

# **УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**

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

**Научный журнал**

**Том 9 (75). № 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, 2023**

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 № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 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, мерзлотоведение 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).

**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 \_\_. \_\_. 2023. Формат 70x100 1/16 Объем 16,9 усл. п. л. Заказ № \_\_\_\_. Цена: Бесплатно.  
Тираж \_\_ экз. Дата выхода в свет \_\_. \_\_. 2023 Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4  
Отпечатано в Издательском доме Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского  
Адрес издательства и типографии: 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7 <http://sn-geography.cfuv.ru>

**РАЗДЕЛ 1.**  
**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ**  
**И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ**

*УДК 338.48, 656.7*

**ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С**  
**ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ**  
**РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Вахрушев И. Б.<sup>1</sup>, Загуменная К. А.<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация*

*E-mail: <sup>1</sup>vakhru@me.com*

В статье рассмотрено изменение структуры автоперевозок в России в связи с закрытием южных аэропортов и новой стратегией развития автотранспорта. На основе статистических данных произведен анализ текущего состояния и перспективы. Рассмотрены последствия временного закрытия аэропортов имеет место в Южном федеральном округе и изменения системы транспортной коммуникации, прежде всего с прилегающими Центральным и Северо-Кавказским округами, а, так же отсутствием авиационного сообщения с рядом более удаленных регионов, с которыми ранее имелись прямые рейсы. **Ключевые слова:** автомобильные перевозки, авиационные перевозки, пассажирооборот, структура пассажиропотока, стратегия развития.

**ВВЕДЕНИЕ**

Изучение изменений структуры автоперевозок в России в связи с закрытием южных аэропортов и новой стратегией развития автотранспорта представляется важной задачей, так как она определяет условия и факторы функционирования транспортной отрасли в целом.

Происходящие изменения являются динамичными и коренным образом изменяют функциональную и пространственную структуру транспорта юга страны, что обуславливает актуальность и новизну изучения вопроса.

*Цель исследования* — изучить изменение структуры автоперевозок в России в связи с закрытием южных аэропортов и новой стратегией развития автотранспорта

*Задачи исследования:*

- произвести анализ статистических данных относительно транспортных потоков и состояния транспортной системы России в условиях временного закрытия аэропортов юга страны;
- рассмотреть положения стратегии развития транспорта в условиях сложившейся на сегодня системы транспортных коммуникаций;
- рассмотреть пространственную структуру и ее изменения в транспортном комплексе.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В работе использован комплекс аналитических методов для изучения современной функциональной и пространственной структуры транспортной отрасли с целью выявления актуальных изменений.

В рамках исследования использованы актуальные статистические данные относительно пассажирооборота по видам транспорта (млн пассажиро-км/тыс. чел.) за период 2020–2022 годов, и данные относительно пассажирооборота по видам транспорта общего пользования за период 2013–2022 годов [2, 3].

## **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Изменение структуры автоперевозок в России на сегодня происходит под влиянием ряда факторов и условий.

Анализ показывает, что среди всей совокупности возможно выделить два ключевых фактора:

- закрытие южных аэропортов;
- принятие новой стратегии развития автотранспорта.

Рассмотрим подробнее каждый из факторов:

1. Положения новой стратегии развития автотранспорта являются ключевыми в изменении структуры автоперевозок в России, в том числе и для южных регионов [5, 6].

В рамках анализа стратегии были выявлены ключевые положения, определяющие изменение структуры автоперевозок.

Они следующие:

- развитие пространственной структуры перевозок с целью обеспечения пространственной взаимосвязи и увеличения доступности регионов;
- обеспечение роста уровня мобильности населения;
- стимулирование развития внутреннего туризма;
- рост объемов и скорости транзитных потоков транспорта;
- внедрение мультимодальных технологий в логистике;
- цифровая трансформация транспортных перевозок;
- низкоуглеродная трансформация транспортных перевозок.

Отметим, что стратегия направлена именно на опережающие развитие отрасли и удовлетворение спроса пользователей в перспективе.

В стратегии произведена оценка текущей ситуации и проблем транспортного комплекса.

Среди показателей транспортного комплекса относительно автоперевозок, как определенного отправного пункта для выявления изменений, отметим следующие: общая протяженность дорог общего пользования составляет по итогам 2020 г. 1553,66 тыс. км, общее количество грузовых автомобилей составляет 6,56 млн единиц, легковых — 45 млн единиц, в режиме перегрузки работало 20,88 процента, в нормативном состоянии находилось 45,8 процентов автодорог, грузооборот автомобильного транспорта составил 9,2% от общего грузооборота, на

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

---

автомобильный транспорт приходилось 68 млн. поездок пассажиров на дальнем сообщении, перевезено было 62 млн чек.

Так же отмечается, что на автомобильный транспорт приходится около 95% пассажирского потока в городах и 80-95% выбросов загрязняющих веществ. Доля использования личного транспорта в Российской Федерации выше, чем в других странах.

Для сравнения приведем показатели авиационных перевозок по состоянию на 2019 год — авиакомпаниями было перевезено 128,1 млн пассажиров, из которых 55 млн — международные линии, 73 млн — внутренние.

Для автоперевозок в южных регионах страны в настоящее время отмечается существенная доля дорожной сети, работающей в режиме перегрузки. Кроме Южного федерального округа, подобные проблемы наблюдаются в Центральном и Северо-Кавказском федеральных округах.

Данная проблема наблюдалась еще до 2022 года и была выявлена при разработке стратегии развития транспорта за период 2017–2020 гг. В результате закрытия южных аэропортов и изменениями в структуре авиаперевозок в сторону перераспределения транспортного потока на автоперевозки, данная проблема существенно возросла.

Наибольшая нагрузка на автодороги образуется вблизи крупных городов и на магистралях, которые связывают основные социально-экономические центры регионов. Следствием этого является существенное увеличение времени в пути, как при грузовом, так и пассажирском потоке между областными центрами, обозначенных округов.

При этом, отсутствие авиационного сообщения на большей части Южного федерального округа приводит к дополнительному транзитному потоку из и в данный регион. Все это приводит к мультипликативному эффекту, увеличивая нагрузку, на и так загруженные автомагистрали, связывающие социально-экономические центры внутри Южного, Центрального и Северо-Кавказского федеральных округов. Отметим, что в данных регионах система природопользования интенсивно развита и загрязнение окружающей среды имеет уже достаточно высокий уровень. Именно данный тип транспорта является одним из ведущих источников загрязнения атмосферы за счет повышенных выбросов и низкого экологического класса автомобилей, эксплуатируемых в Российской Федерации (55% автопарка не достигает стандарта Евро-3).

При этом, проблема перегрузки сети автодорог, как раз приходится на те федеральные округа, в которых временно прекращено авиационное сообщение, как внутри округа, так и между ними и другими регионами.

Положения транспортной стратегии РФ [6] выступают в качестве положительного аргумента при развитии системы автоперевозок, определяя и стимулируя развитие пространственной структуры и качества транспортного сообщения.

2. Закрытие южных аэропортов привело к существенным изменениям в структуре авиаперевозок. Основные изменения здесь заключаются в перераспределении транспортного грузового потока от авиаперевозок в сегмент,

преимущественно, автоперевозок. Прежде всего это касается пассажирского транспортного потока.

