беспилотный аппарат для использования в данном способе / Дудкин А. Ф., Калинин С.Ю., Мовляев А.С., заявитель и патентообладатель АО «Российские космические системы». № 2016133716; заявл. 17.08.2016; опубл. 19.02.2018. 6 с.
3. Соловьев М.О. Исследование возможностей беспилотных летательных аппаратов в решении проблем утечек газа и нефти // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. №2-2(77). С. 41–45.
4. Башилов А.М., Королев В.А. Автономные беспилотные летательные аппараты в точных системах агропроизводства // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 3. № 43. С. 76–82.
5. Данеев А. В., Дмитриева Л. Ю., Плеханова О. С. Трехмерная геопространственная визуализация загрязнения воздушной среды региона // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №3. С. 16–20.
6. Петелева Е.Е. Использование средств дистанционного зондирования для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Вестник магистратуры. 2016. № 6-1 (57). С. 7–9.
7. Шевченко А.В. Стратегия реализации Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения (часть первая) // Технологии гражданской безопасности. 2016. Т. 13. № 2 (48). С. 66–72.
8. Никитенко Ю.В., Богданов А.П. Основные направления снижения террористической угрозы на химически опасных объектах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1. С. 378–382.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

9. Бакин Э.Н., Петрикин А.Н. Колесов Д.Г. Применение беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа при организации воздушной радиационной и химической разведки // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 3. С. 7–14.
10. Асеев В.А., Бакин Э.Н., Смурыгин А.В. Способы выявления радиационной, химической и биологической обстановки расчетами комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 13. С. 39–45.
11. Полтавский А.В., Жумабаева А.С., Бикеев Р.Р. Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов: развитие в системе вооружения // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 1 (13). С. 39–46.
12. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Пантелеев Д.А. Экология почв военных полигонов. Воронеж: Научная книга, 2023. 184 с.
13. Кучменко Т.А., Умарханов Р.У., Кочетова Ж.Ю., Бельских Н.В. Разработка датчика, газоанализатора и детектора аммиака на основе пьезосенсора // Журнал аналитической химии. 2012. Т. 67. № 11. С. 1032.
14. Кулакова И.И., Лисичкин Г.В. Перспективы применения графеновых наноматериалов: сорбенты, мембраны, газовые сенсоры // Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94. № 9. С. 1104–1121.
15. Власов Ю.Г., Легин А.В., Рудницкая А.М. Мультисенсорные системы типа электронный язык – новые возможности создания и применения химических сенсоров // Успехи химии. 2006. Т. 75. №2. С. 141–150.
16. Штыков С.Н., Русанова Т.Ю. Наноматериалы и нанотехнологии в химических и биохимических сенсорах: возможности и области применения // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. №2. С. 92–100.
17. Великанов А.В., Шишкин А.В., Кочетова Ж.Ю., Осипов В.С., Дьякова Н.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для проведения химической разведки грунта на зараженных территориях // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 40. С. 154–163.
18. Пат. № 2766308 С1 Российской Федерации, МПК В64С 39/02. Беспилотный комплекс химической разведки грунта / Великанов А.В., Кочетова Ж.Ю., Павлович А.В., Григорян А.С., Григорьев Д.С., Шишкин А.В., заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». № 2020129280; заявл. 03.09.2020; опубл. 14.03.2020.
19. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Федорова Е.В., Бондарева Л.П., Шлык Ю.К., Коренман Я.И. Применение матрицы пьезосорбционных датчиков для анализа газовых этанолсодержащих смесей // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. №5. С. 764–770.
20. Пат. № 2302627 С1 Российской Федерации, МПК G01N 27/12. Газоанализатор с открытым входом на основе пьезосенсоров / Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Силина Ю.Е., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Сенсорные технологии». № 2006102742/28; заявл. 31.01.2006; опубл. 10.07.2007.
21. Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю. Комплексный экспресс анализ загрязнения вод // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 3. С. 382–392.
22. Кочетова Ж.Ю., Внукова С.В., Дубачева А.В., Кучменко Т.А. Пьезосорбционный экспресс-анализ загрязнения почв бензином // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2020. Т. 6(72). № 3. С. 292–302.
23. Проблемы аналитической химии. Т. 14: Химические сенсоры / под ред. Ю.Г. Власова. М.: Наука, 2011. 399 с.
24. Шапкин С.Ю., Кочетова Ж.Ю., Кучменко Т.А. Применение многослойной нейронной сети для анализа бинарных газовых смесей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-1(16-1). С. 305–309.
25. Товасаров А.Д. К вопросу устойчивости диметиламина в почве // Известия научно-технического общества «КАХАК». 2012. № 3(37). С. 116–118.
26. Sander R. Compilation of constants of Henry's Law (version 4.0) for water as a solvent // Atmosphere. Chemistry. Physics. 2015. Vol. 15. No. 8. PP. 4399–4981.
27. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Мишина А.А., Щербак К.П. Определение влажности воздуха в широком диапазоне температур и концентраций // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 1. С. 53–60.

28. Временное наставление по применению комплексов с БЛА в ВС РФ. Москва: МО РФ, 2013. 11 с.
29. Зайцев А.Н., Исмаилов Ш.Н. Технологии ведения работ по локализации и ликвидации источников химического заражения при авариях с выбросами аварийно химически опасных веществ в чрезвычайных ситуациях различного типа // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1. С. 220–224.

REMOTE MONITORING OF SOIL CONTAMINATION WITH HAZARDOUS CHEMICALS: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Shishkin A. V.¹, Kochetova Zh. Yu.², Velikanov A. V.³, Tronin A. L.⁴

*^{1,2,3,4} Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation
E-mail: ¹zk_yva@mail.ru*

A brief analysis of the use of modern unmanned systems for remote monitoring of environmental pollution for civil and military purposes is made. Their main differences from ground-based chemical reconnaissance equipment are the speed of obtaining information and the safety of personnel (personnel). Most of the existing chemical reconnaissance complexes are equipped with sensors for detecting emergency chemically dangerous (toxic) substances in the atmospheric air. To solve the problem of remote monitoring of soil contamination, a quadcopter with increased stability during takeoff and landing is proposed, equipped with a mobile analytical module — analyzer of emergency chemically hazardous substances based on a piezosensor matrix («electronic nose»). Piezosensors differ from well-known soil pollutant analyzers in their high sensitivity, miniaturization, and economical energy consumption. They are resistant to vibration and mechanical influences, radiation, aggressive environments, and are reversible.

The developed technique using an «electronic nose» allows analyzing soil contamination with hazardous chemicals in a wide range of temperatures (5–32 °C); concentrations (10–105 mg/m³ above the soil); in the presence of concomitant compounds (water vapor, gasoline, alcohol). The technique is universal, that is, using a set of the same piezosensors, it is possible to detect various chemical compounds over soils. The measurement time at one point (excluding take-off and landing of the quadcopter) is 1 min. The regeneration of piezosensors occurs spontaneously by air through the open bottom of the detection cell during the flight of the UAV to the next control point. Thus, the presented technique does not require sampling and sample preparation of the soil; special equipment for the regeneration of the sensitive elements of the analyzer. Information about soil pollution is transmitted in real time to the operator's console.

Over flight patterns depend on many factors and set goals. To assess soil contamination with hazardous chemicals, it is necessary to take into account the nature, volume and causes of their entry into the environment, climatic conditions, and relief. The proposed scheme of overflying the area (in the «spiral» mode) with route adaptation depending on the degree of soil pollution at control points allows you to reduce the monitoring time without reducing the accuracy and reliability of monitoring soil pollution.

Keywords: remote monitoring, unmanned aerial vehicle, soil pollution, emergency chemically hazardous substances, piezosensor, electronic nose, terrain flyby scheme.

References

1. Osanov V.A., Shchurihin A.A., Kondrat'ev S.M., Mihalenko Yu.A., Konyaeva O.S. Razrabotka avtomatizirovannoj sistemy monitoringa atmosfernogo vozduha s ispol'zovaniem bespilotnogo letatel'nogo apparata (Development of an automated atmospheric air monitoring system using an unmanned aerial vehicle). *T-Comm-Telekommunikacii i Transport*, 2019, no. 13(5), pp. 28–34 (in Russian).
2. Patent no. 2645249 Russian Federation, MCP G01W 1/08(2006.01). Sposob monitoringa okruzhayushchej sredy i bespilotnyj apparat dlya ispol'zovaniya v danom sposobe (A method for monitoring the environment and an unmanned vehicle for use in this method) / Dudkin A.F., Kalinin S.Yu., Movlyayev A.S., applicant and patent holder of JSC Russian Space Systems. no. 2016133716; application dated 08/17/2016; publ. 02/19/2018, 6 p. (in Russian).
3. Solov'ev M.O. Issledovanie vozmozhnostej bespilotnyh letatel'nyh apparatov v reshenii problem utechek gaza i nefi (Investigation of the capabilities of unmanned aerial vehicles in solving problems of gas and oil leaks). *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2023, no. 2-2(77), pp. 41–45 (in Russian).
4. Bashilov A.M., Korolev V.A. Avtonomnye bespilotnye letatel'nye apparaty v tochnyh sistemah agroprodukcii (Autonomous unmanned aerial vehicles in precision agricultural production systems). *Vestnik agrarnoj nauki Dona*, 2018, vol. 3, no. 43, pp. 76–82 (in Russian).
5. Daneev A.V., Dmitrieva L.Yu., Plekhanova O.S. Trekhmernaya geoprostranstvennaya vizualizaciya zagryazneniya vozduшной sredy regiona (Three-dimensional spatial visualization of air pollution in the region). *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2022, no. 3, pp. 16–20 (in Russian).
6. Peteleva E.E. Ispol'zovanie sredstv distancionnogo zondirovaniya dlya monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya (The use of remote sensing tools for monitoring agricultural land). *Vestnik magistratury*, 2016, no. 6-1 (57), pp. 7–9 (in Russian).
7. Shevchenko A.V. Strategiya realizacii Konceptii radiacionnoj, himicheskoj i biologicheskoj zashchity naseleniya (chast' pervaya) (Strategy for the implementation of the Concept of radiation, chemical and biological protection of the population (part one)). *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2016, vol. 13, no. 2(48), pp. 66–72 (in Russian).
8. Nikitenko Yu.V., Bogdanov A.P. Osnovnye napravleniya snizheniya terroristicheskoj ugrozy na himicheski opasnyh ob'ektah (The main directions of reducing the terrorist threat at chemically hazardous facilities). *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij*, 2015, no. 1, pp. 378–382 (in Russian).
9. Bakin E.N., Petrikin A.N., Kolesov D.G. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov vertoletnogo tipa pri organizacii vozduшной radiacionnoj i himicheskoj razvedki (The use of helicopter-type unmanned aerial vehicles in the organization of aerial radiation and chemical reconnaissance). *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2017, no. 3, pp. 7–14 (in Russian).
10. Aseev V.A., Bakin E.N., Smurygin A.V. Sposoby vyyavleniya radiacionnoj, himicheskoj i biologicheskoj obstanovki raschetami kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami (Methods of detecting radiation, chemical and biological conditions by calculations of complexes with unmanned aerial vehicles). *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2020, no. 13, pp. 39–45 (in Russian).
11. Poltavskij A.V., Zhumabaeva A.S., Bikeev R.R. Mnogofunkcional'nye komplekсы bespilotnyh letatel'nyh apparatov: razvitie v sisteme vooruzheniya (Multifunctional complexes of unmanned aerial vehicles: development in the armament system). *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem*, 2016, no. 1(13), pp. 39–46 (in Russian).
12. Kochetova Zh.Yu., Bazarskij O.V., Panteleev D.A. Ekologiya pochv voennyh poligonov (Soil ecology of military ranges). *Voronezh: Nauchnaya kniga*, 2023, 184 p. (in Russian).
13. Kuchmenko T.A., Umarhanov R.U., Kochetova Zh.Yu., Bel'skih N.V. Razrabotka datchika, gazoanalizatora i detektora ammiaka na osnove p'ezosensora (Development of a sensor, a gas analyzer and an ammonia detector based on a piezosensor). *Zhurnal analiticheskoj himii*, 2012, vol. 67, no. 11, pp. 1032 (in Russian).
14. Kulakova I.I., Lisichkin G.V. Perspektivy primeneniya grafenovyh nanomaterialov: sorbenty, membrany, gazovye sensory (Prospects for the use of graphene nanomaterials: sorbents, membranes, gas sensors). *Zhurnal prikladnoj himii*, 2021, vol. 94, no. 9, pp. 1104–1121 (in Russian).

15. Vlasov Yu.G., Legin A.V., Rudnickaya A.M. Mul'tisensornye sistemy tipa elektronnyy yazyk – novye vozmozhnosti sozdaniya i primeneniya himicheskikh sensorov (Multisensory systems of the electronic language type – new possibilities for the creation and application of chemical sensors). *Uspekhi himii*, 2006, vol. 75, no. 2, pp. 141–150 (in Russian).
16. Shtykov S.N., Rusanova T.Yu. Nanomaterialy i nanotekhnologii v himicheskikh i biohimicheskikh sensorah: vozmozhnosti i oblasti primeneniya (Nanomaterials and nanotechnology in chemical and biochemical sensors: possibilities and applications). *Rossiyskiy himicheskij zhurnal*, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 92–100 (in Russian).
17. Velikanov A.V., Shishkin A.V., Kochetova Zh.Yu., Osipov V.S., D'yakova N. A. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya provedeniya himicheskoy razvedki grunta na zarazhennykh territoriyah (The use of unmanned aerial vehicles for conducting chemical reconnaissance of soil in infected territories). *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2022, no. 40, pp. 154–163 (in Russian).
18. Patent no. 2766308 C1 of the Russian Federation, IPC B64C 39/02. Bespilotnyy kompleks himicheskoy razvedki grunta (Unmanned complex of chemical soil exploration) / Velikanov A.V., Kochetova Zh. Yu., Pavlovich A.V., Grigoryan A. S., Grigoriev D. S., Shishkin A.V., applicant and patent holder of the VUNC Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», no. 2020129280; application 03.09.2020; publ. 03/14/2020 (in Russian).
19. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Yu., Fedorova E.V., Bondareva L.P., Shlyk Yu.K., Korenman Ya.I. Primenenie matricy p'ezosorbtsionnykh datchikov dlya analiza gazovykh etanolsoderzhashchih smesey (Application of a piezosorption sensor matrix for the analysis of ethanol-containing gas mixtures). *Zhurnal prikladnoy himii*, 2003, vol. 76, no. 5, pp. 764–770 (in Russian).
20. Patent no. 2302627 C1 of the Russian Federation, IPC G01N 27/12. Gazoanalizator s otkrytym vhomom na osnove p'ezosensorov (A gas analyzer with an open entrance based on piezosensors) / Kuchmenko T. A., Kochetova Zh. Yu., Silina Yu. E., applicant and patent holder Limited Liability Company «Sensor Technologies», no. 2006102742/28; application 31.01.2006; publ. 10.07.2007 (in Russian).
21. Maslova N.V., Kochetova Zh.Yu. Kompleksnyy ekspress analiz zagryazneniya vod (Complex express analysis of water pollution). *Regional'nye geosistemy*, 2021, vol. 45, no. 3, pp. 382–392 (in Russian).
22. Kochetova Zh.Yu., Vnukova S.V., Dubacheva A.V., Kuchmenko T.A. P'ezosorbtsionnyy ekspress-analiz zagryazneniya pochv benzinom (Piezosorption express analysis of soil pollution with gasoline). *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biologiya. Himiya*, 2020, vol. 6(72), no. 3, pp. 292–302 (in Russian).
23. Problemy analiticheskoy himii (Problems of analytical chemistry). Vol. 14: Himicheskie sensory (Chemical sensors) / edited by Yu. G. Vlasov, Moscow: Nauka, 2011, 399 p. (in Russian).
24. Shapkin S.Yu., Kochetova Zh.Yu., Kuchmenko T.A. Primenenie mnogoslojnoj nejronnoj seti dlya analiza binarnykh gazovykh smesey (Application of a multilayer neural network for the analysis of binary gas mixtures). *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*, 2015, vol. 3, no. 5-1(16-1), pp. 305–309 (in Russian).
25. Tovasarov A.D. K voprosu ustojchivosti dimetilamina v pochve (On the issue of dimethylamine stability in soil). *Izvestiya nauchno-tekhnicheskogo obshchestva «KAHAK»*, 2012, no. 3(37), pp. 116–118 (in Russian).
26. Sander R. Compilation of constants of Henry's Law (version 4.0) for water as a solvent. *Atmosphere. Chemistry. Physics*, 2015, vol. 15, no. 8, pp. 4399–4981.
27. Kochetova Zh.Yu., Bazarskiy O.V., Kuchmenko T.A., Mishina A.A., Shcherbak K.P. Opredelenie vlazhnosti vozduha v shirokom diapazone temperatur i koncentracij (Determination of air humidity in a wide range of temperatures and concentrations). *Analitika i kontrol'*, 2012, vol. 16, no 1, pp. 53–60 (in Russian).
28. Vremennoe nastavlenie po primeneniyu kompleksov s BLA v VS RF (Temporary instruction on the use of complexes with UAVs in the Armed Forces of the Russian Federation). Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation, 2013, 11 p. (in Russian).
29. Zajcev A.N., Ismailov Sh.N. Tekhnologii vedeniya rabot po lokalizacii i likvidacii istochnikov himicheskogo zarazheniya pri avariayah s vybrosami avarijno himicheskimi opasnykh veshchestv v chrezvychajnykh situatsiyah razlichnogo tipa (Technologies for conducting work on localization and elimination of sources of chemical contamination in accidents with emissions of emergency chemically

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАРАЖЕНИЯ ПОЧВЫ АВАРИЙНО
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

hazardous substances in emergency situations of various types). Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij, 2015, no. 1, pp. 220–224.