Временное закрытие аэропортов в Южном федеральном округе, привело к изменению системы транспортной коммуникации, прежде всего с прилегающими Центральным и Северо-Кавказским округами, а, так же с рядом более удаленных регионов, с которыми ранее имелись прямые рейсы.

Анализ статистических данных показывает существенные изменения в структуре транспортных перевозок (табл. 1).

Таблица 1.

Пассажирооборот в Российской Федерации по видам транспорта за 2020–2022гг. (млн пассажиро-км/тыс. чел.)

		млн пассажиро-км	тыс. чел.
ВСЕГО	2020	312 731,3	8 360 524,1
	2021	435 713,7	9 247 175,1
	в % к прошлому году	139,3	110,6
	2022	405 711,2	8 724 924,5
	в % к прошлому году	93,1	94,3
в том числе:			
железнодорожный	2020	78 573,9	875 839,0
	2021	104 204,1	1 059 262,7
	2022	114 779,5	1 047 199,0
автобусный	2020	80 380,5	7 403 103,3
	2021	87 793,6	8 063 755,5
	2022	80 275,2	7 577 727,5
внутренний водный	2020	231,8	7 721,6
	2021	418,3	8 636,6
	2022	529,0	8 836,0
морской	2020	32,7	4 616,0
	2021	35,4	4 513,4
	2022	29,9	3 171,1
воздушный (транспортная авиация)	2020	153 512,3	69 244,2
	2021	243 262,3	111 006,9
	2022	210 097,6	87 990,9

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

---

В таблице 1 приведены данные относительно пассажирооборота по видам транспорта (в млн пассажиро-км и тыс. чел.) за 2020, 2021 и 2022 год в фактических объемах и процентах по отношению к предыдущему году для всех видов транспорта: автобусного, внутреннего водного, воздушного, железнодорожного.

Кроме того, приводятся данные относительно пассажирооборота по видам транспорта общего пользования в миллиард пассажиро-километров (табл. 2) и миллионах человек (табл. 3).

Ситуация с закрытием аэропортов подтверждает теоретическое положение о том, что структура спроса на услуги регулярного и нерегулярного авиационного сообщения в качестве вышестоящей по иерархии группы факторов имеет в «надстройке», такие факторы как геополитическая ситуация и организации системы международных отношений. Именно они на макроуровне определяют особенности организации и структуру спроса на регулярное и нерегулярное авиасообщение. Данные положения подтверждаются и современными публикациями по проблематике исследования [1, 4, 6, 7, 8, 9, 10].

По данным Федерального агентства воздушного транспорта и Государственного реестра аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации на ее территории расположены 641 действующий объект данного типа. При этом 74 из них относятся к классу международных аэропортов, 9 аэропортов региональных административных центров федерального значения, 35 аэропортов со статусом посадочной площадки и 523 гражданских аэропортов регионального значения. В воздушном пространстве Российской Федерации суммарно насчитывается 1399 авиационных линий, относящихся к магистральным и региональным классам.

Временно закрытыми являются 11 аэропортов: Анапа, Белгород, Брянск, Воронеж, Геленджик, Краснодар, Курск, Липецк, Ростов-на-Дону, Симферополь, Элиста.

Рассматривая основные элементы пространственно-территориальной структуры авиационной транспортной системы, такие как, аэропорты и авиационные линии, отметим, что за счет закрытия обозначенных аэропортов из 1399 авиационных линий закрытыми являются 234. Данные линии соединяли закрытые аэропорты с 4 аэропортами, которые относятся к классу международных аэропортов, 3 аэропортами региональных административных центров федерального значения, 15 аэропортами со статусом посадочной площадки и 75 гражданскими аэропортами регионального значения.

Подобные изменения авиационной транспортной системы достаточно значимы с точки зрения изменения пассажирского и грузового потока. Однако, как показывает анализ данных о величине пассажирооборота по видам транспорта общего пользования за период 2013 по 2021 гг., (табл. 2) изменения в структуре перевозок присутствовали и до 2022 года, как между воздушным и автомобильным транспортом, так и другими видами транспорта. Так, объемы пассажирооборота авиационного транспорта показывают поступательный скачкообразный рост в миллиард пассажиро-километрах практически за весь период, при этом в 2016 и 2020 годах имеются достаточно резкие и существенные спады. Однако, объемы транспортных автомобильных перевозок не претерпевают изменений в данный

период, что позволяет говорить об отсутствии прямого перераспределения пассажирского и авиационного транспортного потока исключительно на автотранспорт.

Таблица 2.  
Пассажиروоборот в Российской Федерации по видам транспорта общего пользования (млн пассажиро-километров)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Транспорт всего	546,9	555,9	529,7	519,4	560,2	593,6	635,2	357,1	492,9
в том числе:									
железнодорожный	138,5	130,0	120,6	124,6	123,1	129,5	133,6	78,6	104,2
автобусный	126,0	127,1	126,3	124,3	123,4	122,5	122,5	88,4	101,3
трамвайный	5,3	5,0	4,8	4,6	4,3	3,9	3,8	2,8	3,1
троллейбусный	5,7	6,4	6,0	5,5	5,2	4,7	4,2	2,9	3,1
метрополитен	45,6	45,4	44,6	44,1	44,1	45,4	47,4	30,7	37,5
морской	0,04	0,07	0,06	0,09	0,08	0,06	0,05	0,03	0,04
внутренний водный	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,2	0,4
воздушный	225,2	241,4	226,8	215,6	259,4	286,9	323,0	153,5	243,3

При этом рассмотрение величины транспортного потока в миллионах человек (фактический объем пассажирского потока) показывает схожую тенденцию (табл. 3), что позволяет говорить о возможности дивергенции пассажирского потока при закрытии аэропортов.

На основании данных таблицы 1 возможно раскрыть изменения в структуре авиационного и автомобильного транспортного потока за период 2020–2022 года, как раз на момент временного закрытия воздушного сообщения с Южными регионами страны. Не малое значение здесь имеет факт того, что данные регионы являются одними из основных курортных районов страны и в системе пассажиропотока здесь весомую роль играют туристы.

Пассажируоборот транспорта в 2020 году составил 312 731,3 млн пассажиро-км и 8 360 524,1 тыс. чел., в 2021 году — 435 713,7 млн. пассажиро-км и 9 247 175,1 тыс. чел., в 2022 (в период временного закрытия южных аэропортов) — 405 711,2 млн пассажиро-км и 8 724 924,5 тыс. чел.

Изменение объема пассажируоборота в 2021 году по сравнению с 2020 годом составили 139,3% (млн пассажиро-км) и 110,6% (тыс. чел.), что говорит о достаточно значительном приросте.



**ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С  
ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ РАЗВИТИЯ  
АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Таблица 3.

Пассажиروоборот в Российской Федерации по видам транспорта общего пользования (тыс. чел).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Транспорт всего	19 095	18 645	18 439	18 114	17 826	12 494	13 718
в том числе:							
железно дорожный	1 025	1 040	1 121	1 160	1 201	876	1 059
автобусный	11 523	11 296	11 185	10 912	10 637	7 695	8 054
трамвайный	1 478	1 397	1 327	1 259	1 240	889	992
троллей бусный	1 616	1 483	1 376	1 263	1 148	760	808
метрополи тен	3 336	3 312	3 298	3 381	3 451	2 189	2 680
морской	10	13	12	8	6	5	5
внутренний водный	14	13	13	12	11	8	9
воздушный	94	91	108	118	131	71	112

В 2022 году по сравнению с 2021 годом наблюдается явное снижение величины — изменение показателя в % к прошлому году составляет 93,1% (млн пассажиро-км) и 94,3% (тыс. чел.).