Поступила в редакцию 22.07.2024 г.

РАЗДЕЛ 4.
ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.8:56.017.4

**ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ
ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

Рубан Д. А.

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
E-mail: ruban-d@mail.ru*

Биотические кризисы многократно случались в фанерозойской истории Земли, однако их природа до сих пор остается предметом дискуссий. Настоящая работа нацелена на изучение возможной связи этих событий со сменой долгосрочных трендов температурных флуктуаций. В качестве материала используются наиболее свежая информация о времени проявления 19 биотических кризисов, а также новые температурные кривые для фанерозоя. Методически работа основана на интерпретации долгосрочных трендов температурных флуктуаций и сопоставлении их смены с биотическими кризисами. По результатам выполненного анализа установлено, что многие биотические кризисы (до двух третей от их общего количества) ассоциировались со сменами долгосрочных трендов, равно как и многие из последних (не менее половины) сопровождалась биотическими кризисами. Определенность таких интерпретаций в значительной степени зависит от выбора температурной кривой и меньше — от выбора шкалы геологического времени (относительной или абсолютной). Выдвинута гипотеза о наличии некоторого механизма, связывающего фанерозойские биотические кризисы со сменой долгосрочных трендов изменений температурного режима. Последующая верификация этой гипотезы может выявить причинно-следственную связь между рассматриваемыми феноменами. При этом смена долгосрочных трендов температурных флуктуаций скорее не вызвала биотические кризисы, а повышала вероятность их развития за счет палеоэкологического стресса.

Ключевые слова: биота, глобальная палеогеография, изменения температур, кайнозой, массовые вымирания, мезозой, палеозой, палеоклиматические тренды, событийный анализ, стратиграфия.

ВВЕДЕНИЕ

Биотические кризисы, неоднократно имевшие место в фанерозойской истории Земли, представляют значительный интерес для современных исследователей. Они отражают реализацию в той или иной мере катастрофических сценариев развития как жизни, так и геологической среды нашей планеты. Крупные из них известны как массовые вымирания, наиболее изученные из которых имели место на рубежах перми/триаса [1, 2, 3] и мела/палеогена [4, 5, 6]. Биотическим кризисам посвящено огромное количество научных работ как зарубежных [7, 8, 9], так и отечественных специалистов [10, 11]. При этом до сих пор нет однозначного понимания ни их точного количества, ни причин. Первое могло измеряться первыми десятками (при этом открытия новых событий такого рода продолжают [12, 13, 14]), а вторые предполагают такие явления как астероидный удар, изменения климата, колебания уровня моря, океаническая аноксия, трапповый вулканизм и т.п. [10, 11, 15, 16]. В целом, современная наука заключает, что биотические кризисы случались в фанерозойской истории сравнительно часто, а причины их различались и при этом

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

зачастую носили комплексный характер (соответствующая проблематика постоянно дебатруется и расширяется).

Глобальные изменения климата входят в число традиционно обсуждаемых причин биотических кризисов [17]. Например, похолодания оказывали резко негативное влияние на палеозойские рифовые экосистемы [18], что способствовало общему снижению биоразнообразия, а амплитуда температурных изменений сама по себе могла выступать фактором массовых вымираний [19]. Связь биотических кризисов и изменений климата могла носить и опосредованный характер. Стоит признать, что попытки прослеживания прямой или косвенной связи путем непосредственного сопоставления кривых отдельных климатических параметров со временем проявления биотических кризисов хотя и полезны, но носят односторонний характер и отражают частично устаревший подход. Однако это не означает, что такие исследования должны быть оставлены вовсе.

Целью настоящей работы является рассмотрение параллелизации (возможного совпадения) фанерозойских биотических кризисов с температурной составляющей долгосрочных изменений климата. Имеются два серьезных основания для проведения подобного рода анализа. Во-первых, современные исследования показывают, что биотические кризисы могли быть определенным образом связаны не только с самими изменениями параметров окружающей среды, но и со сменой их долгосрочных трендов [20, 21]. Во-вторых, в недавнее время были предложены новые температурные кривые для фанерозоя [22, 23], что означает необходимость пересмотра ранее предпринимавшихся сопоставлений. Данная работа представляет своего рода мета-анализ, т.е. получение новых результатов и их оригинальную интерпретацию путем обработки ранее опубликованной информации. Блоки последней не просто обобщаются и сопоставляются, но именно анализируются.

МЕТОДИКА ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ГРУППЫ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР

В целях настоящего исследования использованы два вида информации. Во-первых, это сведения о фанерозойских биотических кризисах и их проявлении в геологическом времени. Число этих катастроф может оцениваться по-разному. Критический анализ литературы показывает, что в качестве таковых могут пониматься, как минимум, 19 событий: среднекембрийское (1), позднеордовикское (2), раннесилурское (3), живетское (4), фран/фаменское (5), девон/карбоновое (6), серпуховское (7), гваделупское (8), пермь/триасовое (9), ладинское (10), карнийское (11), триас/юрское (12), тоарское (13), ааленское (14), юра/меловое (15), сеноман/туронское (16), мел/палеогеновое (17), палеоцен/эоценовое (18), эоцен/олигоценное (19) [24]. Во-вторых, необходимо обратиться к новым фанерозойским температурным кривым [22, 23]. Изменения климата – довольно широкое понятие, которое подразумевает совокупность различных феноменов. Данная работа фокусируется конкретно на среднемировых температурах (термин используется согласно [22]) и средних для низких широт температурах (в понимании

[23]). Стоит отметить, что два вышеуказанных вида информации имеют довольно сходное временное разрешение, а потому могут сопоставляться напрямую.

Используемые кривые отражают флуктуации температур, которые могут быть определены как элементарные. Их элементарность объясняется тем, что они прослежены первично и с максимально возможным временным разрешением. Однако анализ этих кривых позволяет также установить тенденции, объединяющие однородные серии таких флуктуаций и, следовательно, отражающие более или менее четкую, линейную закономерность изменений температур (рис. 1). Эти тренды могут быть условно названы долгосрочными, при этом их долгосрочность относительна элементарных флуктуаций. Представляется, что и элементарные флуктуации, и смена долгосрочных трендов могут иметь отношение к биотическим кризисам, при этом двойное (рис. 1). Во-первых, они способны оказать прямое воздействие, став причиной (и даже первопричиной в понимании [10]) таких катастроф. Во-вторых, их влияние может быть косвенным, когда они создают более благоприятные условия для реализации кризисов, вызванных другими причинами [20, 21]. Интерес к сменам долгосрочных трендов объясняется тем, что они маркируют наиболее важные изменения температурного режима, предполагающие другую направленность развития окружающей среды. Они не могли не влиять на экосистемы и биоту в целом. Как минимум, организмы оказывались в стрессовых условиях, будучи вынуждены изменяться в соответствии с новыми тенденциями (подробнее эти механизмы охарактеризованы в [20, 21]).

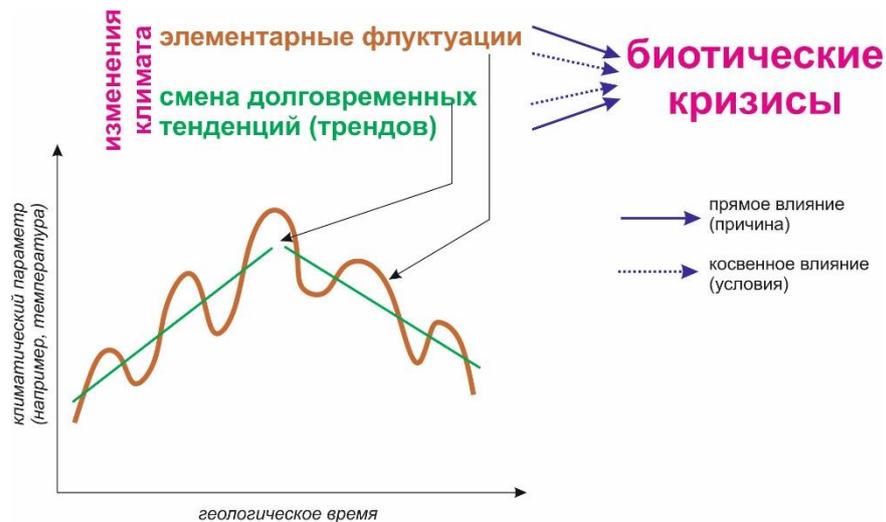


Рис. 1. Возможные соотношения изменений климата и биотических кризисов.

Аналитическая составляющая настоящей работы, предопределяющая ее новизну, заключается в следующем. Прежде всего, фанерозойские температурные кривые [22] интерпретируются с целью выявления долгосрочных трендов. Последние фиксируются таким образом, чтобы отразить однородные серии элементарных

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

флуктуаций. В большинстве случаев это не представляет проблемы, однако на некоторых интервалах четких тенденций не прослеживается. Данная процедура предполагает качественно-визуальную интерпретацию исходной кривой, которая обосновывалась и пояснялась ранее (в том числе в контексте событийного анализа) [20, 21, 24]. Использование специальных статистических методов в этих целях имеет ограниченную пригодность, т.к. они не могут полностью учесть особенностей геологической информации. Крупнейшие аномальные отклонения температур, которые явно не входят в состав серий, понимаются как самостоятельные события, нарушающие тренды. Установление трендов позволяет зафиксировать время их смены (безусловно, она занимала несколько миллионов лет). При этом она могла быть качественно разной. Например, в одних случаях тенденция к потеплению сменялась тенденцией к похолоданию, в других — тенденция к похолоданию усиливалась. Смены долгосрочных трендов могут сопоставляться непосредственно со временем проявления биотических кризисов.

Геологическое время выражается в относительных и абсолютных единицах. Очевидно, что привязка анализируемой кривой к разным временным шкалам может привести к различиям в выделении долгосрочных трендов. При этом предпочтение не должно отдаваться абсолютным шкалам, т.к. относительные единицы геологического времени, во-первых, в некоторой мере соответствуют естественным этапам истории Земли, а, во-вторых, существует изменчивость абсолютных датировок ключевых геологических рубежей (например, [25]). В этой связи настоящий анализ привязан как к относительной шкале геологического времени, где за единицу принят век, так и к абсолютной шкале, где единицы выражены в миллионах лет. С учетом наличия двух альтернативных температурных кривых [22, 23] получаем четыре варианта соотношений биотических кризисов и долгосрочных изменений климата. Безусловно, это варианты должны сравниваться и рассматриваться в совокупности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ температурной кривой [22] при использовании относительной шкалы геологического времени (рис. 2) показывает, что 14 биотических кризисов (1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 — объяснение номеров событий см. выше) ассоциировались непосредственно со сменой долгосрочных трендов температур или располагались на начальных или конечных интервалах этих трендов. Это относится, в частности, к позднеордовикскому, фран/фаменскому, пермь/триасовому, юра-меловому и мел/палеогеновому массовым вымираниям, из которых первые четыре имели место при смене направления трендов. Также более двух третей смен долгосрочных трендов параллелизовались с биотическими кризисами.

Анализ температурной кривой [22] при использовании абсолютной шкалы геологического времени (рис. 3) показывает, что 12 биотических кризисов (1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 15, 16, 17, 18, 19 — объяснение номеров событий см. выше) ассоциировались непосредственно со сменой долгосрочных трендов температур или располагались на начальных или конечных интервалах этих трендов. Это относится, в частности, к пяти вышеуказанным массовым вымираниям, из которых, как и в предыдущем

случае, первые четыре имели место при смене направления трендов. Также более трех четвертей смен долгосрочных трендов параллелизовались с биотическими кризисами.

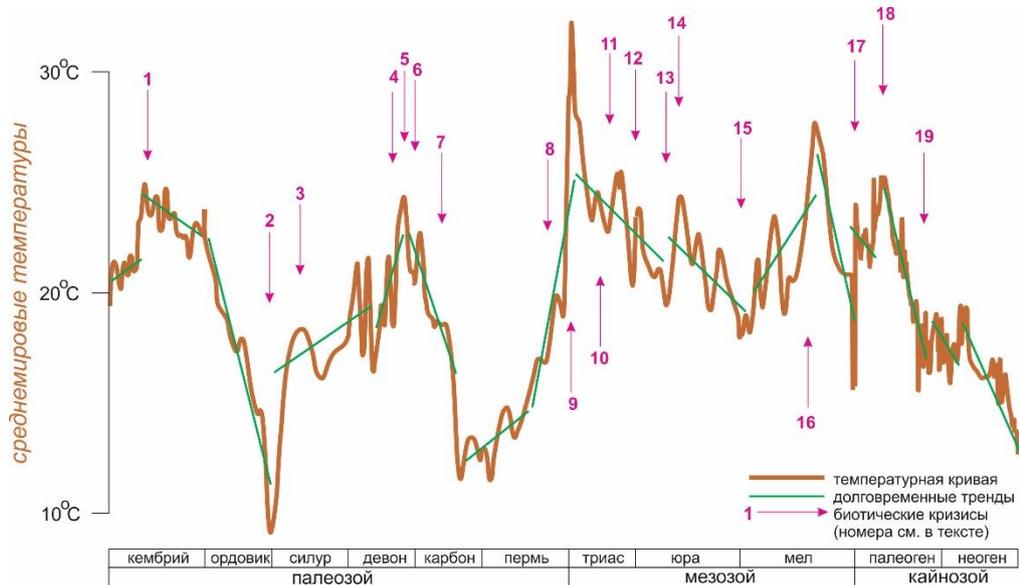


Рис. 2. Ординарные флуктуации (по данным [22]) и интерпретированные долгосрочные тренды изменений температур в фанерозое и биотические кризисы (на основании [24]) при использовании относительной шкалы геологического времени (данная схема не предназначена для сопоставления кризисов и элементарных температурных флуктуаций).

Анализ температурной кривой [23] при использовании относительной шкалы геологического времени (рис. 4) показывает, что 8 биотических кризисов (2, 3, 5, 6, 7, 9, 15, 17 — объяснение событий номеров см. выше) ассоциировались непосредственно со сменой долгосрочных трендов температур или располагались на начальных или конечных интервалах этих трендов. Это относится к вышеупомянутым позднеордовикскому, фран/фаменскому, пермь/триасовому, юра-меловому и мел/палеогеновому массовым вымираниям, из которых последние четыре имели место при смене направления трендов. Также три четверти смен долгосрочных трендов параллелизовались с биотическими кризисами.

Наконец, анализ температурной кривой [23] при использовании абсолютной шкалы геологического времени (рис. 5) показывает, что только 6 биотических кризисов (6, 10, 14, 15, 17, 18 — объяснение событий номеров см. выше) ассоциировались непосредственно со сменой долгосрочных трендов температур или располагались на начальных или конечных интервалах этих трендов.

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

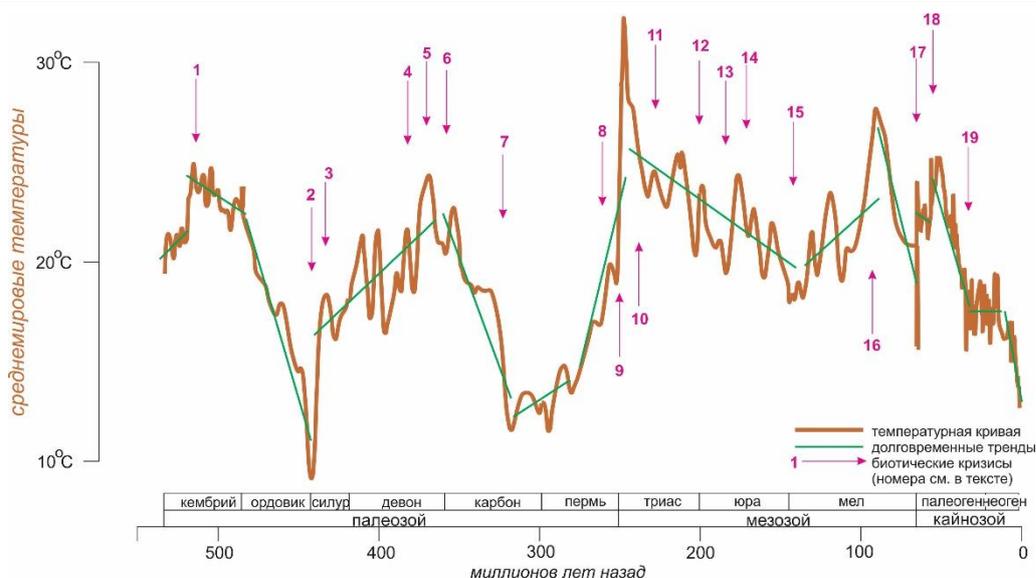


Рис. 3. Обычные флуктуации (по данным [22]) и интерпретированные долгосрочные тренды изменений температур в фанерозое и биотические кризисы (на основании [24]) при использовании абсолютной шкалы геологического времени (данная схема не предназначена для сопоставления кризисов и элементарных температурных флуктуаций).

Это относится в том числе к юра/меловому и мел/палеогеновому массовым вымираниям, которые имели место при смене направления трендов. Также более половины смен долгосрочных трендов параллелизовались с биотическими кризисами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение полученных результатов указывает на совпадение фанерозойских биотических кризисов и долгосрочных изменений климата в геологическом времени. Кроме того, в ряде случаев с такой сменой совпадало несколько биотических кризисов, как это имело место в девоне и юре (рис. 2–5). Однако сила такой ассоциации различается в зависимости от выбора температурной кривой и в меньшей степени от выбора между относительной и абсолютной шкалами. Использование кривой [22] и относительной шкалы указывает на более тесную ассоциацию, которая не оставляет сомнений в наличии некоторой связи между рассматриваемыми феноменами. Однако кривая [23] и абсолютная шкала делают такую ассоциацию менее определенной, а связь — несколько менее очевидной. В целом, результаты проведенных анализов позволяют выдвинуть гипотезу о наличии некоторого механизма, объясняющего заметную параллелизацию некоторых биотических кризисов со сменой долгосрочных трендов на температурных кривых.

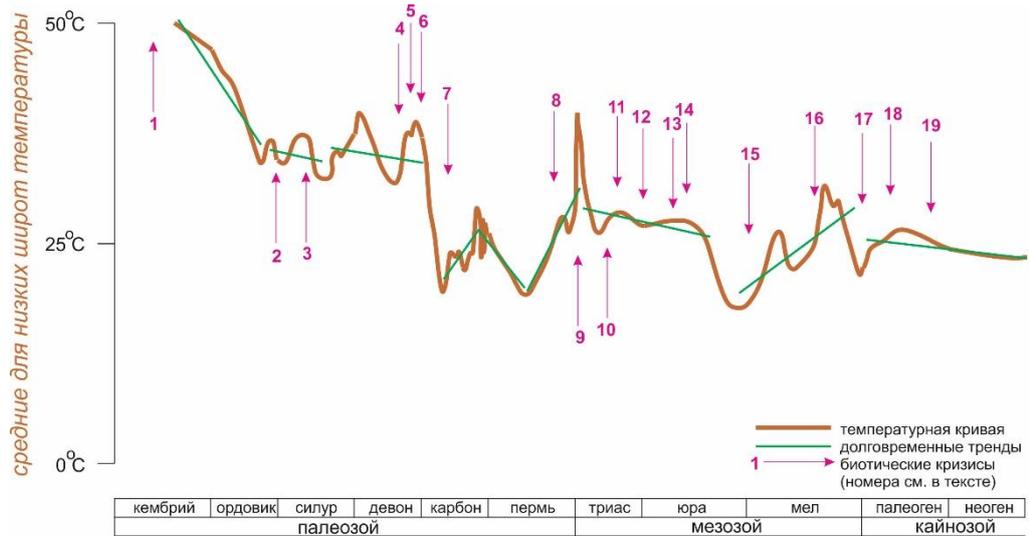


Рис. 4. Обычные флуктуации (по данным [23]) и интерпретированные долгосрочные тренды изменений температур в фанерозое и биотические кризисы (на основании [24]) при использовании относительной шкалы геологического времени (данная схема не предназначена для сопоставления кризисов и элементарных температурных флуктуаций).

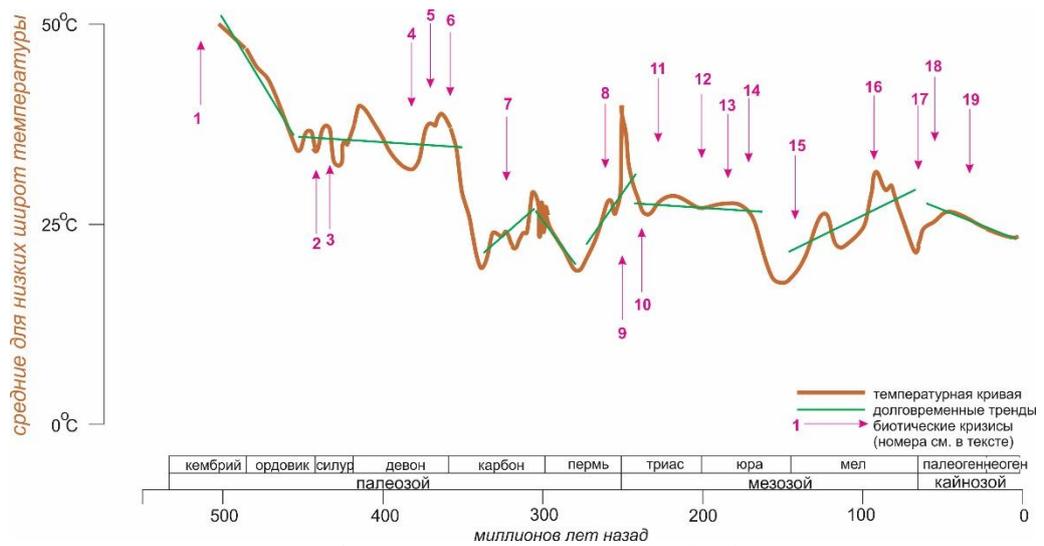


Рис. 5. Обычные флуктуации (по данным [23]) и интерпретированные долгосрочные тренды изменений температур в фанерозое и биотические кризисы (на основании [24]) при использовании абсолютной шкалы геологического времени (данная схема не предназначена для сопоставления кризисов и элементарных температурных флуктуаций).

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Может ли последующая верификация вышеуказанной гипотезы действительно привести к установлению причинно-следственной связи? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть три обстоятельства. Во-первых, совпадение феноменов может быть сугубо случайным. Хотя исключать такой возможности в принципе нельзя, проведенный анализ фиксирует действительно большое количество случаев, когда биотические кризисы происходили во время смен трендов. Во-вторых, совпадение может быть следствием того, что биотические кризисы являются выражением планетарных катастроф, которые оказывали влияние и на температурный режим. Подобную возможность нельзя отвергать в принципе, но представляется крайне маловероятным, что многие катастрофические события фанерозоя, проявлявшиеся очень быстро (в геологическом понимании), были способны надолго «разворачивать» направление элементарных флуктуаций температурного режима. В-третьих, совпадение может быть лишь кажущимся за счет того, что аномальное изменение температур, вызванное катастрофой и фиксируемое в масштабе века или нескольких миллионов лет, влияет на внешний вид предшествующего и последующего трендов. В этом отношении необходимо отметить, что, с одной стороны, интерпретация трендов проводилась так, чтобы по возможности избежать такой ситуации, а, с другой, — тренды фиксируют именно однородные серии элементарных флуктуаций. Например, резкое похолодание самого конца ордовика (хирнантский век) может быть каким-либо образом связано с планетарной катастрофой, однако ему предшествовала довольно длительная тенденция к похолоданию [22, 23].

Таким образом, кажется вполне возможным, что зафиксированные данным исследованием ассоциации феноменов в геологическом времени отражают действительную причинно-следственную связь. Однако она не должна пониматься слишком упрощенно, в том числе и потому, что подобного рода связь ранее прослеживалась для другого возможного фактора биотических событий фанерозоя — глобальных колебаний уровня моря [20]. Более того, изменение температурного режима — это лишь один из многих аспектов климатической эволюции Земли. Здесь также уместно вспомнить о необходимости различия между причинами и первопричинами массовых вымираний [10]. Видится гораздо более вероятным, что смены долгосрочных трендов изменений среднегодовых температур создавали именно условия, в которых вероятность биотических кризисов, имевших разные причины [10, 11, 15, 16], увеличивалась (рис. 1). Однако нельзя исключать и того, что в отдельных случаях смены трендов сами могли оказать непосредственное и при этом негативное влияние на экосистемы.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ указывает на заметную параллелизацию и гипотетическую причинно-следственную связь фанерозойских биотических кризисов с долгосрочными изменениями климата. Имели место довольно частые совпадения катастрофических событий со сменой трендов на температурных кривых. Такая смена может рассматриваться не как первопричина биотических кризисов, а как

фактор увеличения вероятности их проявления, независимо от того, чем они были вызваны. При этом определенность полученных результатов и их интерпретаций находятся в тесной зависимости от выбора температурной кривой (использование относительной или абсолютной шкалы геологического времени влияет меньше).

Настоящая работа демонстрирует, что использование, с одной стороны, существенно обновленной информации (в данном случае об изменениях температурного режима), а, с другой, — новых концептуальных представлений (в данном случае о потенциальном значении смены долгосрочных трендов) может сформировать новый взгляд на природу биотических кризисов. Это делает соответствующие исследования перспективными. Тем не менее прослеживание отдельных совпадений феноменов в геологическом времени не должно рассматриваться как «окончательное» решение рассматриваемой научной проблемы, которое по определению сложно в силу комплексности, многофакторности механизмов биологической эволюции и ее связи с геологической историей планеты, а также несовершенства наших знаний о фанерозойской истории Земли.

Список литературы

1. Захаров В.А. Пограничный пермо-триасовый биотический кризис в бореальной биогеографической области // Труды Геологического института. 2006. № 580. С. 72–76.
2. Knoll A.H., Bambach R.K., Payne J.L., Pruss S., Fischer W.W. Paleophysiology and end-Permian mass extinction // *Earth and Planetary Science Letters*. 2007. V. 256. P. 295–313.
3. Shen J., Zhang Y.G., Yang H., Xie S., Pearson A. Early and late phases of the Permian–Triassic mass extinction marked by different atmospheric CO₂ regimes // *Nature Geoscience*. 2022. V. 15. P. 839–844.
4. Грачёв А.Ф. Тайна вымирания динозавров // *Земля и Вселенная*. 2010. № 3. С. 70–80.
5. Irizarry K.M., Witts J.D., Garb M.P., Rashkova A., Landman N.H., Patzkowsky M.E. Faunal and stratigraphic analysis of the basal Cretaceous–Paleogene (K–Pg) boundary event deposits, Brazos River, Texas, USA // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2023. V. 610. P. 111334.
6. Keller G. Deccan volcanism, the Chicxulub impact, and the end-Cretaceous mass extinction: Coincidence? Cause and effect? // *Special Paper of the Geological Society of America*. 2014. V. 505. P. 57–89.
7. Bailey R. Mass extinctions and their causes // *Geology Today*. 2024. V. 40. P. 21–28.
8. Bambach R.K. Phanerozoic biodiversity mass extinctions // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2006. V. 34. P. 127–155.
9. Raup D.M., Sepkoski, Jr. J.J. Mass extinctions in the marine fossil record // *Science*. 1982. V. 215. P. 1501–1503.
10. Бараш М.С. Причины и первопричины массовых вымираний биоты в фанерозое // Доклады Академии наук. 2012. № 4. С. 424–427.
11. Дмитриева Н.А. Массовые вымирания в истории эволюции Земли // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. 2011. № 2. С. 81–88.
12. Dal Corso J., Bernardi M., Sun Y., Song H., Seyfullah L.J., Preto N., Gianolla P., Ruffell A., Kustatscher E., Roghi G., Merico A., Hohn S., Schmidt A.R., Marzoli A., Newton R.J., Wignall P.B., Benton M.J. Extinction and dawn of the modern world in the Carnian (Late Triassic) // *Science Advances*. 2020. V. 6. P. eaba0099.
13. Fantasia A., Mattioli E., Spangenberg J.E., Adatte T., Bernardez E., Ferreira J., Thibault N., Krencker F.-N., Bodin S. The middle-late Aalenian event: A precursor of the Mesozoic Marine Revolution // *Global and Planetary Change*. 2022. V. 208. P. 103705.
14. Ruban D.A. Examining the Ladinian crisis in light of the current knowledge of the Triassic biodiversity changes // *Gondwana Research*. 2017. V. 48. P. 285–291.
15. Bond D.P.G., Grasby S.E. On the causes of mass extinctions // *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

- Palaeoecology. 2017. V. 478. P. 3–29.
16. Rampino M.R., Caldeira K., Prokoph A. What causes mass extinctions? Large asteroid/comet impacts, flood-basalt volcanism, and ocean anoxia—Correlations and cycles // Special Paper of the Geological Society of America. 2019. V. 542. P. 271–302.
 17. Alsulami A., Petrovskii S. A model of mass extinction accounting for the differential evolutionary response of species to a climate change // Chaos, Solitons and Fractals. 2023. V. 175. P. 114018.
 18. Stanley S.M. Climatic cooling and mass extinction of Paleozoic reef communities // Palaios. 1988. V. 3. P. 228–232.
 19. Song H., Kemp D.B., Tian L., Chu D., Song H., Dai X. Thresholds of temperature change for mass extinctions // Nature Communications. 2021. V. 12. P. 4694.
 20. Ruban D.A. Paleozoic-Mesozoic Eustatic Changes and Mass Extinctions: New Insights from Event Interpretation // Life. 2020. V. 10. P. 281.
 21. Ruban G.G. The relation between the Givetian and Serpukhovian biotic crises and long-term environmental trend changes // Geosystems and Geoenvironment. 2024. V. 3. P. 100265.
 22. Scotese C.R., Song H., Mills B.J.W., van der Meer D.G. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years // Earth-Science Reviews. 2021. V. 215. P. 103503.
 23. Grossman E.L., Joachimski M.M. Ocean temperatures through the Phanerozoic reassessed // Scientific Reports. 2022. V. 12. P. 8938.
 24. Рубан Д.А. Неравнозначность массовых вымираний в истории жизни на Земле: новый подход к ранжированию // Вестник Псковского государственного университета. Серия "Естественные и физико-математические науки". 2022. № 3. С. 49–59.
 25. Rogov M.A., Panchenko I.V., Augland L.E., Ershova V.B., Yashunsky V.Yu. The first CA-ID-TIMS U-Pb dating of the Tithonian/Berriasian boundary beds in a Boreal succession. Gondwana Research. 2023. V. 118. P. 165-173.

PHANEROZOIC BIOTIC CRISES AND LONG-TERM TRENDS OF CLIMATE CHANGES

Ruban D. A.

*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation
E-mail: ruban-d@mail.ru*

Biotic crises were common in the Phanerozoic history of the Earth, although their nature remains debatable. Particularly, significant temperature changes could potentially affect the biotic evolution, although there is not any agreement of how these changes could be linked to biotic crises. Indeed, the knowledge of their possible correspondence should be updated regularly regarding the appearance of new portions of knowledge about biotic crises and palaeotemperatures. For instance, several new crises (Ladinian and Carnian in the Triassic, Aalenian in the Jurassic) have been proven very recently, and two detailed, but alternative palaeotemperature reconstructions have been published. The present work aims at studying the possible relations of the catastrophic biotic events to the changes of the long-term trends of temperature fluctuations. Trend changes should be distinguished from ordinary temperature changes because these are the events of different levels. The material is constituted by the freshest information about the timing of 19 biotic crises (mid-Cambrian, Late Ordovician, early Silurian, Givetian, Frasnian/Famennian, Devonian/Carboniferous, Serpukhovian, Guadalupian, Permian/Triassic, Ladinian, Carnian, Triassic/Jurassic, Toarcian, Aalenian, Jurassic/Cretaceous, Cenomanian/Turonian, Cretaceous/Paleogene, Paleocene/Eocene, Eocene/Oligocene) and

the recently updated temperature curves proposed for the entire Phanerozoic. Methodologically, this work is a kind of meta-analysis, i.e., it offers a new treatment of the already published information. It is based on the interpretation of long-term trends of temperature fluctuations and the comparison of their changes to the biotic crises. Long-term trends are outlined so to relate the sequences of ordinary fluctuations with the same direction of changes on original palaeotemperature curves. Two alternative curves are considered for better objectivity of the analysis. Moreover, the fluctuations depicted by these curves are analyzed in regard to both relative and absolute geological time scales. The results of the undertaken analysis imply that many biotic crises (up to two thirds of their total number) associated with the long-term trend changes, as well as many of the latter (not less than a half of them) were accompanied by biotic crises. The certainty of these interpretations depends significantly on the choice of the temperature curve and less on the choice of the geological time scale (relative or numerical). Some biotic events demonstrate perfect correspondence of changes of the long-term palaeotemperature trends irrespective of the choice of the original curve and the geological time scale. For instance, this is a case of the Cretaceous/Paleogene mass extinction, and the same is true for the Devonian/Carboniferous biotic crisis. A hypothesis about the presence of any mechanism relating the Phanerozoic biotic crises and the shifts of the long-term temperature trends is proposed. Subsequent verification of this hypothesis can establish the causal relation between the considered phenomena. Likely, changes of long-term trends of temperature fluctuations did not cause biotic crises, but increased their probability via environmental stress. In other words, these changes acted indirectly making fossils more vulnerable to various negative influences. The conclusions made in the present study should not be judged final. Much has been learned about connections of the biotic evolution and temperature changes in the Phanerozoic. Two other uncertainties, which make future investigations necessary, include the presence of alternative palaeotemperature reconstructions (apparently, those available are far from being ideal) and the regular updates of the geological time scales (moreover, it is unclear whether relative or absolute scales should be preferred in such studies). Anyway, this study stresses the importance of attention to the correspondence of the events of a different scale (short-term biotic crises and long-term temperature trend changes).