Данное изменение показателей как раз может быть связано с изменением транспортных потоков за счет временного закрытия аэропортов в южных регионах, так как иных объективных причин в транспортной отрасли страны не наблюдалось.

Подтверждает это и рассмотрение объемов авиационных перевозок в период 2020–2022 годов. В 2020 году объем авиационных перевозок составил 153 512,3 млн пассажиро-км и 69 244,2 тыс. чел. (показатель имеет достаточно низкие значения с учетом периода эпидемических ограничений). В 2021 году происходит резкое возрастание объема перевозок — 243 262,3 млн. пассажиро-км и 111 006,9 тыс. чел. В 2022 году происходит снижение показателей в связи с временным закрытием южных аэропортов и перераспределением транспортного потока на другие виды транспорта. Объемы показателей составили 210 097,6 млн пассажиро-км и 87 990,9 тыс. чел. соответственно.

Перераспределение данного объема перевозок происходит на железнодорожный и автомобильный транспорт. Так объемы перевозок железнодорожного транспорта в период 2020–2022 года возрастают. Так, в 2021 году данным видом транспорта перевезено 1 059 262,7 тыс. чел. при объеме 104 204,1 млн пассажиро-км. В 2022 году — 114 779,5 млн пассажиро-км и 1 047 199,0 тыс. чел.

Объемы перевозок автобусным транспортом составили в 2020 году — 80 380,5 млн. пассажиро-км и 7 403 103,3 тыс. чел., в 2021 — 87 793,6 млн пассажиро-км и 8 063 755,5 тыс. чел., в 2022 — 80 275,2 млн пассажиро-км и 7 577 727,5 тыс. чел.

Кроме того, возможно заключить, что в 2023 году данная тенденция явно сохраняется, так как аэропорты остаются закрытыми, а роль автомобильных перевозок усиливается.

Отметим, что на сегодня происходят существенные инфраструктурные изменения по перераспределению транспортного потока в Южные регионы Российской Федерации. И здесь важное значение имеет создание транспортных коридоров в новых регионах страны и развитие сухопутного пути в Республику Крым.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изменение структуры автоперевозок в России происходит под влиянием ряда факторов и условий. Прежде всего это — закрытие южных аэропортов и принятие новой стратегии развития транспорта.

Временное закрытие аэропортов в Южном федеральном округе привело к изменению системы транспортной коммуникации, прежде всего с прилегающими Центральным и Северо-Кавказским округами, а, так же с рядом более удаленных регионов РФ с которыми ранее имелось прямое авиационное сообщение.

На основании анализа статистических данных в статье представлены изменения в структуре авиационного и автомобильного транспортного потока за период 2020–2022 года, как раз на момент временного закрытия воздушного сообщения с Южными регионами страны.

Пассажиरोоборот транспорта в 2020 году составил 312 731,3 млн пассажиро-км и 8 360 524,1 тыс. чел., в 2021 году — 435 713,7 млн пассажиро-км и 9 247 175,1 тыс. чел., в 2022 (в период временного закрытия южных аэропортов) — 405 711,2 млн пассажиро-км и 8 724 924,5 тыс. чел.

Изменение объема пассажиरोоборота в 2021 году по сравнению с 2020 годом составили 139,3% (млн пассажиро-км) и 110,6% (тыс. чел.), что говорит о достаточно значительном приросте.

В 2022 году по сравнению с 2021 годом наблюдается явное снижение величины — изменение показателя в % к прошлому году составляет 93,1% (млн пассажиро-км) и 94,3% (тыс. чел.).

Данное изменение показателей как раз может быть связано с изменением транспортных потоков за счет временного закрытия аэропортов в южных регионах, так как иных объективных причин в транспортной отрасли страны не наблюдалось.

Положения новой стратегии развития автотранспорта в РФ являются ключевыми в случае ограничения авиаперевозок и стимулируют изменение структуры автоперевозок в России, в том числе и для южных регионов.

Относительно автоперевозок в южных регионах страны отмечается, что наиболее насущной проблемой являются существенная доля дорожной сети,

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

работающей в режиме перегрузки. Кроме Южного федерального округа, подобные проблемы наблюдаются в Центральном и Северо-Кавказском федеральных округах.

Сегодня здесь происходят существенные инфраструктурные изменения по перераспределению транспортного потока как в Южные регионы Российской Федерации так и внутри них. Важное значение имеет создание транспортных коридоров в новых регионах страны и развитие сухопутного пути в Республику Крым.

### Список литературы

1. Гинзбург Е.С. Совершенствование пространственной организации авиационного транспорта России путем формирования сети авиахабов // Регион сотрудничества. Выпуск 2 (54). Калининград: Изд-во РГУ им. И.Канта, 2009.С.72–81.
2. Ермолова Е. Н. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования по Российской Федерации годы (с 2000 г.). М: Росстат. 2022. 5 с.
3. Ермолова Е. Н. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования по Российской Федерации по месяцам (оперативная информация, с 2020 г.). М: Росстат. 2022. 5 с.
4. Ковалева Е.Н. Интегральная транспортная доступность как показатель качества транспортного обслуживания // Журнал университета водных коммуникаций. 2011. Вып. 3. С. 171–175.
5. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 июня 2022 г. № 1693-р «Об утверждении комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года. № 2022. 47 с.
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Об утверждении к Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. 2021. 285 с.
7. Ярошевич Н.Ю., Дубровский В.Ж. Модель прогнозирования спроса на авиаперевозки аэропорта в условиях меняющейся конъюнктуры рынка // Известия Уральского государственного экономического университета. 2014. № 6 (56). С. 54–61.
8. Akca Z. Reflection of sustainability issues in airline strategies and overview of life cycle cost analysis // International Journal of Sustainable Aviation 4(2):133. 2018. P. 133–146 DOI:10.1504/IJSA.2018.10015447
9. Bahar, E. “Airlines Employees Service Quality Perception of the Ground Handling Management”, *JAST*, vol. 13, no. 1, pp. 91–105, Jan. 2020.
10. Brueckner J.K., Flores-Fillol R. Market Structure and Quality Determination for Complementary Products: Alliances and Service Quality in the Airline Industry / Brueckner J.K., Flores-Fillol R. // International Journal of Industrial Organization. 2020. Т. 68. С. 102557. [Электронный ресурс]. URL:[https://www.researchgate.net/publication/337451033\\_Market\\_Structure\\_and\\_Quality\\_Determination\\_for\\_Complementary\\_Products\\_Alliances\\_and\\_Service\\_Quality\\_in\\_the\\_Airline\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/337451033_Market_Structure_and_Quality_Determination_for_Complementary_Products_Alliances_and_Service_Quality_in_the_Airline_Industry) (Дата обращения: 14.02.2022).

**CHANGES IN THE STRUCTURE OF ROAD TRANSPORTATION IN RUSSIA  
DUE TO THE CLOSURE OF SOUTHERN AIRPORTS AND A NEW STRATEGY  
FOR ROAD TRANSPORT DEVELOPMENT: ANALYSIS OF THE CURRENT  
STATE AND PROSPECTS**

*Vakhrushev I.B.<sup>1</sup>, Zagumennaya K. A.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup>vakhru@me.com*

The change in the structure of road transportation in Russia today is influenced by a number of factors and conditions. First of all, this is the closure of southern airports and the adoption of a new strategy for the development of motor transport.

Temporary closure of airports is taking place in the Southern Federal District, which leads to a change in the transport communication system, primarily with the adjacent Central and North Caucasus districts, as well as a lack of air communication with a number of more remote regions where there were direct flights.

Based on the analysis of statistical data, the article presents changes in the structure of aviation and road transport flows for the period 2020–2022, just at the time of the temporary closure of air traffic with the southern regions of the country.

Transport passenger turnover in 2020 amounted to 312,731.3 million passenger-km and 8,360,524.1 thousand people, in 2021 — 435,713.7 million passenger-km and 9,247,175.1 thousand people. in 2022 (during the temporary closure of southern airports) — 405,711.2 million passenger-km and 8,724,924.5 thousand people.

The change in passenger turnover in 2021 compared to 2020 amounted to 139.3% (million passenger-km) and 110.6% (thousand people), which indicates a fairly significant increase. In 2022, compared to 2021, there is a clear decrease in value - the change in percentage compared to last year is 93.1% (million passenger-km) and 94.3% (thousand people).

This change in indicators may just be due to changes in transport flows due to the temporary closure of airports in the southern regions, since there were no other objective reasons in the country's transport industry.

The provisions of the new strategy for the development of motor transport are key in the event of restrictions on air transportation and stimulate changes in the structure of road transport in Russia, including for the southern regions.

Regarding road transportation in the southern regions of the country, it is noted that among the most pressing problems are a significant proportion of the road network operating in overload mode. In addition to the Southern Federal District, similar problems are observed in the Central and North Caucasus districts.

Let us note that today there are significant infrastructural changes to redistribute traffic flow to the southern regions of the Russian Federation.

The creation of transport corridors in new regions of the country and the development of the land route to the Republic of Crimea are important.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОПЕРЕВОЗОК В РОССИИ В СВЯЗИ С  
ЗАКРЫТИЕМ ЮЖНЫХ АЭРОПОРТОВ И НОВОЙ СТРАТЕГИЕЙ РАЗВИТИЯ  
АВТОТРАНСПОРТА: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

---

**Keywords:** automobile transportation, aviation transportation, passenger turnover, passenger traffic structure, development strategy.

**References**

1. Ginzburg E.S. Sovershenstvovanie prostranstvennoj organizacii aviacionnogo transporta Rossii putem formirovaniya seti aviahabov // Region sotrudnichestva. Vypusk 2 (54). Kaliningrad: Izd-vo RGU im. I.Kanta, 2009.S.72–81. (in Russian)
2. Ermolova E. N. Perevozki passazhirov po vidam transporta obshchego pol'zovaniya po Rossijskoj Federacii gody (s 2000 g.). M: Rosstat. 2022. 5 s. (in Russian)
3. Ermolova E. N. Perevozki passazhirov po vidam transporta obshchego pol'zovaniya po Rossijskoj Federacii po mesyacam (operativnaya informaciya, s 2020 g.). M: Rosstat. 2022. 5 s. (in Russian)
4. Kovaleva E.N. Integral'naya transportnaya dostupnost' kak pokazatel' kachestva transportnogo obsluzhivaniya // ZHurnal universiteta vodnyh kommunikacij. 2011. Vyp. 3. S. 171–175. (in Russian)
5. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 iyunya 2022 g. № 1693-r «Ob utverzhdenii kompleksnoj programmy razvitiya aviatransportnoj otrasli Rossijskoj Federacii do 2030 goda. № 2022. 47 s. (in Russian)
6. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii k Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda. 2021. 285 s. (in Russian)
7. YArOShevich N.YU., Dubrovskij V.ZH. Model' prognozirovaniya sprosa na aviaperevozki aeroporta v usloviyah menyayushchejsya kon'yunktury rynka //Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2014. № 6 (56). S. 54–61. (in Russian)
8. Akca Z. Reflection of sustainability issues in airline strategies and overview of life cycle cost analysis // International Journal of Sustainable Aviation 4(2):133. 2018. P. 133–146 DOI:10.1504/IJSA.2018.10015447.
9. Bahar, E. “Airlines Employees Service Quality Perception of the Ground Handling Management”, JAST, vol. 13, no. 1, pp. 91–105, Jan. 2020.
10. Brueckner J.K., Flores-Fillol R. Market Structure and Quality Determination for Complementary Products: Alliances and Service Quality in the Airline Industry / Brueckner J.K., Flores-Fillol R. // International Journal of Industrial Organization. 2020. T. 68. S. 102557. [Elektronnyj resurs]. URL:[https://www.researchgate.net/publication/337451033\\_Market\\_Structure\\_and\\_Quality\\_Determination\\_for\\_Complementary\\_Products\\_Alliances\\_and\\_Service\\_Quality\\_in\\_the\\_Airline\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/337451033_Market_Structure_and_Quality_Determination_for_Complementary_Products_Alliances_and_Service_Quality_in_the_Airline_Industry) (Data obrashcheniya: 14.02.2022).

*Поступила в редакцию 20.10.2023 г.*

УДК 911.375

**ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КАК «ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ  
РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ  
ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ**

*Вольхин Д. А.*

*Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация*

*E-mail: lomden@mail.ru*

Изучен потенциал и современная роль Республики Крым и г. Севастополя в инкорпорировании «новых регионов» в экономическое и гуманитарное пространство России. Определены направления их эффективного межрегионального взаимодействия. Изучено формирование транспортно-логистической системы как важнейшего элемента горизонтальных связей между регионами. Выделены генерирующие центры межрегиональных контактов крымских субъектов с Донецкой Народной Республикой, Запорожской областью, Луганской Народной Республикой и Херсонской областью.

Дано обоснование роли крымских субъектов как «территорий-шерпов» в процессе инкорпорирования новых российских регионов в экономическое и гуманитарное пространство страны.

**Ключевые слова:** межрегиональное сотрудничество, интеграция, Крым, «новые регионы».

**ВВЕДЕНИЕ**

Интеграция новых регионов в правовое, экономическое и социокультурное пространства России в XXI в. стала объектом изучения отечественных и зарубежных исследователей после воссоединения Республики Крым и Севастополя с РФ в 2014 году. За прошедшие девять лет этот феномен был изучен с методологических позиций разных наук и научных направлений представителями различных исследовательских центров России и отражен в нескольких сотнях научных работ. Исследователи в области гуманитарных наук изучили правовые [1, 2], политические [3, 4] и социокультурные аспекты данного процесса в сфере образования [5], социальных процессов [6, 7], межэтнических взаимодействий [8, 9, 10], информационного влияния [11, 12], формирования региональной идентичности [13, 14]. Тематика инкорпорирования Крыма в экономическую систему России подробно изучается российскими экономистами с общеэкономических и отраслевых позиций [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. События «Крымской весны», воссоединение Крыма с Россией, первые результаты новейшего этапа социально-экономического развития полуострова изучены и интерпретированы с позиции геополитики [24, 25] и общественной географии [26, 27, 28, 29].