Keywords: biota, global palaeogeography, temperature changes, Cenozoic, mass extinctions, Mesozoic, Paleozoic, palaeoclimatic trends, event analysis, stratigraphy.

References

1. Zakharov V. A. Pogranichnyy permio-triasovyy bioticheskiy krizis v boreal'noy bioticheskoy oblasti (A Permian-Triassic boundary biotic crisis in the Boreal biogeographical region). Proceedings of the Geological Institute, 2006, no. 580, pp. 72–76 (in Russian).
2. Knoll A. H., Bambach R. K., Payne J. L., Pruss S., Fischer W.W. Paleophysiology and end-Permian mass extinction. Earth and Planetary Science Letters, 2007, vol. 256, pp. 295–313.
3. Shen J., Zhang Y. G., Yang H., Xie S., Pearson A. Early and late phases of the Permian–Triassic mass extinction marked by different atmospheric CO₂ regimes. Nature Geoscience, 2022, vol. 15, pp. 839–844.
4. Grachyov A. F. Tayna vamiraniya dinozavrov (Enigma of dinosaur extinction). Earth and Universe, 2010, no. 3, pp. 70–80 (in Russian).
5. Irizarry K. M., Witts J. D., Garb M. P., Rashkova A., Landman N. H., Patzkowsky M. E. Faunal and stratigraphic analysis of the basal Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary event deposits, Brazos River, Texas, USA.

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ БИОТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ
И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2023, vol. 610, p. 111–334.
6. Keller G. Deccan volcanism, the Chicxulub impact, and the end-Cretaceous mass extinction: Coincidence? Cause and effect? Special Paper of the Geological Society of America, 2014, vol. 505, pp. 57–89.
 7. Bailey R. Mass extinctions and their causes. *Geology Today*, 2024, vol. 40, pp. 21–28.
 8. Bambach R. K. Phanerozoic biodiversity mass extinctions. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2006, vol. 34, pp. 127–155.
 9. Raup D. M., Sepkoski Jr. J. J. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*, 1982, vol. 215, pp. 1501–1503.
 10. Barash M. S. Prichiny i pervoprichiny massovykh vymiraniy bioty v fanerozoe (Triggers and causes of mass extinction of biota in the Phanerozoic). *Proceedings of the Academy of Sciences*, 2012, no. 4, pp. 424–427 (in Russian).
 11. Dmitrieva N. A. Massovye vymiraniya v istorii evolyutsii Zemli (Mass extinctions in the history of evolution on the Earth). *Development of life in the process of abiotic changes on the Earth*, 2011, no. 2, pp. 81–88 (in Russian).
 12. Dal Corso J., Bernardi M., Sun Y., Song H., Seyfullah L. J., Preto N., Gianolla P., Ruffell A., Kustatscher E., Roghi G., Merico A., Hohn S., Schmidt A. R., Marzoli A., Newton R. J., Wignall P. B., Benton M. J. Extinction and dawn of the modern world in the Carnian (Late Triassic). *Science Advances*, 2020, vol. 6, p. eaba0099.
 13. Fantasia A., Mattioli E., Spangenberg J. E., Adatte T., Bernardez E., Ferreira J., Thibault N., Krencker F.-N., Bodin S. The middle-late Aalenian event: A precursor of the Mesozoic Marine Revolution. *Global and Planetary Change*, 2022, vol. 208, p. 103705.
 14. Ruban D. A. Examining the Ladinian crisis in light of the current knowledge of the Triassic biodiversity changes. *Gondwana Research*, 2017, vol. 48, pp. 285–291.
 15. Bond D. P. G., Grasby S. E. On the causes of mass extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, vol. 478, pp. 3–29.
 16. Rampino M. R., Caldeira K., Prokoph A. What causes mass extinctions? Large asteroid/comet impacts, flood-basalt volcanism, and ocean anoxia—Correlations and cycles. Special Paper of the Geological Society of America, 2019, vol. 542, pp. 271–302.
 17. Alsulami A., Petrovskii S. A model of mass extinction accounting for the differential evolutionary response of species to a climate change. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2023, vol. 175, p. 114018.
 18. Stanley S. M. Climatic cooling and mass extinction of Paleozoic reef communities. *Palaaios*, 1988, vol. 3, pp. 228–232.
 19. Song H., Kemp D. B., Tian L., Chu D., Song H., Dai X. Thresholds of temperature change for mass extinctions. *Nature Communications*, 2021, vol. 12, p. 4694.
 20. Ruban D. A. Paleozoic-Mesozoic Eustatic Changes and Mass Extinctions: New Insights from Event Interpretation. *Life*, 2020, vol. 10, p. 281.
 21. Ruban D. A. The relation between the Givetian and Serpukhovian biotic crises and long-term environmental trend changes. *Geosystems and Geoenvironment*, 2024, vol. 3, p. 100265.
 22. Scotese C. R., Song H., Mills B. J. W., van der Meer D. G. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, 2021, vol. 215, p. 103503.
 23. Grossman E. L., Joachimski M. M. Ocean temperatures through the Phanerozoic reassessed. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, p. 8938.
 24. Ruban D. A. Neravnoznachnot' massovykh vymiraniy v istorii zhizni na Zemle: novyy podkhod k ranzhirovaniyu (Inequivalence of mass extinctions in the history of Life on the Earth: a new approach for ranking). *Herald of the Pskov State University. Series Natural and Physical-Mathematical Sciences*, 2022, no. 3, pp. 49–59 (in Russian).
 25. Rogov M. A., Panchenko I. V., Augland L. E., Ershova V. B., Yashunsky V. Yu. The first CA-ID-TIMS U-Pb dating of the Tithonian/Berriasian boundary beds in a Boreal succession. *Gondwana Research*, 2023, vol. 118, pp. 165–173.

Поступила в редакцию 16.09.2024 г.

РАЗДЕЛ 5.
ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 550.348.435

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Пустовитенко Б. Г.¹, Эреджепов Э. Э.², Бондарь М. Н.³

^{1,2,3}ГАОУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Республика Крым, Россия.

³Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия.

E-mail: ¹bpustovitenko@mail.ru

Представлены результаты изучения и анализа общих свойств и особенностей спектральных, кинематических, динамических и энергетических характеристик очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2023 год. Для 9 землетрясений по амплитудным спектрам объемных сейсмических волн решена обратная задача по восстановлению динамические параметры очагов (M_0 , ρ_0 , $\Delta\sigma$, ϵ , $\eta\sigma$, $\Delta\sigma$, \bar{u} , E_u и M_w) с использованием теоретической дислокационной модели Бруна (ω^{-2}). Для двух наиболее сильных землетрясения 27 февраля с $M_w=3.8$ и 22 июня с $M_w=4.8$ получены кинематические параметры очагов в рамках дислокационной модели двойного диполя. Спектральные свойства сейсмических волн 7 землетрясений исследованы по энергетическим спектрам с использованием сейсмограмм станции «Алушта».

Ключевые слова: механизм очага, амплитудный спектр, модель Бруна, спектральная плотность, угловая частота, динамические параметры очага, энергетический спектр, система спектров.

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения работ по оценке и картированию сейсмической опасности территории в различных масштабах, а также моделирования прогнозных сейсмических воздействий необходимы надежные знания о параметрах моделей очагов землетрясений, возникающих в сложных многопараметрических сеймотектонических структурах региона — зонах возможных очагов землетрясений (зонах ВОЗ). Эти модели конструируются на основе экспериментальных данных, в том числе с использованием кинематических и динамических параметров очагов, восстанавливаемых по волновым формам сейсмических волн, зарегистрированных группой сейсмических станций. При этом надежность построения моделей очагов зависит от статистически значимых исходных данных, полученных в широком энергетическом диапазоне за длительный интервал времени. В связи с этим постоянное пополнение банка данных об очаговых параметрах местных землетрясений является крайне необходимой и актуальной задачей, особенно для Крымского региона с низким уровнем сейсмической активности, но высоким сейсмическим потенциалом геологических структур [1].

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Кинематические параметры очагов землетрясений восстанавливаются из фокальных механизмов, надежные решения которых можно получить только для наиболее сильных землетрясений по записям большого количества сейсмических станций, окружающих очаг равномерно со всех сторон. Для решения **механизмов** очагов двух наиболее сильных землетрясений 27 февраля и 22 июня 2023 года использованы знаки первых вступлений продольных сейсмических волн, зарегистрированные на 126 сейсмических станциях, расположенных в широком азимутальном створе и в большом диапазоне эпицентральных расстояний. Для этого помимо данных по станциям Крыма и опубликованных в Международном сейсмологическом центре [2] были собраны и использованы исходные материалы по ближайшим станциям, расположенным вокруг бассейна Черного моря.

Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений изучены по 83 амплитудным спектрам продольных и поперечных сейсмических волн, зарегистрированных на шести региональных сейсмических станциях Института сейсмологии и геодинамики КФУ (ИГиС КФУ): «Алушта» (ALU), «Севастополь» (SEV), «Симферополь» (SIM), «Судак» (SUDU), «Ялта» (YAL), «Керчь» (KERU) и двух автономных ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»): «Донузлав-2» (DNZ2) и «Опук» (OPUK). Для изучения спектральные свойств сейсмических колебаний, на которые приходится максимальный уровень излученной из очага энергии, использовано 19 энергетических спектров объемных сейсмических волн по сейсмограммам станции «Алушта».

Всего для оценки очаговых параметров местных землетрясений за 2023 год отобраны записи девяти сейсмических событий в диапазоне энергетических классов $K_{II} = 7.5 \div 12.5$ (табл. 1), представляющих научный интерес с позиции их пространственного расположения и энергетического уровня (рис. 1).

Таблица 1.

Основные параметры землетрясений Крыма за 2023 год, для которых
восстановлены динамические характеристики очагов

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	Магнитуда		K_{II}	Район
			φ° , N	λ° , E		M_w/h , табл. 4	ML wsg		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
1	25.01	16 31 58.6	44.63	36.21	29	2.76/3	2.4	8.2	Керченско-Анапский (№ 5)
2*	27.02	13 02 38.7	44.53	34.45	28	3.8/7	3.5	11.1	Алуштинский (№ 3)
3	09.03	16 03 57.9	44.02	33.39	29	2.18/2	2.1	7.6	Севастопольский (№ 1)
4	10.03	14 43 53.1	44.00	33.36	27	3.13/4	2.6	8.6	Севастопольский (№ 1)
5	21.03	03 01 46.8	45.18	33.79	6	2.25/10	1.9	7.5	Степной Крым (№ 6)
6	20.06	09 37 21.0	44.66	36.35	24	3.24/4	2.7	8.9	Керченско-Анапский (№ 5)
7*	22.06	02 42 28.7	44.05	33.45	39	4.77/12	5.0	12.5	Севастопольский (№ 1)
8	18.07	11 03 18.1	44.45	35.99	20	3.54/7	3.3	9.6	Судакско-Феодосийский (№ 4)
9	15.08	12 11 05.4	44.41	34.32	22	3.0/6	2.6	8.7	Ялтинский (№ 2)

Примечание. Параметры землетрясений в графах 2–6, 8–10 даны по данным сводной обработки в Крыму, значения M_w — из табл.4, n — число станционных определений, *— землетрясения, для которых получено решение механизма очага.

Большинство выбранных для оценки очаговых параметров землетрясений произошло в акватории Черного моря (рис.1), в основных сеймотектонических структурах Крымского региона на глубинах от 20км до 39км в диапазоне эпицентральных расстояний $\Delta=16\div 276$ км от сейсмических станций. Только одно относительно слабое событие с $K_p=7.5$ возникло в верхнем слое земной коры ($h=6$ км) материковой части Крыма (район №6, Степной Крым). Очаг самого сильного ощутимого землетрясения 22 июня 2023 г. с $K_p=12.5$ приурочен к переходной зоне кора-мантия ($h=39$ км) места сочленения крупных сейсмолинеаментов: Одесско-Синопского и Южнобережного [1]. Другое ощутимое землетрясение 27 февраля ($K_p=11.1$) с интенсивность до 3 баллов в нескольких населенных пунктах ЮБК [3] произошло вблизи побережья Крыма в зоне пересечения Салгиро-Октябрьского глубинного разлома (Альминская структура [1]) и Южнобережного.

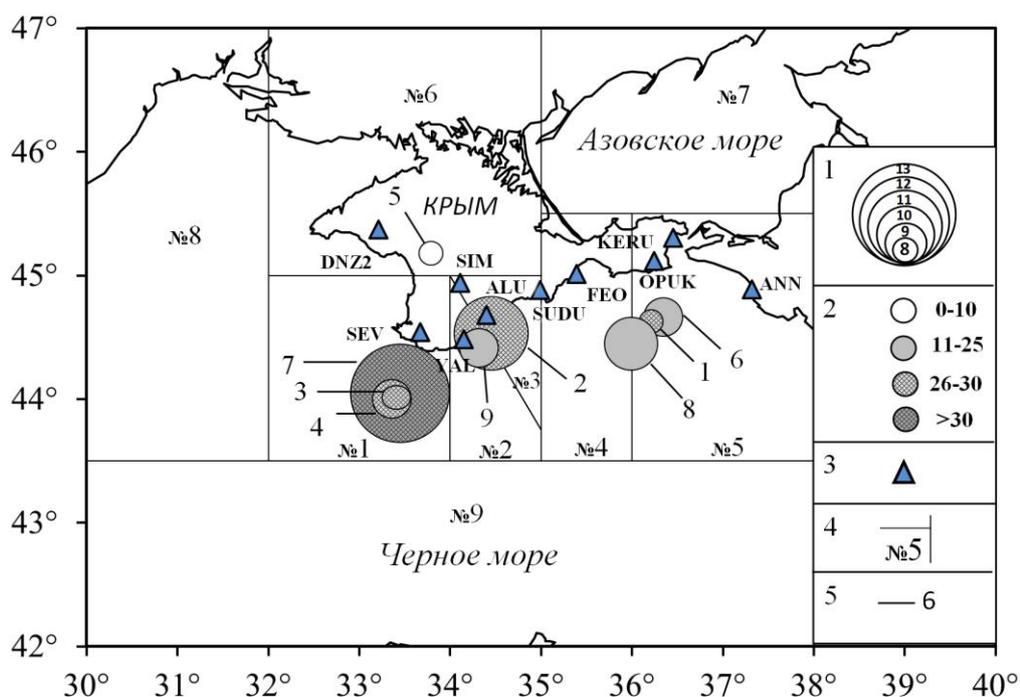


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2023 г., для которых восстановлены очаговые параметры: 1 — энергетический класс K_p [4]; 2 — глубина очага; 3 — сейсмическая станции; 4 — граница сейсмоактивных районов; 5 — номера землетрясений по табл. 1.

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Для расчета амплитудных и энергетических спектров отобраны только стационарные сейсмограммы, отвечающие критериям высокого качества: четкие (*i*) моменты вступления объемных волн, амплитуды полезного сигнала в 2 и более раза превышают фон помех. Пример использованной в работе сейсмограммы дан на рисунке 2.

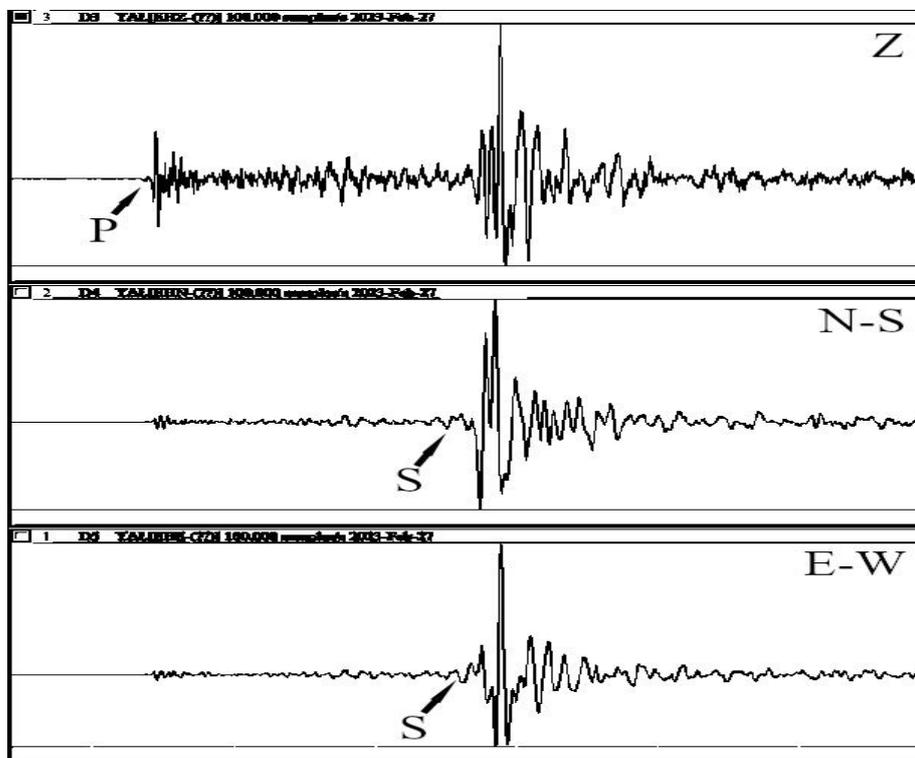


Рис. 2. Пример записи землетрясения 27 февраля 2023 г. на сейсмической станции «Ялта», $K_p=11.1$, $\Delta=24$ км. Стрелками отмечены моменты вступления продольных (*P*) и поперечных (*S*) волн.

Спектральные свойства семи слабых толчков с $K_p=5.0\div 7.4$, как и в предыдущие годы [5, 6], изучены также по спектрам энергии объемных сейсмических волн, зарегистрированных на станции «Алушта» (табл. 2). Отметим, что использование только одной сейсмической станции дает возможность минимизировать особенности стационарных условий регистрации.

Для анализа выбрана компактная группа землетрясений («рой» по принятой классификации [7]), произошедших в конце ноября 2023г. в центральной зоне региона (Алуштинский район) вблизи станции «Алушта» (№ 2–7 в табл. 2). Эти группирующие события принадлежат одному локализованному объему геологической структуры, в связи с этим физические свойства глубинной среды в самой очаговой зоне и на пути распространения сейсмических волн можно считать

квазиоднородными, мало влияющими на характер и свойства сейсмических колебаний, а значит и на параметры расчетных спектров.

Кроме того, дополнительно рассчитан энергетический спектр землетрясения 21 марта (№1 в табл.2), произошедшего в мало изученной материковой части Крыма (Степной Крым, №5 на рис. 1).

Таблица 2.

Основные параметры землетрясений Крыма за 2023 год, для которых рассчитаны энергетические спектры

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_{II}	Район
			φ° , N	λ° , E			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	21.03	03 01 46.8	45.18	33.79	6	7.5	Степной Крым (№ 6)
2	25 10	15 35 18.0	44.54	34.70	13	6.2	Алуштинский (№ 3)
3	25 10	23 42 05.6	44.51	34.70	13	5.0	Алуштинский (№ 3)
4	26 10	03 07 12.9	44.57	34.64	13	5.2	Алуштинский (№ 3)
5	26 10	04 52 56.3	44.66	34.65	15	7.2	Алуштинский (№ 3)
6	27 10	13 40 13.4	44.67	34.65	16	6.5	Алуштинский (№ 3)
7	27 10	14 08 47.0	44.64	34.64	19	7.4	Алуштинский (№ 3)

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Решение механизма очагов выполнено в рамках теоретической дислокационной модели сдвигового источника в виде двойного диполя по активной тектонической структуре [8] с использованием методики, описанной в работе [9]. Углы выхода сейсмических волн из очага на сейсмические станции регистрации рассчитывались исходя из глубины гипоцентра и удаленности станций регистрации: для близких станций по региональному годографу [10], а для далеких — по таблицам из работы [11].

Интерпретация амплитудных спектров и оценка динамических параметров очагов выполнена в рамках теоретической дислокационной модели Бруна (ω^{-2}) [12] по методике и формулам из работ [12, 13, 14, 15, 16]. Параметры моделей глубинной среды в очаговой зоне землетрясения и на пути распространения сейсмических волн подбирались в соответствии с пространственным расположением его гипоцентра.

Амплитудные спектры поперечных волн (S) рассчитывались отдельно по записям двух горизонтальных составляющих (N-S) и (E-W) и окончательная спектральная плотность вычислялась, как полный вектор колебаний (сокращенно N+E), а продольных (P) — по вертикальной компоненте (Z). Длительность τ участка записи, использованная для расчета амплитудного спектра, соответствовала времени от момента вступлений P - и S -волн до спада их максимальных амплитуд A_{\max} на уровень $1/3 A_{\max}$ [17].

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

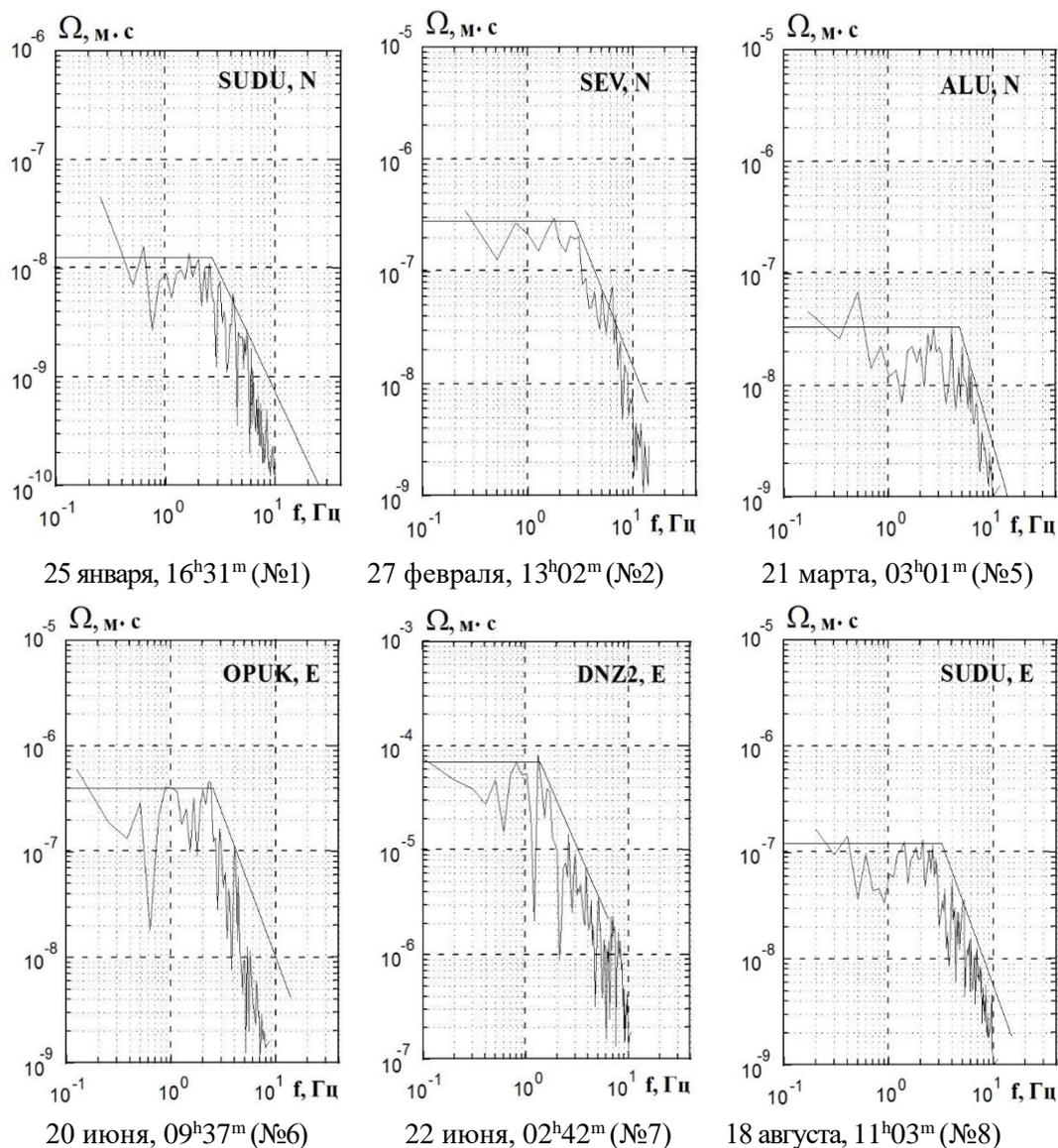


Рис. 3. Примеры амплитудных спектров объемных сейсмических волн землетрясений Крыма 2023 г. и их аппроксимация (прямые линии) в рамках использованной теоретической модели ω^{-2} .

Рассчитанные амплитудные спектры землетрясений 2023 года уверенно аппроксимированы параметрами теоретической модели (ω^{-2}): спектральной плотностью $\Omega_0(x, f)$ при $f \rightarrow 0$, угловой частотой f_0 (ω_0) и углом наклона $\gamma \sim 2$ (рис.3). В тех отдельных случаях, когда амплитудный спектр невозможно было

надежно интерпретировать в рамках используемой теоретической модели, он исключался из дальнейшего рассмотрения.

Для пересчета амплитудных спектров в спектры энергии использована методика и алгоритм, описанные в работах [17, 18]. Для исключения осцилляций, затрудняющих интерпретацию, энергетические спектры сглаживались скользящим усреднением в пределах октавной ширины по оси частот, как рекомендовано в работе [18]. Спектры представлены единообразно в билогарифмической системе координат (см. рис.7).

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Кинематические параметры очагов землетрясений.

В результате решения механизма очагов землетрясений 27 февраля и 22 июня 2023 года в рамках двойного диполя [8, 9] получены параметры двух возможных пространственных положений поверхности разрыва (нодальные плоскости $NP1$ и $NP2$ в табл. 3), описываемые тремя величинами (в градусах): азимутом простирания STK , углом падения DP и скольжением $SLIP$. Ориентация осей трех главных напряжений, под действием которых произошла подвижка (дислокация) в очаге: растяжения T , промежуточного N и сжатия P , представлена двумя параметрами: направлением AZM и углом PL относительно дневной поверхности (табл. 3). Стереогаммы механизмов очагов в верхней полусфере приведены на рис.4.

Таблица 3.

Параметры механизма очагов землетрясений 2023 г.

Дата г м д	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				T		N		P		$NP1$			$NP2$		
				PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
2023 02 27	13 02 38.7	28	3.8	0	69	16	159	74	339	355	47	-68	144	47	-112
2023.06.22	22 42 28.7	39	4.8	57	296	20	60	25	160	54	73	69	287	27	140
2023.06.22 ¹	22 42 26.6	14	4.6	87	61	3	225	0.8	315	48	44	94	222	46	86
2023.06.22 ²	22 42 30.3	24	4.8	79	313	1	47	11	137	47	56	89	228	34	91
2023.06.22 ³	22 42 32.8	25	4.7	77	344	5	232	12	141	56	57	96	225	33	81
Среднее по ТСМ				81 ± 4	329 ± 11	3 ± 1	229 ± 4	8 ± 5	138 ± 2	50 ± 4	52 ± 7	93 ± 3	225 ± 2	38 ± 5	86 ± 3

Примечание: индексы ¹⁻³ — решения по методу тензора сейсмического момента (ТСМ) центра, полученные в сейсмологических агентствах [2]: 1-GFZ, 2-GCMT, 3-NEIS, соответственно. Жирным шрифтом выделены средние значения параметров фокального механизма по методу ТСМ центра.

Землетрясение 27 февраля возникло в центральной зоне региона в обстановке горизонтальных сил растяжения, ориентированных близдиагонально (рис.4а). Тип подвижки в очаге — крутой сброс по обеим равновероятным плоскостям разрыва. Одна из нодальных плоскостей $NP1$ близмеридионального простирания (вдоль

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Салгири-Октябрьского разлома) имела падение к востоку, другая $NP2$ ориентирована близдиагонально с падением на юго-запад. Отметим, что установленная сбросовая подвижка в очаге данного землетрясения под действием растягивающих напряжений является характерной для центральной зоны региона [19], где реализовано наиболее сильное ($M_w = 6.9$), разрушительное землетрясение 11 сентября 1927 года с подобным фокальным механизмом со сбросовой подвижкой в условиях растяжения [20].

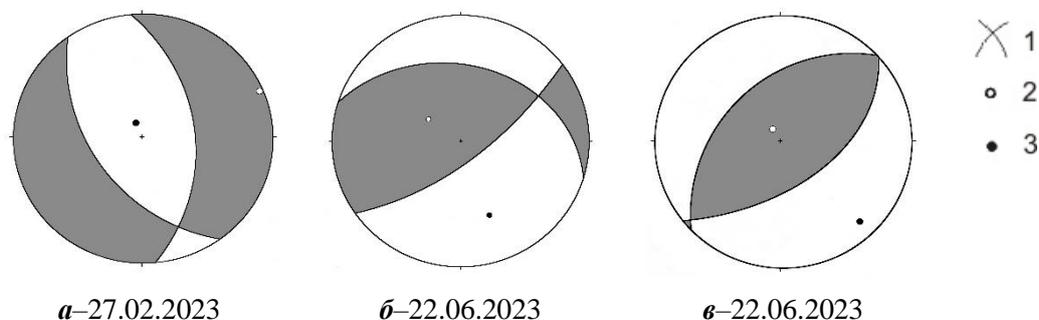


Рис. 4. Диаграммы механизма очагов землетрясений 27 февраля и 22 июня 2023 г. (№ 2 и 7 по таблице 1): **a**, **б** — решения по знакам первых вступлений P -волн, **в** — средний механизм по ТСМ. 1 — нодальные линии; 2, 3 — оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

В очаге землетрясения 22 июня произошел всброс активного крыла разрыва в обстановке сжимающих напряжений. Нодальная плоскость $NP1$ северо-восточного простирания, характеризуется крутым падением к юго-востоку, плоскость $NP2$ — близширотного простирания наклонена к северу (рис.4б).

Решение фокального механизма очага данного землетрясения выполнено также по методу тензора сейсмического момента (ТСМ) центраида в трех агенствах (табл. 2.). Результаты опубликованы в Международном сейсмологическом центре данных [2]. Все решения ТСМ близки между собой, потому на рисунке 4в приведен осредненный его механизм, представленный также взбросовой подвижкой, как и полученный нами в данной работе по знакам первых вступлений продольных волн (рис.4б). Напомним, что в рамках двойного диполя определяется механизм начала испарывания, а по ТСМ – процесса максимального разрушения в очаговой зоне.

По данным всех решений к наиболее вероятной рабочей плоскости дислокации в очаге можно отнести $NP1$ с близкими азимутами простирания: $STK=54^\circ$ по знакам первых вступлений P -волн и $STK=50\pm 4^\circ$ по методу ТСМ (табл.3).

Это предположение подтверждается и пространственно-временным распределением повторных слабых толчков (рис. 5), отражающим развитие процесса снятия напряжений в области очага. Прежде всего, можно видеть (рис.5а), что очаговая зона землетрясения вытянута вдоль оси $L-L_1$, ориентированной в азимуте $Az\approx 50^\circ$, как и нодальная плоскость $NP1$ (табл. 3). При этом глубины очагов от начального гипоцентра с $h=39\text{ км}$ при повторных толчках уменьшились до $h=34\text{ км}$

(рис. 5б), т.е. процесс разрушения сплошности среды в очаговой зоне шел снизу в ее верхние слои (рис. 5а), распространяясь от начала вспарывания в юго-западном направлении. На удаление эпицентров афтершоков к юго-западу указывает также факт увеличения со временем разницы времен вступления P и S -волн на ближайшей станции «Севастополь» с $\delta t = t_p - t_s = 8.0c$ до $\delta t = 8.8c$ или эпицентральных расстояний с 58 км до 73 км.

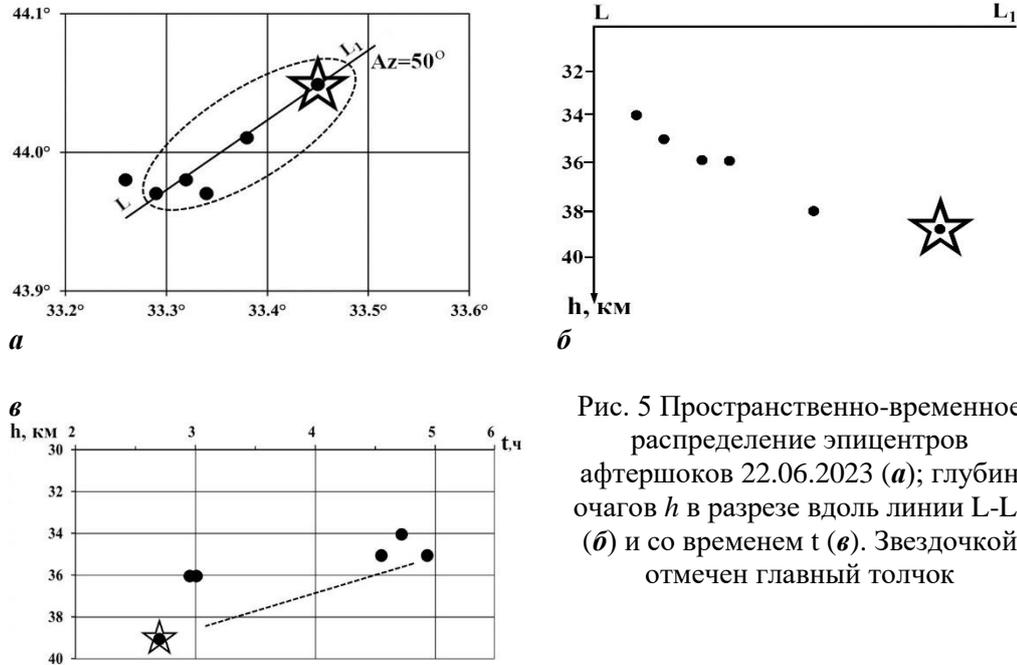


Рис. 5 Пространственно-временное распределение эпицентров афтершоков 22.06.2023 (а); глубин очагов h в разрезе вдоль линии $L-L_1$ (б) и со временем t (в). Звездочкой отмечен главный толчок

Динамические параметры очага.