После принятия в состав Российской Федерации Донецкой Народной Республики (ДНР), Запорожской области, Луганской Народной Республики (ЛНР) и Херсонской области (в заявлениях официальных лиц, научном и медийном дискурсах эти территории совокупно стали именовать «новые регионы») в 2022 году научные задачи по изучению алгоритмов, рисков и эффектов всесторонней интеграции новых территорий в пространство страны актуализировались и обрели новый контекст.

## ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК «ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

Новизна контекста указанных задач состоит в том, что в случае с интеграцией крымских субъектов в новейшей истории России не было накопленного опыта по адаптации новых субъектов, а в случае с «новыми регионами» можно использовать крымский опыт 2014–2022 гг. как управленческий прецедент.

Применение «крымского кейса» встраивания в правовое, экономическое и социокультурное пространства России в построении алгоритмов принятия решений, оценке, преодолении и профилактике рисков является важным инструментарием не только по формальным признакам. У Крыма и сопредельных с ним Херсонской и Запорожской областей, ДНР и ЛНР есть географическая, историческая и социокультурная основы взаимодействия в статусе «новых субъектов РФ». «Новые регионы», как и крымские субъекты после возвращения в состав РФ в 2014 г., будут трансформироваться и интегрироваться в российское экономическое пространство по модели догоняющего развития, восстанавливая нормальное функционирование всех систем жизнеобеспечения, устраняя инфраструктурные ограничения и существенное отставание от среднероссийских макропоказателей социально-экономического развития. В связи с этим целью исследования стало изучение потенциала и современной роли Республики Крым и г. Севастополя в инкорпорировании новых регионов в экономическое и гуманитарное пространство России для определения направлений их эффективного межрегионального взаимодействия.

Методической основой исследования стали ивент-анализ средств массовой информации, анализ официальных документов министерств и ведомств, официальная статистика, сравнительно-географический метод.

### **ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ И ГУМАНИТАРНЫХ КОНТАКТОВ КРЫМА И «НОВЫХ СУБЪЕКТОВ»**

Новейшая история межрегионального взаимодействия Крыма, Херсонской и Запорожской областей, ДНР и ЛНР в пределах мезорегиона Северное Причерноморье связана с их нахождением в рамках единого государства СССР, его республики УССР (после передачи Крымской области из состава РСФСР в состав УССР в 1954 г.), независимой Украины (до 2014 г.) и в составе Российской Федерации с 2022 г. Регионы связывала не только общность истории, но и территориальное единство хозяйства, сходство экономико-географического положения. Сближению экономик и социокультурной сферы Крыма и Херсонской области способствовал длительный период развития в составе одного экономического района: Южного ЭР – в советский период до 1991 г. [31] и Причерноморского ЭР – в рамках украинского государства до 2014 г. Через Херсонскую и Запорожскую области была обеспечена связь территорий Крымского полуострова с другими территориями СССР, а затем Украины через два сухопутных маршрута, пролегающих через Перекопский перешеек и Чонгарский полуостров. В результате сформировался комплекс межрегиональных коммуникационных сетей и единое транспортно-географическое пространство, которое было разорвано по инициативе украинской стороны в 2015 г.:

- построены автомобильные и железнодорожные магистрали в северо-восточном и северо-западном направлении относительно Крыма через Херсонскую область (Севастополь–Симферополь–Джанкой–Мелитополь–Харьков–Москва и Севастополь–Симферополь–Джанкой–Армянск–Херсон–остальная часть Украины);
- запланирован Международный автомобильный коридор «Евразийский» (Одесса – Ашхабад), но не действующий в полную силу;
- Запорожскую, Херсонскую области и Крым связывала водохозяйственная система по использованию воды р. Днепр в структуре объектов Каховское водохранилище–Северо-Крымский канал;
- межрегиональный топливно-энергетический комплекс сформировался путем соединения причерноморских регионов серией газопроводов, ЛЭП высокого напряжения, идущих от Запорожской АЭС и Каховской ГЭС в Крым;
- единство телекоммуникационного пространства было обеспечено оптоволоконными линиями связи «Таврия» (Николаев–Херсон–Армянск–Симферополь с распределением в другие города Крыма) и «Сечь» (Мелитополь–Джанкой–Симферополь с распределением в другие города Крыма).

Для Крыма и Херсонской области характерны взаимосвязанность и взаимодополняемость их агропромышленных комплексов. Рекреационный комплекс Крыма – важный потребитель сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, производимых в Херсонской и Запорожской областях, и всегда являлся источником сезонной занятости их населения на крымских курортах. Взаимодополняемость экономик и социальные связи жителей двух регионов особенно чувствительны были для приграничных муниципалитетов.

Крым и Донбасс связывает Азовское море. Керчь и Мариуполь участвовали в едином энергопроизводственном цикле черной металлургии. Эти связи были прерваны по причине прекращения деятельности Камыш-Бурунского железорудного комбината. Крым играл важную роль в массовом оздоровлении шахтеров, металлургов, работников других тяжелых производств и их семей из Донбасса и Запорожской области, была сформирована соответствующая сеть санаторно-курортных учреждений на полуострове.

В период нахождения в структуре украинского государства был также накоплен потенциал тесного взаимодействия политических элит Донбасса и Крыма, который может быть использован на современном этапе встраивания «новых регионов» в российское политическое пространство.

В результате длительной истории межрегиональных связей формирование единого экономического и гуманитарного пространства в Северном Причерноморье в границах новых субъектов РФ является объективным общественно-географическим и историческим процессом. У крымских субъектов есть потенциал выступить в роли «территорий-шерпов», ускоряющих и облегчающих процесс инкорпорирования Херсонской и Запорожской областей, ДНР и ЛНР в социально-экономическое пространство России.



## ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК «ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

### **КРЫМ КАК ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ «РЕГИОНОВ-ШЕРПОВ» В ПРОЦЕССЕ ИНКОРПОРИРОВАНИЯ НОВЫХ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ**

Современные межрегиональные связи Крыма с Херсонской и Запорожской областями, ДНР и ЛНР осуществляются в экстраординарных условиях – в период проведения Специальной военной операции Вооруженных сил России на Украине (СВО).

В данном исследовании подробно не рассматривается важная роль военных подразделений и добровольческих формирований Республики Крым и Севастополя, а также гуманитарная миссия крымских общественных организаций в достижении целей СВО. Основной фокус направлен на изучение институциональной среды, анализ сфер текущего взаимодействия Крыма с «новыми регионами» и реализации интеграционных проектов, выявление генерирующих центров межрегиональных контактов и новых территориальных социально-экономических систем.

Крымские субъекты одними из первых среди регионов РФ и с наибольшей интенсивностью приступили к созданию институциональной среды межрегионального взаимодействия с Херсонской и Запорожской областями, ДНР и ЛНР еще до их формального включения в состав РФ. В марте 2017 года Ливадийский дворец в Ялте стал площадкой учреждения Интеграционного комитета «Россия – Донбасс» [32]. В руководстве и в совете Интеграционного комитета – крымские политики и общественные деятели.

Крымскими субъектами были запущены интеграционные проекты с «новыми регионами» [33]. Усиление взаимосвязей всех ветвей региональных властей и субъектов экономической деятельности происходит благодаря подписанным соглашениям о сотрудничестве в области торговли, науки, техники, культуры, транспорта, туризма и прочих отраслей [34, 35, 36, 37, 38 и многие другие]. Крымские субъекты в процессе управления развитием «новых регионов» в российских условиях участвуют в роли регулярных консультаций во всех сферах государственного управления. От практики регионального уровня взаимодействия переходят к муниципальному уровню [39, 40, 41 и др.], что указывает на углубление интеграционных процессов, когда отдельные муниципалитеты взаимодействуют в рамках конкретных проектов и задач.

Соглашения о сотрудничестве подписываются не только в двустороннем формате, но и в многостороннем, объединяя все «новые регионы» России. Примером может служить пятистороннее соглашение о сотрудничестве в области курортов и туризма между профильными министерствами Республики Крым, Херсонской и Запорожской областей, ДНР и ЛНР [42].

Институциональная среда создается не только на правительственном уровне, но и путем восстановления утраченных связей и установления новых формальных контактов между предпринимателями, общественными организациями, профессиональными сообществами в самых разных отраслях экономики и социокультурной сферы.

Формирование институциональной среды межрегионального взаимодействия с «новыми регионами» и подобный процесс для крымских субъектов после 2014 года

имеет ряд отличий. Отличия заключаются в хронологии, скорости, территориальных особенностях и масштабах этого процесса. В случае с ДНР и ЛНР, Херсонской и Запорожской областями активное взаимодействие с регионами России началось еще до формального вхождения в состав РФ, а после этого – усиливалось и обрело системный характер, в том числе за счет использования опыта Крыма [43, 44], тогда как на начальном этапе интеграции Крыма в российское пространство межрегиональные контакты развивались несколько стихийно, с особой осторожностью с новыми субъектами контактировали крупные компании. Интеграция Республики Крым и Севастополя в российскую экономику осложнялась уникальными для двух субъектов внешнеэкономическими санкциями и блокадами. За девять лет федеральные власти, крымские субъекты и их партнеры отработали механизмы обхода части ограничений за счет параллельного импорта, а также трастовых схем ведения бизнеса и внешней торговли. «Новые регионы» в обозначенном контексте в 2022 г. оказались в условиях еще большего (по сравнению с Крымом) внешнеполитического и геоэкономического давления на Россию, однако они имеют более протяженную границу с соседними регионами страны, используют и совершенствуют крымский опыт адаптации к внешним рискам.

Территориально близкие и находящиеся в подобной внешнеполитической ситуации Республика Крым и город Севастополь обладают ключевым потенциалом для инкорпорирования «новых регионов» в российское социально-экономическое пространство, хотя в процессе восстановления и экономического развития освобожденных районов Донбасса, Херсонщины и Запорожской области принимают участие многие субъекты РФ в рамках госзаданий, межправительственных соглашений, используя практику регионов- и городов-кураторов и частных инициатив бизнеса.

Крымские субъекты являются регионами-аналогами для «новых регионов» и с точки зрения особых условий ведения бизнеса в рамках свободной экономической зоны (СЭЗ), которая была создана в Донецкой и Луганской народных республиках, Херсонской и Запорожской областях согласно принятому Государственной Думой РФ в июне 2023 г. соответствующего пакета законов. В результате на долгосрочную перспективу на обширной территории в пределах шести субъектов РФ от Севастополя до ЛНР создано экономическое пространство с преференциальным режимом ведения предпринимательской деятельности и градостроительства.

В структуре межрегиональных отношений крымских субъектов с «новыми регионами» России на момент середины 2023 года наиболее ощутимые эффекты достигнуты в области развития агропромышленного комплекса, интеграции транспортных систем, подготовки кадров, здравоохранении, рекреации и туризме.

В сфере сельского хозяйства Крым для Запорожской и Херсонской областей, в первую очередь, является крупным потребителем. После восстановления связей с крымскими субъектами оптово-розничной торговли для производителей сельскохозяйственной продукции «новых регионов» на полуострове были созданы особые условия торговли. Аграриям из «новых регионов» на бесплатной или льготной основе выделяются места для торговли на оптово-розничных рынках и ярмарках полуострова, создаются условия беспрепятственных поставок

## ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК «ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

скоропортящейся сельскохозяйственной продукции в Республику Крым по типу «зеленый коридор» [45]. Учитывая важную роль в структуре сельскохозяйственного производства Херсонской и Запорожской областей овощной, фруктово-ягодной и прочей скоропортящейся продукции и отсутствие у большинства аграриев достаточных мощностей для ее длительного хранения, можно сделать заключение, что именно близость рынков сбыта в лице крымского региона является главным фактором развития первичного звена сельского хозяйства этих регионов.

В весенний период 2023 года в среднем в неделю поток сельхозпродукции из Запорожской и Херсонской областей в Крым составлял 500–700 т. Основу продукции составлял урожай прошлого года [46], очевидно сбор урожая текущего года существенно увеличит данный показатель. Главным центром сбыта этой продукции является оптовый рынок «Крымский Привоз» в г. Симферополе.

В Крыму было создано представительство Федеральной ассоциации «Народный фермер», которая выступит площадкой по защите прав и интересов крестьянских хозяйств не только на полуострове, но и в «новых регионах» [47], что является важным инструментом адаптации херсонских и запорожских аграриев к российским условиям ведения аграрного бизнеса с учетом крымского опыта преодоления типичных проблем за прошедшие девять лет.

Интеграция транспортных систем «новых регионов» в единую транспортную систему России – ключевой фактор встраивания всех остальных отраслей региона в социально-экономическое пространство страны. На первом этапе этот процесс осуществляется путем организации транспортной связности ДНР и ЛНР, Херсонской и Запорожской областей с Ростовской областью и Крымом – так называемый сухопутный коридор «Донбасс–Крым». Протяженность коридора около 390 км, он соединяет проходит через Таганрог, Новоазовск, Мариуполь, Бердянск, Мелитополь и Джанкой. По этому маршруту осуществляется основная часть грузовых перевозок в направлении Крым–Донбасс–Ростовская область. Таким образом, в сфере автомобильного транспорта замыкается кольцевая сеть вокруг Азовского моря, что создает возможности переброски грузовых потоков с одного направления на другое и повышает транспортную связность и проницаемость территорий «новых регионов» с большим Югом России. Однако, этот маршрут по-прежнему сталкивается с военными рисками и техническими ограничениями пропускной способности путей.

Наиболее интенсивное пассажирское транспортное сообщение по существующей дорожной инфраструктуре автомобильного и железнодорожного транспорта налажено между Крымом и Херсонской с Запорожской областями, а именно с их приграничными муниципалитетами. К середине 2023 года в этом направлении организованы следующие регулярные автобусные рейсы:

- Симферополь–Мелитополь (5 рейсов в день).
- Джанкой– Мелитополь (2 рейса в день)
- Ялта–Симферополь–Геническ;
- Джанкой–Геническ
- Симферополь–Скадовск

Планируемое железнодорожное сообщение Джанкой – Мелитополь и Джанкой – Херсон не было запущено.

Между Крымом и Донбассом установлено менее интенсивное пассажирское транспортное сообщение, которое организовано по следующим маршрутам:

- Донецк–Мариновка–Куйбышево–Керчь–Феодосия–Симферополь–Алушта–Ялта;
- Макеевка–Донецк–Новоазовск–Вознесенск–Керчь–Феодосия–Симферополь–Алушта–Ялта–Севастополь;
- Стаханов–Севастополь (частный перевозчик);
- Луганск–Симферополь.

Движение транспорта осуществляется через соответствующие автомобильные пункты пропуска, что увеличивает время в пути и затрудняет проницаемость территории.