К динамическим параметрам очагов относятся: M_0 — скалярный сейсмический момент, r_0 — радиус круговой дислокации, $\Delta\sigma$ — сброшенное напряжение, $\eta\sigma$ — кажущееся напряжение, $\Delta\sigma_t$ — радиационное трение, ε — деформация сдвига в окрестности очага, \bar{u} — средняя подвижка по разрыву, E_u — энергия образования дислокации в очаге, исходными данными для расчета которых служат две главные характеристики амплитудных спектров (рис. 3): спектральная плотность Ω_0 и угловая частота f_0 . Согласно теоретической дислокационной модели Бруна [12] спектральная плотность Ω_0 пропорциональна скалярному сейсмическому моменту M_0 , а угловая частота f_0 прямо связана с размером дислокации r_0 .

Формула для расчета M_0 по стационарному спектру имеет вид:

$$M_0 = \Omega_0(4\pi\rho \cdot V^3) / R_{0\phi} \cdot G(\Delta, h) \cdot C(\omega) \cdot Sm(f)$$

где Ω_0 — максимальное значение спектральной плотности при $\omega \rightarrow 0$, определяемая из амплитудного спектра; V — скорость распространения объемной

волны; ρ — плотность пород в окрестности очага, $G(\Delta, h)$ — поправка за геометрическое расхождение; $C(\omega)$ — частотная характеристика среды под станцией, $Sm(f)$ — поправка за неупругое затухание в мантии, $R_{\theta\phi}$ — направленность излучения из очага на станцию регистрации.

Характеристики модели среды подбираются исходя из места расположения гипоцентра землетрясения, поправка $R_{\theta\phi}$ — вычисляется из параметров механизма очагов или принимается средней $R_{\theta\phi} = 0.4$ для слабых толчков, когда невозможно решить фокальный механизм.

Для дислокационной модели Бруна с разрывом в виде круга, радиус дислокации r_0 вычисляется по формуле:

$$r_0 = 2.34 \frac{V_P}{2\pi f_0}$$

По найденным значениям сейсмического момента M_0 и размеров разрыва r_0 определены средние величины напряжений в очаге (сброшенное $\Delta\sigma$ и кажущееся $\eta\bar{\sigma}$) и средняя подвижка по разрыву \bar{U} по формулам из работ [14, 16]:

$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r_0^3} \quad \eta\bar{\sigma} = \frac{\mu \cdot E_S}{M_0} \quad \bar{U} = \frac{M_0}{\mu \cdot \pi r_0^2}$$

где μ — модуль сдвига; η — сейсмический коэффициент полезного действия; E_S — энергия источника ($\lg E_S = 11.8 + 1.5M_{LH}$).

Величина радиационного трения $\Delta\sigma_r$, связанного с шероховатостью поверхности разрыва в очаге, определена по формуле из [14]:

$$\Delta\sigma_r = 1/2 \Delta\sigma - \eta\bar{\sigma}$$

Оценка энергии E_U выполнена по дислокации в очаге и сброшенному напряжению:

$$E_U = \frac{1}{2} \Delta\sigma \bar{U} \cdot \pi r_0^2$$

С использованием уравнения из теории упругости, связывающего деформацию с напряжением, оценена упругая деформация сдвига:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{\mu}$$

Моментная магнитуда M_w рассчитана по индивидуальным оценкам скалярных сейсмических моментов M_0 , с использованием формулы [15]:

$$M_w = 2/3 \cdot (\lg M_0 + 7) - 10.7,$$

где M_0 имеет размерность $H \cdot m$

Вычисление средних значений параметров (S) и стандартных отклонений (δS) выполнено по стационарным определениям с учетом логнормального закона распределения величин [17]. Стационарные параметры радиационного трения $\Delta\sigma_r$

получились отрицательными или знакопеременными, в связи с этим их среднее значение вычислено по среднегеометрическим для данного очага напряжениям $\Delta\sigma$ и $\eta\sigma$. Среднее значение моментной магнитуды M_w определено как среднее арифметическое (M_w^*) с соответствующей погрешностью. Результаты расчета стационарных и средних значений динамических параметров очагов приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма за 2023 год

Станция	Волна	Составляющая	Δ , км	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$, М·с	$\sum \Omega_0 \cdot 10^{-6}$, М·с	f_0 , Гц	$M_0 \cdot 10^{13}$, Н·м	r_0 , км	$\Delta\sigma \cdot 10^5$, Па	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$\bar{y} \cdot 10^{-2}$, м	$\eta\sigma \cdot 10^5$, Па	$\Delta\sigma_r \cdot 10^5$, Па	$E_0 \cdot 10^8$, Дж	M_w^*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№ 1. 25 января, $t_0=16$ ч 31 мин 58.6 с; $\varphi = 44.63^\circ$, $\lambda = 36.21^\circ$; $h=29$ км; $K_{II} = 8.2$															
OPUK	P	Z	54	0.004		5.2	1.17	0.45	0.57	1.91	0.06	3.22	-2.93	0.11	2.65
OPUK	S	N+E	54		0.13	3.3	4.1	0.41	2.68	8.92	0.26	0.92	0.42	1.83	3.01
SUDU	S	N+E	100		0.016	3.2	1.06	0.42	0.63	2.09	0.06	3.58	-3.56	0.11	2.62
S — среднее значение							1.72	0.42	1	3.3	0.1	2.2	-1.7	0.28	2.76
δS — стандартное отклонение							0.19	0.01	0.22	0.22	0.21	0.19		0.41	0.17
№ 2. 27 февраля, $t_0=13$ ч 02 мин 38.7 с; $\varphi = 44.53^\circ$, $\lambda = 34.45^\circ$; $h=28$ км; $K_{II} = 11.1$															
YAL	P	Z	24	0.09		5	72.9	0.47	31.6	105	3.57	13.0	2.79	384	3.85
YAL	S	N+E	24		4.6	3	65.7	0.45	32.2	107	3.49	14.4	1.67	353	3.82
SIM	P	Z	53	0.11		4.2	76.6	0.55	19.7	65.6	2.64	12.4	-2.55	251	3.86
SIM	S	N+E	53		1.2	2.6	63.8	0.52	20.4	67.9	2.55	14.9	-4.67	217	3.81
SUDU	P	Z	59	0.25		4	67.9	0.58	15.1	50.2	2.13	14.0	-6.44	171	3.82
SEV	P	Z	61	0.04		4.5	44.5	0.52	14.1	46.9	1.76	21.3	-14.3	104	3.70
SEV	S	N+E	61		0.43	2.7	45.7	0.5	16.3	54.4	1.97	20.8	-12.6	124	3.71
S - среднее значение							61.2	0.51	20.3	67.5	2.5	15.5	-5.4	207	3.8
δS — стандартное отклонение							0.04	0.01	0.06	0.06	0.04	0.04		0.08	0.04
№ 3. 09 марта, $t_0=16$ ч 03 мин 57.9 с; $\varphi = 44.02^\circ$, $\lambda = 33.39^\circ$; $h=29$ км; $K_{II} = 7.6$															
SEV	P	Z	62	0.0008		6.5	0.19	0.36	0.18	0.6	0.016	20.1	-20	0.006	2.12
SEV	S	N+E	62		0.0075	4.5	0.29	0.3	0.48	1.59	0.035	13.1	-12.8	0.023	2.24
S — среднее значение							0.23	0.33	0.29	0.98	0.02	16.2	-16	0.01	2.18
δS — стандартное отклонение							0.09	0.04	0.21	0.21	0.17	0.09		0.29	0.06
№ 4. 10 марта, $t_0=14$ ч 43 мин 53.1 с; $\varphi = 44.00^\circ$, $\lambda = 33.36^\circ$; $h=27$ км; $K_{II} = 8.6$															
SEV	P	Z	65	0.01		5.5	3.89	0.42	2.24	7.48	0.23	2.15	-1.03	1.45	3.0
SEV	S	N+E	65		0.1	3.7	5.57	0.36	5.12	17.1	0.45	1.5	1.06	4.76	3.1
DNZ2	S	N+E	153		0.08	3.6	8.13	0.37	6.88	22.9	0.62	1.03	2.41	9.32	3.21
SUDU	S	N+E	163		0.06	3.65	7.84	0.37	6.92	23.1	0.62	10.7	2.39	9.03	3.2

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>S</i> — среднее значение							6.1	0.38	4.83	16.1	0.45	2.44	-0.03	4.9	3.13
δS — стандартное отклонение							0.07	0.02	0.12	0.12	0.1	0.22		0.19	0.08
№ 5. 21 марта, $t_0=03$ ч 01 мин 46.8 с; $\varphi = 45.18^\circ$, $\lambda = 33.79^\circ$; $h = 6$ км; $K_{п} = 7.5$															
SIM	<i>P</i>	Z	36	0.0015		11	0.23	0.21	1.05	3.51	0.05	4.16	-3.64	0.04	2.18
SIM	<i>S</i>	N+E	36		0.009	6	0.22	0.22	0.88	2.93	0.05	4.24	-3.8	0.033	2.17
DNZ2	<i>P</i>	Z	50	0.001		10.5	0.24	0.22	0.95	3.17	0.05	4.0	-3.53	0.038	2.19
DNZ2	<i>S</i>	N+E	50		0.012	6.3	0.39	0.21	1.76	5.87	0.09	2.44	-1.56	0.11	2.33
SEV	<i>P</i>	Z	71	0.0004		11	0.16	0.21	0.73	2.42	0.04	6.04	-5.67	0.02	2.07
SEV	<i>S</i>	N+E	71		0.006	6.2	0.3	0.22	1.3	4.33	0.07	3.16	-2.51	0.065	2.25
ALU	<i>P</i>	Z	73	0.002		10	0.31	0.23	1.07	3.56	0.06	3.08	-2.55	0.055	2.26
ALU	<i>S</i>	N+E	73		0.03	5.5	0.88	0.24	2.67	8.89	0.16	1.07	0.26	0.39	2.57
YAL	<i>P</i>	Z	82	0.001		10.5	0.3	0.22	1.19	3.96	0.06	3.2	-2.61	0.059	2.25
YAL	<i>S</i>	N+E	82		0.0045	6.3	0.26	0.21	1.16	3.85	0.06	3.73	-3.15	0.049	2.21
<i>S</i> — среднее значение							0.29	0.22	1.19	3.97	0.06	3.24	-2.65	0.06	2.25
δS — стандартное отклонение							0.06	0.01	0.05	0.05	0.05	0.06		0.11	0.06
№ 6. 20 июня, $t_0=09$ ч 37 мин 21.0 с; $\varphi = 44.66^\circ$, $\lambda = 36.35^\circ$; $h = 24$ км; $K_{п} = 8.9$															
OPUK	<i>P</i>	Z	52	0.03		4.2	7.11	0.55	1.83	6.09	0.25	2.99	-2.07	2.16	3.17
OPUK	<i>S</i>	N+E	52		0.41	2.55	14.4	0.53	4.34	14.5	0.55	1.47	0.7	10.4	3.38
SUDU	<i>P</i>	Z	110	0.01		4.8	4.65	0.48	1.78	5.94	0.21	4.57	-3.68	1.38	3.05
SUDU	<i>S</i>	N+E	110		0.24	2.6	15.1	0.52	4.86	16.2	0.61	1.4	1.03	12.3	3.39
<i>S</i> — среднее значение							9.21	0.52	2.88	9.6	0.36	2.3	-0.86	4.42	3.24
δS — стандартное отклонение							0.12	0.01	0.12	0.12	0.12	0.12		0.24	0.14
№ 7. 22 июня, $t_0=02$ ч 42 мин 28.7 с; $\varphi = 44.05^\circ$, $\lambda = 33.45^\circ$; $h = 39$ км; $K_{п} = 12.5$															
SEV	<i>P</i>	Z	58	1.0		1.9	1480	1.20	29.8	99.4	9.35	10.2	4.71	7330	4.71
SEV	<i>S</i>	N+E	58		30	1	1410	1.42	21.7	72.4	7.46	10.7	0.18	5100	4.7
YAL	<i>P</i>	Z	74	2.0		2	1400	1.23	33.0	110	9.84	10.7	5.79	7710	4.7
YAL	<i>S</i>	N+E	74		25	1.05	2090	1.35	37.3	124	12.2	7.2	11.5	13000	4.82
SIM	<i>P</i>	Z	113	1.0		1.9	1400	1.29	28.2	94	8.85	10.8	3.33	6560	4.7
SIM	<i>S</i>	N+E	113		65	1.05	2780	1.35	49.7	166	16.3	5.4	19.5	23100	4.9
DNZ2	<i>P</i>	Z	148	30		1.8	3000	1.37	51.6	172	17.1	5.01	20.8	25800	4.92
DNZ2	<i>S</i>	N+E	148		110	1	2470	1.42	38.2	127	13.1	6.08	13.0	15700	4.87
OPUK	<i>P</i>	Z	251	0.3		1.95	1600	1.26	34.9	116	10.7	9.41	8.03	9290	4.74
OPUK	<i>S</i>	N+E	251		6	1.1	1270	1.29	26.1	87	8.14	11.8	1.21	5530	4.67
KERU	<i>P</i>	Z	276	1.0		1.85	1950	1.33	36.4	121	11.7	7.7	10.5	11800	4.8
KERU	<i>S</i>	N+E	276		10	0.97	1400	1.46	19.7	65.6	6.96	10.8	-0.93	4580	4.7
<i>S</i> — среднее значение							1775	1.33	32.6	108.6	10.56	8.48	7.82	9633	4.77
δS — стандартное отклонение							0.04	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04		0.07	0.07
№ 8. 18 июля, $t_0=11$ ч 03 мин 18.1 с; $\varphi = 44.45^\circ$, $\lambda = 35.99^\circ$; $h = 20$ км; $K_{п} = 9.6$															
OPUK	<i>P</i>	Z	76	0.06		3.5	13.9	0.67	2.06	6.87	0.33	4.32	-3.29	4.76	3.37
OPUK	<i>S</i>	N+E	76		0.9	2.1	34.8	0.64	5.85	19.5	0.9	1.72	1.2	33.9	3.63
SUDU	<i>P</i>	Z	92	0.1		3.2	21.8	0.73	2.47	8.25	0.44	2.75	-1.5	8.98	3.5

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SUDU	S	N+E	92		0.9	1.9	33.7	0.71	4.2	14.0	0.72	1.78	0.32	23.6	3.62
SIM	P	Z	158	0.06		3.1	33.0	0.75	3.41	11.4	0.62	1.81	-0.1	18.8	3.62
SIM	S	N+E	158		0.6	1.85	37.9	0.72	4.35	14.5	0.77	1.58	0.6	27.5	3.66
SEV	P	Z	184	0.01		3.45	17.0	0.67	2.42	8.08	0.4	3.52	-2.31	6.9	3.42
S — среднее значение							25.8	0.7	3.32	11.1	0.56	2.32	0.66	14.3	3.54
δS — стандартное отклонение							0.07	0.01	0.06	0.06	0.06	0.06		0.12	0.08
№ 9. 15 августа, $t_0=12$ ч 11 мин 05.4 с; $\varphi = 44.41^\circ$, $\lambda = 34.32^\circ$; $h = 22$ км; $K_{II} = 8.7$															
YAL	P	Z	16	0.06		5.1	3.42	0.46	1.57	5.24	0.17	3.12	-2.33	0.89	2.96
YAL	S	N+E	16		0.5	3.1	6.4	0.46	2.94	9.81	0.33	1.66	-0.19	3.14	3.14
SIM	P	Z	62	0.015		4.9	1.71	0.48	0.7	2.32	0.08	6.23	-5.88	0.2	2.76
SIM	S	N+E	62		0.3	2.9	5.76	0.49	2.17	7.23	0.26	1.85	-0.76	2.08	3.11
SUDU	P	Z	75	0.015		5.0	3.47	0.47	1.5	5.01	0.17	3.07	-2.32	0.9	2.96
SUDU	S	N+E	75		0.23	3.0	7.11	0.45	3.48	11.6	0.38	1.5	0.25	4.13	3.17
S — среднее значение							4.18	0.47	1.82	6.1	0.21	2.55	-1.64	1.28	3.02
δS — стандартное отклонение							0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1		0.2	0.12

Примечание: $\Sigma\Omega_0 \cdot 10^{-6}$, м · с — спектральная плотность по полному вектору колебаний поперечной волны (N+E). Номера землетрясений соответствуют табл. 1.

Для большинства землетрясений 2023года динамические параметры получены по группе ($n \geq 3$) независимых станционных определений (табл. 4), что позволило в некоторой степени нивелировать влияние особенностей условий среды под станциями регистрации и на пути очаг-станция, а также неравномерность направленности излучения сейсмических волн и тем самым обеспечить надежность окончательных оценок расчетных параметров. Только для одного относительно слабого сейсмического толчка (№ 3), с энергетическим классом $K_{II} = 7.6$, динамические параметры рассчитаны по спектрам записей P и S-волн одной из ближайших к очагу станции «Севастополь», расположенной, на эпицентральной расстоянии $\Delta = 62$ км. Наилучшая сходимостъ станционных определений (табл. 4), получена для радиуса круговой дислокации r_0 преимущественно при стандартном отклонении $\delta r_0=0.01$. Значения моментных магнитуд M_w для большинства землетрясений определены с погрешностью не выше ± 0.1 . В целом можно отметить, что с увеличением количества независимых станционных определений стандартное отклонение существенно уменьшается для всех динамических параметров. Наилучшая сходимостъ всех индивидуальных станционных определений и, соответственно, малые величины δS получены для землетрясений 27 февраля и 22 июня, для которых очаговые параметры восстановлены с учетом направленности излучения сейсмической энергии из источника на станции регистрации ($R_{\theta\varphi}$), рассчитанной из решения механизма очагов. Кроме того, для определения средних значений S использовано $n=7$ и $n=12$, соответственно, станционных определений.

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Радиационное трение $\Delta\sigma_r$ для изученных землетрясений, кроме наиболее сильного 22 июня, имело отрицательное значение, что в соответствии с [14] указывает на сложное скольжение разрыва в очаге за счет неравномерного распределения прочностных свойств глубинной среды в очаговых зонах. Во всем диапазоне энергий средняя величина сброшенных напряжений не превысила $\Delta\sigma = 33 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а кажущихся напряжений $\eta\sigma < 16.2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Наибольшие значения динамических параметров (M_0 , r_0 , $\Delta\sigma$, ε , $\eta\sigma$, \bar{u} , Eu и Mw) с хорошей внутренней сходимостью стационарных определений получены для ощутимого землетрясения 22 июня с $K_{\Pi} = 12.5$, а наименьшие — для 2 слабых толчков 9 и 21 марта с $K_{\Pi} = 7.5-7.6$ (№ 3 и № 5), следуя установленной зависимости роста количественных значений динамических параметров очагов от энергетического уровня землетрясений за предыдущий длительный период наблюдений [17,21,22] (рис. 6).

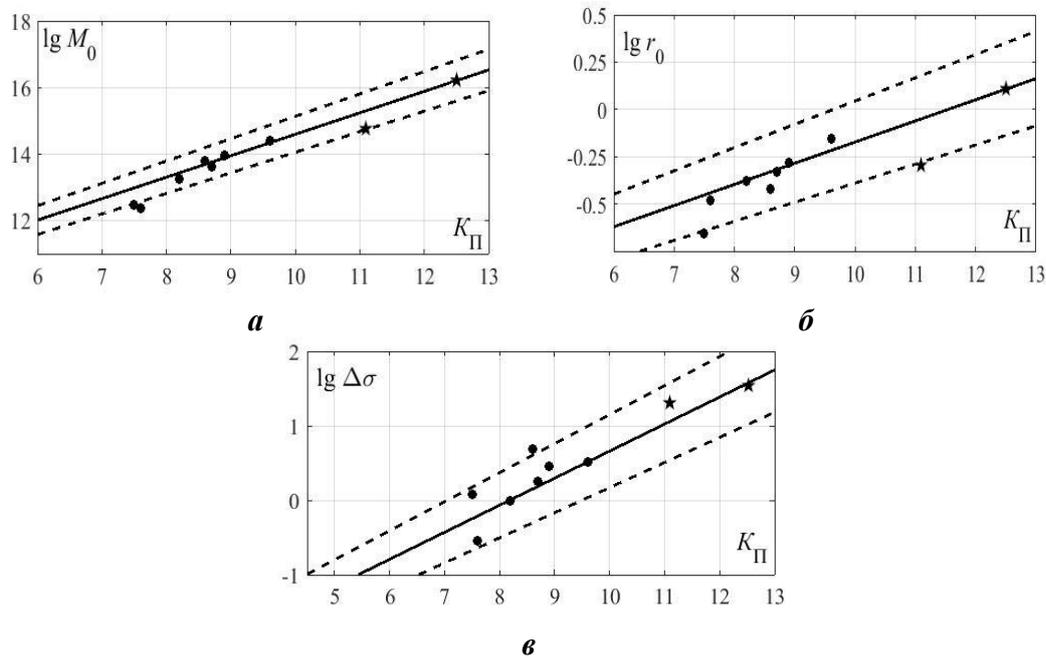


Рис. 6. Сравнение динамических параметров очагов землетрясений Крыма за 2023 г.: *a* — сейсмического момента M_0 , *б* — радиуса круговой дислокации r_0 и *в* — сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ с долговременными зависимостями $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$ и $\Delta\sigma(K_{\Pi})$ из [21, 22]. Пунктир — пределы погрешностей долговременных зависимостей, звездочка — значения для землетрясения с известным механизмом очага.

Наглядно видно (рис.6), что средние значения основных очаговых параметров: M_0 , r_0 и $\Delta\sigma$ землетрясений за 2023 года соответствуют долговременным корреляционным зависимостям $M_0(K_{\Pi})$, $r_0(K_{\Pi})$ и $\Delta\sigma(K_{\Pi})$, находясь в диапазоне их доверительного интервала. Поскольку параметры очагов 2023 г. относятся к

достаточно надежным, то их вариации внутри интервала погрешностей M_0 (K_{II}), r_0 (K_{II}) и $\Delta\sigma(K_{II})$ можно отнести к естественным, связанным с индивидуальными особенностями свойств глубинной среды и физических процессов в отдельных очаговых зонах. Так дислокация в очаге ощутимого землетрясения 27 февраля произошла на сравнительно малой площади разрыва (заниженный радиус r_0), вызвав высокочастотные колебания объемных волн. При этом потребовалось совершить меньшую работу для сброса и перемещения плоскостей разрыва (заниженное значение M_0). Напомним, что как r_0 , так и M_0 определены с малой дисперсией δS по достаточно большому числу стационарных определений ($n=7$) и с учетом реальной направленности излучения из очага и относятся к очень надежным.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Амплитудные спектры смещения пересчитаны в спектры энергии с использованием формулы по работе [18]:

$$q = \frac{\rho c}{2\pi l g e} \omega^3 \Omega^2(\omega)$$

где $\Omega(\omega)$ — модуль спектральной плотности из амплитудного спектра, ρ — плотность пород в окрестности очага, c — скорость распространения объемных волн.

Все рассчитанные энергетические спектры землетрясений 2023года имели характерную резонансную форму с выраженным максимумом в ограниченной области частот f_{qmax} , на которые приходится наибольшая доля плотности сейсмической энергии q_{max} (рис. 7).

В результате интерпретации энергетических спектров определены их главные характеристики, представленные в таблице 5: частота f_{qmax} , с максимальной плотностью энергии q_{max} и логарифмическая ширина максимума спектра δf_q ($f_1 - f_2$), на уровне 0.75 от максимального значения q_{max} в высокочастотной (f_{q1}) и низкочастотной (f_{q2}) части спектра. Для продольных волн значения даны по вертикальной составляющей Z, а для поперечных – по двум горизонтальным: север-юг (N) и восток-запад (E).

Таблица 5.

Основные характеристики энергетических спектров землетрясений 2023 г. по данным станции «Алушта»

№	Дата, м д ч	K_{II}	Δ , км	$f_{qmax}, Гц$			$\delta f_q (f_1 - f_2), Гц$		
				Z	N	E	Z	N	E
	03 21 03	7.5	73	6.55	5.13	2.67	0.64	0.45	0.63
1	10 25 15	6.2	28	11.1	4.5	4	0.63	0.54	0.53
2	10.25 23	5.0	28	6.34	5.5	4.72	0.5	0.56	0.5
3	10 26 03	5.2	23	-	5.49	5.5	-	0.69	0.65
4	10 26 04	7.2	20	11	4	3.51	0.64	0.54	0.55
5	10 27 13	6.5	19	10	6.5	4	0.77	0.53	0.5
6	10 27 14	7.4	19	11.1	4	4	0.66	0.6	0.56

Примечание — пронумерованы только связанные землетрясения (рой)

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

Поскольку землетрясения №1–6 являются взаимосвязанными событиями, произошедшими в одной очаговой зоне за короткий промежуток времени и их спектры получены по записям одной станции, то есть возможность пренебречь влиянием среды и рассмотреть систему спектров (рис. 8).

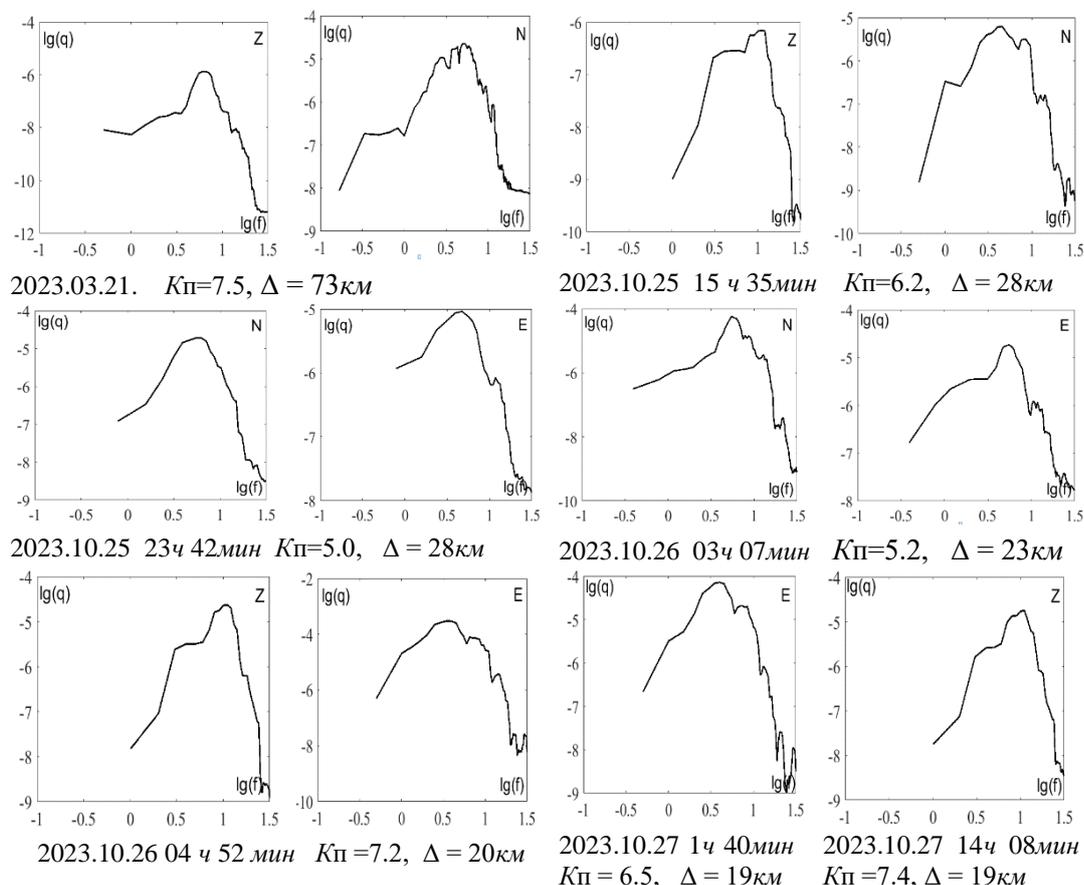


Рис. 7. Примеры сглаженных энергетических спектров землетрясений Крыма 2023 г. по записям объемных сейсмических волн на станции «Алушта». Параметры землетрясений даны по табл. 2.

Несмотря на естественные индивидуальные особенности энергетических спектров, в общей их системе отчетливо просматривается повышение уровня плотности энергии q_{max} и смещение максимальных частот f_{max} в низкочастотную область спектра с ростом энергетического класса землетрясений (рис. 8а–в). Особенно отчетливо это наблюдается для системы поперечных волн по составляющей записи E (рис. 8б).

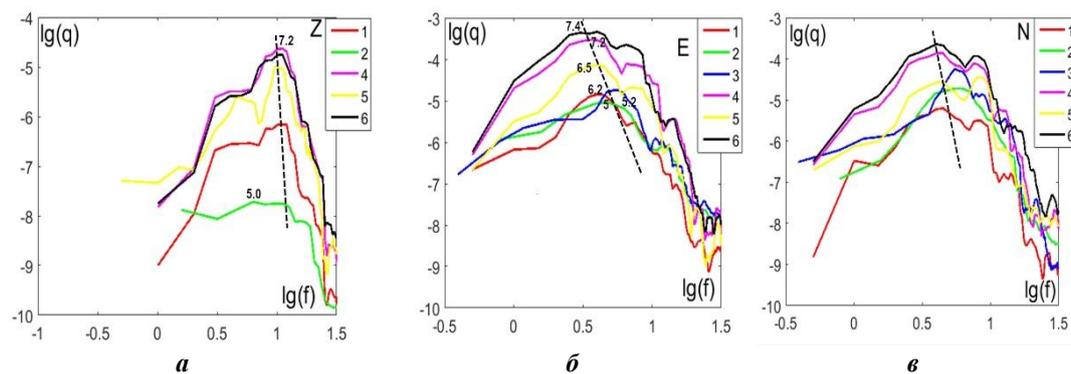


Рис. 8 Система энергетических спектров роя землетрясений 2023г по записям объемных волн на станции «Алушта»: **а** — продольных (Z); **б, в** — поперечных (E и N). Цифры: в легенде — номера землетрясений по табл. 5., на спектрах — значения энергетических классов $K_{п}$.

Для установления корреляционной связи параметров системы спектров с энергетическим уровнем землетрясений экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, пока недостаточно как по энергетическому диапазону слабых толчков ($K_{п}=5.0\div 7.4$), так и по их количеству ($n=6$). Ранее по представительной выборке ($n=112$) пар параметров энергетических спектров локализованной группы землетрясений в широком диапазоне $K_{п}=6\div 12$ с эпицентрными расстояниями $\Delta=(20\pm 5)$ км, большая часть из которых являлась афтершоками землетрясения 1984года, была установлена тесная корреляционная зависимость максимального периода T_{max} при q_{max} от энергетического класса $K_{п}$ [17]. Экспериментальная система энергетических спектров афтершоков 1967 г. и 1984 г. по данным станции «Ялта» была положена в основу первой попытки моделирования системы средних теоретических энергетических спектров для очаговых зон землетрясений центральной части Крымского региона [23]. К сожалению, с тех пор подобные работы не получили своего продолжения в связи с большими трудностями обработки аналоговых сейсмограмм и отсутствием новых взаимосвязанных групп очагов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам мониторинга сейсмичности в Крымско-Черноморском регионе в 2023 году получены новые результаты о динамических, кинематических и спектральных свойствах очагов местных землетрясений.

Для 9 особо значимых по территориальному и энергетическому критерию сейсмических событий в диапазоне энергетических классов $K_{п}=7.5\div 12.5$ ($M_w=2.2\div 4.8$) восстановлены динамические параметры очагов и магнитуды M_w по сейсмическому моменту с использованием цифровых записей сейсмических волн на 6 региональных станциях. Новые данные за 2023 г. хорошо согласуются со

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

средними долговременными параметрами и их зависимостями от энергетического уровня землетрясений.

Для двух наиболее сильных (ощутимых) землетрясений 27 февраля с $M_w = 3.8$ и 22 июня с $M_w = 4.8$ получены решения фокальных механизмов и определены кинематические параметры очагов. Тип подвижки в очаге 27 февраля — крутой сброс активного крыла разрыва под действием растягивающих напряжений близдиагональной ориентации. Такой тип подвижки является характерным для очагов центральной зоны региона [19]. В очаге землетрясения 22 июня произошел взброс по наиболее вероятной плоскости разрыва северо-восточного простирания, согласующейся с ориентацией зоны афтершоков.

По материалам мониторинга 2023 года дополнена статистика по спектрально-энергетическим свойствам объемных сейсмических волн по записям 7 слабых толчков ($K_p = 5.0 \div 7.5$) на станции «Алушта», из которых шесть относятся к взаимосвязанным, группирующимся событиям (рою). Для роя, произошедшего в одной очаговой зоне за короткий промежуток времени, когда влиянием условий вмещающей очаги среды можно пренебречь, построена и рассмотрена система энергетических спектров. В общей системе спектров наглядно видно повышение уровня плотности энергии q_{max} и смещение максимальных частот $f_{q_{max}}$ в низкочастотную область спектра с ростом энергетического класса землетрясений.

Исследования будут продолжены с целью получения статистически достаточных данных для создания специализированной базы данных, которую в перспективе планируется использовать при разработке семейства вероятных спектров сейсмических колебаний, оценки спектрально-временной составляющей сейсмической опасности Крыма, следуя работе [18], а также прогноза ожидаемых сильных сейсмических воздействий в инженерных терминах.

Список литературы

1. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофизический журнал. 1999. N 6. С. 3–15.
2. International Seismological Centre [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (дата обращения: 01.02.2024).
3. Колесникова Е.Я., Останин А.М., Бондарь М.Н., Бушмакина Г.Н. Результаты макросейсмического обследования последствий Крымского землетрясения 27 февраля 2023 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2023. Том 9(75). № 4. С. 156–169.
4. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. Т. 2. С. 113–125.
5. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2021 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2022. Том 8 (74). № 4. С. 80–96.
6. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма 2022 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского География. Геология, 2023. Том 9 (75). № 4. С. 138–155.
7. Mogi K. Some discussions on afterschoke, foreshock and earthquake swarm – the fracture of a some-infinite body caused by on inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena. Bull. of the earthquakes. Res. Inst. Univ of Tokyo, 1963. Voll 41. Part 3. P. 615–640.

8. Введенская А.В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969. 136 с.
9. Балакина Л.А., Введенская А.В., Голубева Н.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. 198 с.
10. Кульчицкий В. Е. Новые годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Том 4(70). № 4. С. 164–173.
11. Kennet, B.L.N. Seismological Tables: ak 135. Research School of earth Sciences Australian national University. Australia, Canberra, АСТ0200, 2005. 80 p.
12. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research, 1970. V. 75, N 26. P. 4997–5009.
13. Аптекман Ж.Я., Белавина Ю.Ф., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от стационарного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. 1989. №2. С. 66–79.
14. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 179 с.
15. Hanks Т.С., Kanamori Н. А moment magnitude scale // Journal of Geophysical Research. 1979. V. 84, N B5. P. 2348–2350.
16. Кейлис-Борок В.И. Исследование источников, приближенно эквивалентных очагам землетрясений // Труды Геофизического Института АН СССР. 1959. № 9 (136). С. 20–42.
17. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма – Киев: Наукова думка, 1990. 251 с.
18. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. Москва: Наука, 1984. 180 с.
19. Вольфман Ю.М., Пустовитенко Б.Г., Колесникова Е.Я., Останин А.М. Обстановки сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона (по данным решений механизмов очагов землетрясений) // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 2(68). № 4. С. 206–250.
20. Пустовитенко Б.Г. Динамические параметры очагов разрушительных Крымских землетрясений 1927 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2001 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2003. С. 124–130.
21. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А., Поречнова Е.И. Пространственные особенности очаговых параметров землетрясений Крыма // Сейсмичность Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 238–242.
22. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э. Изучение напряжений и деформации в очаговых зонах землетрясений Крыма по спектрам записей сейсмических волн // Современная тектонофизика. Методы и результаты, 2019. С. 193–198.
23. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А., Спиртус В.Б. Теоретические системы средних энергетических спектров по данным Крымского региона // Землетрясения Украины в 1991 году, Киев: Наукова думка, 1995, С. 85–91.

**FEATURES OF FOCAL PARAMETERS
OF THE 2023 CRIMEA EARTHQUAKES**

Pustovitenko B. G.¹, Eredzhepov E. E.², Bondar M. N.³

^{1,2,3}*State Autonomous Institution "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russia*

³*Institute of seismology and geodynamics FSAEI HE «V.I. Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol, Russia*
E-mail: ¹bpustovitenko@mail.ru

The article presents the results of the study and analysis of the general properties and features of the spectral, kinematic, dynamic and energy characteristics of earthquake foci in the Crimea-Black Sea region for 2023. For 9 earthquakes, the inverse problem of reconstructing the dynamic parameters of foci (M_0 , r_0 , $\Delta\sigma$, ε , $\eta\sigma$, $\Delta\sigma_r$, \bar{u} , E_u и M_w) was solved based on the amplitude spectra of body seismic waves using the theoretical Brunn dislocation model ($\omega=2$). New data on the dynamic parameters of foci for 2023 are in good agreement with the average long-term values and their correlation dependencies on the energy level of earthquakes.

For the two strongest earthquakes, on February 27 with $M_w = 3.8$ and on June 22 with $M_w = 4.8$, solutions of focal mechanisms were obtained within the framework of the double dipole dislocation model and the kinematic parameters of the foci were determined. The type of slip in the source on February 27 is a steep fault of the active rupture wing under the action of tensile stresses. In the source of the earthquake on June 22, a reverse fault occurred along the most probable plane of the rupture of north-eastern strike, which is consistent with the orientation of the aftershock zone.

The spectral and energy properties of seismic waves of seven earthquakes were studied based on energy spectra using seismograms from the «Alushta» station. A system of energy spectra was constructed for six interrelated events that occurred in one source zone over a short period of time. In the general system of spectra, an increase in the energy density level q_{max} and a shift in maximum frequencies f_{qmax} to the low-frequency region of the spectrum with an increase in the energy class of earthquakes are clearly visible.

The studies will be continued in order to obtain statistically sufficient data for the development of a family of probable spectra of seismic oscillations and an assessment of the spectral-temporal component of the seismic hazard of Crimea.

Keywords: focal mechanism, amplitude spectrum, Brun model, spectral density, angular frequency, dynamic parameters of the focal point, energy spectrum, system of energy spectra.

References

1. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E., Borisenko L. S., Porechnova E. I. Obshhee sejsmicheskoe rajonirovanie territorii Kryma (OSR-98) (General seismic zoning of the territory of Crimea (GSZ-98)). Geofizicheskij zhurnal, 1999, no. 6, pp. 3–15 (In Russian).
2. International Seismological Centre [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (data obrashcheniya: 01.02.2024).

3. Kolesnikova E. Ja., Ostanin A. M., Bondar' M. N., Bushmakina G. N. Rezul'taty makrosejsmicheskogo obsledovaniya posledstvij Krymskogo zemletrjaseniya 27 fevralja 2023 goda (Results of macroseismic survey of the consequences of the Crimean earthquake on February 27, 2023). *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografija. Geologija.* 2023. 9(75). no 4. pp. 156–169 (In Russian).
4. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob energeticheskoj ocenke zemletryasenij Krymsko-Chernomorskogo regiona (On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). *Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij, Vol. 2.* 1974, Moscow: IFZ AN SSSR, pp. 113–125 (in Russian).
5. Pustovitenko B. G., Jeredzhepov Je. Je., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletrjasenij Kryma 2021 goda (Spectral and dynamic parameters of the foci of earthquakes in Crimea in 2021). *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografija. Geologija.* 2022. 8(74). no 4. pp. 80–96 (In Russian).
6. Pustovitenko B. G., Jeredzhepov Je. Je., Bondar' M. N. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletrjasenij Kryma 2022 goda (Spectral and focal parameters of the Crimean earthquakes in 2022). *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografija. Geologija.* 2023. 9(75). no 4. 138–155. (In Russian).
7. Mogi K. Some discussions on afterschoke, foreshock and earthquake swarm – the fracture of a some-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena.–*Bull. of the earthquakes. Res. Inst. Univ of Tokyo,* 1963. Voll 41. Part 3. P. 615–640.
8. Vvedenskaya A. V. Issledovaniya napryazhenij i razryvov v ochagah zemletryasenij pri pomoshchi teorii dislokacij (Study of stresses and ruptures in earthquake sources using the theory of dislocation). M.: Nauka, 1969. 136 p. (in Russian).
9. Balakina L. A., Vvedenskaya A. V., Golubeva N. V., Misharina L. A., Shirokova E. I. Pole uprugih napryazhenij Zemli i mekhanizm ochagov zemletryasenij. (Field of elastic stresses of the Earth and the mechanism of earthquake foci). Moscow: Nauka Publ., 1972. 198 p. (in Russian).
10. Kul'chickij V. E. Novye godografy sejsmicheskikh voln Krymsko-Chernomorskogo regiona (New travel time curves of seismic waves of the Crimean-Black Sea region). *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografija. Geologija.* 2018. V. 4(70). no. 4. pp. 164–173 (in Russian).
11. Kennet, B.L.N. *Seismological Tables: ak 135.* Research School of earth Sciences Australian national University. Australia, Canberra, ACT0200, 2005. 80 p.
12. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // *J. Geophys. Res.* 1970. V. 75, no. 26, pp. 4997–5009.
13. Aptekman Zh. Ya., Belavina Yu. F., Zaharova A. I., Zobin V. M., Kogan S. Ya., Korchagina O. A., Moskvina A. G., Polikarpova L. A., Chepkunas L. S. Spektry P-voln v zadache opredeleniya dinamicheskikh parametrov ochagov zemletryasenij. Perekhod ot stacionnogo spektra k ochagovomu i raschet dinamicheskikh parametrov ochaga (P-wave spectra in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake sources. Transition from the station spectrum to the focal spectrum and calculation of the dynamic parameters of the focal point). *Vulkanologiya i sejsmologiya.* 1989, no. 2, pp. 66–79 (in Russian).
14. Kostrov B. V. *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya* (The mechanics of the source of a tectonic earthquake). M.: Nauka, 1975. 179 p. (in Russian).
15. Hanks T. C., Kanamori H. A. Moment magnitude scale // *J. Geophys. Res.* 1979, V. 84. no. 35, pp. 2348–2350.
16. Kejlis-Borok V. I. Issledovanie istochnikov, priblizhenno jekvivalentnyh ochagam zemletrjasenij (Study of the sources, approximately equivalent to the foci of earthquakes). *Trudy Geofizicheskogo Instituta AN SSSR.* 1959, 9(136), 20–42 (In Russian).
17. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletryasenij Kryma (Spectral and focal parameters of Crimea earthquakes). Kiev: Naukova dumka, 1990. 251 p. (in Russian).
18. Riznichenko Yu. V., Sejduzova S. S. Spektral'no-vremennaya harakteristika sejsmicheskoy opasnosti (Spectral-temporal characteristics of seismic hazard). M.: Nauka, 1984. 180 p. (in Russian).
19. Vol'fman Yu. M., Pustovitenko B. G., Kolesnikova E. Ya., Ostanin A. M. *Obstanovki sejsmogeneza Krymsko-Chernomorskogo regiona (po dannym reshenij mehanizmov ochagov zemletryasenij)*

ОСОБЕННОСТИ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2023 ГОДА

- (Environments of seismogenesis in the Crimean-Black Sea region (according to the solutions of earthquake source mechanisms)). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018, V. 4(70), no. 4, pp. 206–250 (in Russian).
20. Pustovitenko B. G. Dinamicheskie parametry ochagov razrushitel'nyh Krymskih zemletrjasenij 1927 g. (Dynamic parameters of foci of destructive Crimean earthquakes in 1927). Seismologicheskij bjulleten' Ukrainy za 2001 god. 2003, Sevastopol, Ukraine: NPC «ECOSY-Hydrophysica» Publ., pp. 124–130 (In Russian)
 21. Pustovitenko B. G., Pustovitenko A. A., Kapitanova S. A., Porechnova E. I. Prostranstvennye osobennosti ochagovyh parametrov zemletrjasenij Kryma (Spatial features of focal parameters of Crimean earthquakes). Sejsmichnost' Severnoj Evrazii. Obninsk, Russia: GS RAS Publ., pp. 238–242. (In Russian).
 22. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E. Izucheniye napryazhenij i deformacii v ochagovyh zonah zemletryasenij Kryma po spektram zapisej seysmicheskikh voln (The study of stress and strain in the source zones of earthquakes in the Crimea on the spectra of seismic wave records). Sovremennaya tektonofizika. Metody i rezul'taty. 2019, pp. 193–198 (in Russian).
 23. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A., Spirtus V. B. Teoreticheskie sistemy srednih jenergeticheskikh spektrov po dannym Krymskogo regiona (Theoretical systems of average energy spectra based on data from the Crimean region). Zemletrjaseniya Ukrainy v 1991 godu, Kiev: Naukova dumka, , pp. 85–91 (in Russian).

Поступила в редакцию 16.09.2024 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Андрющенко Ирина Александровна** кандидат культурологии, доцент, кафедра культурологии и социокультурного проектирования, Институт медиакоммуникаций, медиатехнологий и дизайна, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Бабаева Замина Расул кызы** кандидат географических наук, преподаватель, Азербайджанский государственный педагогический университет, г. Баку, Республика Азербайджан.
- Бондарь Марина Николаевна** заместитель директора Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь; инженер ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.
- Великанов Алексей Викторович** кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Володин Андрей Николаевич** кандидат культурологии, доцент, кафедра культурологии и социокультурного проектирования, Институт медиакоммуникаций, медиатехнологий и дизайна, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Вольхин Денис Антонович** кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии им. Н.В. Багрова, факультет географии, геоэкологии и туризма, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Дрыгваль Анна
Валерьевна**

младший научный сотрудник лаборатории мониторинга климатически активных веществ Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, п. Курортный, Российская Федерация; младший научный сотрудник лаборатории по разработке методологии геоэкологической оценки бассейнов горных рек Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Российская Федерация.

**Дрыгваль Полина
Валерьевна**

младший научный сотрудник лаборатории химической безопасности НТЦ Радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва, Российская Федерация.; младший научный сотрудник лаборатории мониторинга климатически активных веществ Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Российская Федерация.

**Еремичева Полина
Юрьевна**

аспирант, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

**Климина Елена
Михайловна**

кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация.

**Кочетова Жанна
Юрьевна**

доктор географических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.

**Кравченко Иван
Васильевич**

старший преподаватель кафедры культурологии и социокультурного проектирования, Институт медиакоммуникаций, медиатехнологий и дизайна, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

Кучумов Артур Викторович	кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления в сфере услуг, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.
Мирзаханова Зоя Гавриловна	доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация.
Остроухов Андрей Вячеславович	кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация.
Пустовитенко Бэлла Гавриловна	доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.
Рубан Дмитрий Александрович	кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация.
Соцкова Лидия Михайловна	кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии, факультет географии, геоэкологии и туризма, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
Табунщик Владимир Александрович	кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики, лаборатории по разработке методологии геоэкологической оценки бассейнов горных рек ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Симферополь, Российская Федерация.
Тронин Алексей Леонидович	начальник кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Тростина Анна
Сергеевна**

студентка факультета географии, геоэкологии и туризма, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Чернов Ярослав
Игоревич**

студент кафедры геоэкологии, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Шишкин Алексей
Викторович**

адъюнкт кафедры робототехнических комплексов и систем воздушного базирования, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.

**Эреджепов Энвер
Эльдарович**

младший научный сотрудник ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.

**Яковлев Андрей
Николаевич**

старший преподаватель кафедры геоэкологии, факультет географии, геоэкологии и туризма, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

<i>Андрющенко И. А., Володин А. Н., Кравченко И. В., Яковлев А. Н.</i> К вопросу интеграции карт Deep Mapping-формата с геоинформационными технологиями	3
<i>Вольхин Д. А., Тростина А. С.</i> Территориальная дифференциация и трансформация современных демографических процессов в Республике Башкортостан.....	13
<i>Кучумов А. В., Еремичева П. Ю.</i> Основные подходы в построении регионального туристского бренда	29
<i>Vabaeva Z. R.</i> The importance of agriculture in providing raw materials for the food industry in the Republic of Azerbaijan	39

РАЗДЕЛ 2. ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

<i>Дрыгваль А. В., Дрыгваль П. В., Табунищик В.А.</i> Оценка содержания диоксида азота (NO ₂) в атмосфере над Крымским полуостровом в период 2019–2023 гг.	53
<i>Остроухов А. В., Климина Е. М., Мирзеханова З. Г.</i> Современное состояние и экологическая значимость ландшафтов пригородной зоны города Хабаровска.....	68

РАЗДЕЛ 3. ГЕОЭКОЛОГИЯ

<i>Соцкова Л. М., Чернов Я. И.</i> Мониторинг агрохимических показателей почв сельскохозяйственного назначения Бахчисарайского района Республики Крым.....	86
<i>Шишкин А. В., Кочетова Ж. Ю., Великанов А. В., Тронин А. Л.</i> Дистанционный мониторинг заражения почвы аварийно химически опасными веществами: проблемы и пути решения.....	102

**РАЗДЕЛ 4.
ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Рубан Д. А.

Фанерозойские биотические кризисы и долгосрочные тренды изменений климата.....	118
---	-----

**РАЗДЕЛ 5.
ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ**

Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э., Бондарь М. Н.

Фанерозойские биотические кризисы и долгосрочные тренды изменений климата.....	130
---	-----

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	152
---------------------------------	------------