Логистические связи с «новыми регионами» планируется наладить и через Азовское море путем организации морских грузовых и пассажирских перевозок из крымских портов (прежде всего из Керчи) в порты Бердянска и Мариуполя.

Таким образом, потенциал разветвленной и интенсивной транспортной связности «новых регионов» с Крымом остается нереализованным по ряду военно-политических и технических причин.

В гуманитарной сфере, кроме собственно гуманитарных коридоров и всесторонней волонтерской помощи, которую оказывают жители Крыма, системообразующим является участие крымских субъектов в организации образования, здравоохранения и рекреации для жителей «новых регионов».

В сфере образования крымские образовательные учреждения и профессиональные коллективы осуществляют масштабную деятельность, которую можно разделить на ряд направлений:

- обучение и переподготовка управленцев и чиновников: главный центр – Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского в Симферополе, также обучение проходит на базе Ростовского филиала РАНХиГС, Севастопольского госуниверситета и ЛГУ им. Даля. Главная цель программы обучения – передать управленческий опыт крымских специалистов в области политических, правовых, экономических и социальных процессов. По программам повышения квалификации в указанных образовательных центрах до конца 2023 г. планируется обучить 3700 человек [48, 49];

- переподготовка, консультирование и методическая помощь для педагогов школьного образования: всего за неполных два года планируется организовать переподготовку в разных форматах для более чем 20 тыс. учителей [50, 51 и др.];

- сотрудничество и кураторство в сфере высшего образования и науки. Пример такого сотрудничества – Мелитопольский государственный университет заключил соглашения о сотрудничестве с ведущими вузами Крыма [52].

- предоставление особых условий поступления в вузы для жителей «новых регионов».

Для «новых регионов» Крым стал важным центром в области здравоохранения. Медицинские центры Крыма осуществляют прием и лечение жителей ДНР и ЛНР, Херсонской и Запорожской областей, в том числе. Важную миссию выполняют врачи, принимающие участие в проведении диспансеризации жителей «новых

## ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК «ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

регионов» в местах их проживания. Крым играет важную роль в обеспечении условий для эвакуированных из Херсонской области домов-интернатов, гериатрических центров и других специальных социальных учреждений для их постоянного размещения на территории полуострова или в качестве временного пункта с последующим распределением в другие регионы страны.

В области рекреации и санаторно-курортного лечения крымские центры играют важную роль в размещении и оздоровлении, прежде всего, детей из «новых регионов». В этом процессе задействованы главные центры детского отдыха в Евпатории, ЮБК и Севастополя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роль крымских субъектов Российской Федерации в инкорпорировании «новых регионов» в экономическое и гуманитарное пространство страны можно ёмко определить как «регионы-шерпы», которые ускоряют и облегчают этот процесс.

Крымский опыт интеграции в социально-экономическое пространство России, его территориальная близость с Херсонской и Запорожской областями, ДНР и ЛНР, длительный период их межрегионального взаимодействия в рамках единого экономического пространства формируют потенциал встраивания этих регионов в пространство Юга России, а Крым в этом процессе выступает коммуникационным, логистическим, распределительным центром. В наибольшей степени указанный потенциал на данный момент межрегиональных связей удалось реализовать в экономической сфере – в области сельского хозяйства и транспорта, в гуманитарной сфере – в области образования, здравоохранения, рекреации и оказания гуманитарной помощи.

Формирование транспортно-логистической системы как важнейшего элемента горизонтальных связей между регионами необходимо дополнить регулярным автомобильным и железнодорожным сообщением. В регионе сохраняется потенциал формирования кольцевой морехозяйственной структуры в Азово-Черноморском секторе России, отдельные звенья которой уже функционируют.

Генерирующими центрами межрегиональных контактов Крыма Херсонской и Запорожской областей, ДНР и ЛНР на территории Крыма являются:

– в сфере сельского хозяйства и сбыта продовольствия: Симферополь, Джанкой, Севастополь;

– в транспортно-логистической сфере: Джанкой, Армянск, Симферополь, Севастополь, Керчь;

– в гуманитарной сфере: Симферополь, Севастополь, Евпатория, Ялта, Алушта, Феодосия.

На территории Херсонской области такими центрами являются Геническ, Новоалексеевка, Скадовск, Каланчак; в Запорожской области – Мелитополь и Бердянск; в ДНР – Донецк, Макеевка и Мариуполь; в ЛНР – Луганск.

Наибольшая интенсивность межрегиональных связей характерна в направлении Крым–Херсонская область и Крым–Запорожская область, в их приграничных и сопредельных муниципалитетах. Донбасские республики в силу своей удаленности

от полуострова тяготеют к экономическим центрам Ростовской области, близким по своей хозяйственной специализации.

Потенциал крымских субъектов в роли «территорий-шерпов» в процессе интеграции «новых регионов» в российское социально-экономическое пространство не реализован в полной мере. «Крымский кейс» интеграции в пространство России следует актуализировать в сфере углубления межмуниципального взаимодействия, вовлекая новые сферы экономической деятельности, что позволит создать единое экономическое и социокультурное пространство в российском секторе Причерноморья.

#### **БЛАГОДАРНОСТИ**

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

#### **Список литературы**

1. Неудахин С. Б. Роль органов прокуратуры в интеграции города федерального значения Севастополя в правовое пространство Российской Федерации // *Законность*. 2020. № 1(1023). С. 26–29.
2. Жуков Д. А., Катукова С. Ю. Проблемы становления нотариата в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе // *Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС*. 2015. Т. 6. № 3(20). С. 162–169.
3. Галас М. Л. Проблемы политической и социальной адаптации крымчан к жизни в составе Российской Федерации // *Власть*. 2017. Т. 25. № 5. С. 108–116.
4. Зоткин А. А. Пятилетие "крымской весны" и проблемы интеграции Крыма в политическую систему России // *Власть и элиты*. 2019. Т. 6. № 2. С. 5–23.
5. Батырев Д. Н., Свинаярева Т. Процесс интеграции образовательных систем Республики Крым и города федерального значения Севастополь в образовательное пространство Российской Федерации // *Современные проблемы науки и образования: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Таганрог, 30 июня 2015 года* / Научный ред. Ю. В. Мамченко. Таганрог: Издательство "Перо", 2015. С. 93–95.
6. Киселев С. Н., Киселева Н. В., Яковлев А. Н. Социальные риски эффективного интегрирования Крыма в пространство Российской Федерации // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2021. Т. 7. № 3. С. 33–46.
7. Лубский А. В. Модальные модели социального поведения и особенности социальной интеграции Крыма в ментальное многообразие российского социума // *Гуманитарий Юга России*. 2018. Т. 7. № 3. С. 60–76.
8. Демешко Н. Э. Россия и крымские татары: уроки истории и взгляд в будущее // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Философия. Политология. Культурология*. 2018. Т. 4 (70). № 3. С. 57–69.
9. Сенюшкина Т. А. Воссоединение Крыма с Россией как этнополитический процесс // *Политическая экспертиза: ПОЛИТЭКС*. 2015. Т. 11. № 4. С. 75–91.
10. Чигрин В. А. Особенности интеграции этносов Крыма в российский полиэтничный социум // *Гуманитарий Юга России*. 2016. Т. 20. № 4. С. 84–94.
11. Егорова Л. Г. Формирование пространства печатных медиа Севастополя в новых условиях // *Научный диалог*. 2018. № 7. С. 114–124.
12. Платонова А. В., Осипова Е. А. Интеграция электронных массмедиа Крыма в российское информационное пространство // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2018. Т. 37. № 1. С. 84–93.

**ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК  
«ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В  
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ**

---

13. Гапизов З. Р. Цивилизационный идентитет населения Крыма как фактор интеграции в российское пространство // Государственное управление. Электронный вестник. 2021. № 85. С. 189–210.
14. Киселев С. Н. "Пять постулатов крымского регионализма": двадцать лет спустя / С. Н. Киселев // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). № 1. С. 34–38.
15. Михеева И. В., Логинова А. С., Скиперских А. В. Интеграция Крыма в состав России: "цена" вопроса // Сравнительная политика. 2017. Т. 8. № 4.
16. Вольхин Д. А. Трансформация экономической безопасности Крыма в условиях интеграции в российское социально-экономическое пространство // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). № 2. С. 79–91.
17. Воронин И. Н. Интеграция экономики Крыма в социально-экономическое пространство России: итоги первой пятилетки // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). № 2. С. 5–14.
18. Курбанов А. Х., Пахомов В. И., Плотников В. А. Интеграция экономики Крыма в российскую экономическую систему: состояние и перспективы // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2014. № 4(88). С. 29–37.
19. Селютин В. В. Проблемы социально-экономической интеграции Крыма и России // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 3. С. 111–121.
20. Анализ тенденций социально-экономического развития Республики Крым: монография / под ред. Ю.П. Майданевич. Симферополь: ПОЛИПРИНТ, 2019. 362 с.
21. Черкашина Е. В. Процесс интеграции Республики Крым в российское экономическое пространство как стимул развития эфиромасличной и лекарственной отрасли страны // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. С. 452.
22. Крайнюк М. М. Перспективы развития виноградарства и виноделия Республики Крым в условиях интеграции в экономическое пространство Российской Федерации // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Крымский агротехнологический университет". Серия: Экономические науки. 2014. № 159. С. 343–348.
23. Страчкова Н. В., Яковенко И. М., Гуров С. А. Риски развития туристско-рекреационной отрасли в российском Крыму // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2020. Т. 6, № 3. С. 152–166.
24. Киселев С. Н. Крымская идея. Симферополь: Антиква, 2020. 208 с.
25. Ожегова Л. А., Сикач К. Ю., Ожегов А. Ю. Воссоединение Крыма с Россией: причины и геополитические последствия // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2018. Том 4 (14). Вып. 4. С. 389–394.
26. Социокультурная трансформация регионального развития Крыма / под ред. И.Н. Воронина, А.Б. Швеца. Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. 218 с.
27. Атлас социокультурных процессов в Крыму: Карты / под ред. И.Н. Воронина, И.М. Яковенко, А.Б. Швеца, Д.А. Вольхина. Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2021. 196 с.
28. Вольхин Д. А., Швец А.Б. «Морская составляющая» инкорпорирования Крыма в систему "горизонтальных" связей // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2020. Т. 6. № 3. С. 3–23.
29. Ожегова Л. А., Сикач К. Ю., Воронин И. Н., Воронина А. Б. Географическая модель трансформации хозяйства Крыма в ситуации изменившейся политической реальности // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. Т. 6, № 3. С. 27–42.
30. Швец А. Б. Риски интеграции Крыма в экономическое пространство Юга России // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15), № 2. С. 15–27.
31. Твердохлебов И.Т., Багров Н.В., Дроздов А.М. Южный экономический район / Экономическая география СССР: Районная часть. К., 1984. С. 237–248.
32. Интеграционный комитет «Россия – Донбасс». Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russia-donbass.ru>.
33. Власти Крыма запустили проекты интеграции с Херсонской и Запорожской областями [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/politics/news/2022/06/21/17972396.shtml>.

34. Соглашение о сотрудничестве между Государственным Советом Республики Крым – Парламентом Республики Крым и Народным Советом Донецкой Народной Республики – Парламентом Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dnrsovet.su/soglashenie-o-sotrudnichestve-mezhdu-gosudarstvennym-sovetom-respubliki-krym-parlamentom-respubliki-krym-i-narodnym-sovetom-donetskoj-narodnoj-respubliki-parlamentom-donetskoj-narodnoj-respubliki>.
35. Постановление Совета министров Республики Крым от 24 мая 2023 года № 347 «Об утверждении Соглашения между Советом министров Республики Крым и Администрацией Губернатора и Правительства Запорожской области о торгово-экономическом, научно-техническом и культурном сотрудничестве» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rk.gov.ru/ru/document/show/40320>.
36. Общественные палаты Крыма и ЛНР подписали соглашение о сотрудничестве [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.crimea.kp.ru/online/news/5156282>.
37. Между Севастополем и Херсонской областью подписано соглашение о сотрудничестве в сфере туризма [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea-news.com/other/2023/03/01/1023821.html>.
38. ЛНР, Крым. Футбольные академии Луганска, Алчевска и Республики Крым подписали трехстороннее соглашение о сотрудничестве
39. Севастополь и Мелитополь подписали соглашение о сотрудничестве [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea.ria.ru/20220811/sevastopol-i-melitopol-podpisali-soglashenie-o-sotrudnichestve-1124143096.html>.
40. Четыре муниципалитета Крыма договорились о сотрудничестве с регионами Донбасса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/south-and-north-caucasus/news/chetyre-municipaliteta-kryma-dogovorilis-o-sotrudnichestve-s-regionami-donbassa>.
41. Два города ЛНР и два региона Крыма подписали соглашения о взаимодействии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pervomaysklnr.su/novosti/7157-dva-goroda-lnr-i-dva-regiona-kryma-podpisali-soglashenija-o-vzaimodejstvii.html>.
42. ГУП Республики Крым «Крымский туристский центр». Своих не бросаем: Крым поможет новым субъектам РФ развивать курорты и туризм [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gupkc.ru:8089/2022/10/14/svoih-ne-brosuem-krym-pomozhet-novym-subektam-rf-razvivat-kurorty-i-turizm>.
43. В ЛНР назвали опыт Крыма важным в контексте интеграционных процессов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/1404536/2022-10-03/v-lnr-nazvali-opyt-kryma-vazhnym-v-kontekste-integracionnykh-protcessov>.
44. Крым станет проводником для Донбасса на пути в Россию [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ritmeurasia.org/news--2022-04-07--krym-stanet-provodnikom-dlja-donbassa-na-puti-v-rossiju-59317>.
45. В Херсонской области готовятся завоевать рынок Крыма качеством продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea.ria.ru/20230602/v-khersonskoy-oblasti-gotovyatsya-zavoevat-rynok-kryma-kachestvom-produktsii-1129150388.html>.
46. Как Запорожье и Херсонщина кормят крымчан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea.ria.ru/20230610/kak-zaporozhe-i-khersonschina-kormyat-krymchan-1129271576.html>.
47. Фермеры новых регионов приехали в Крым перенимать опыт крымчан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea.ria.ru/20230311/fermery-novykh-regionov-priekhali-v-krym-pereenimat-opyt-1127483668.html>.
48. Севастопольский госуниверситет начал обучение чиновников с новых территорий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/politika/17489793>.
49. Второй поток управленцев из новых регионов России завершил обучение на базе КФУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cfuv.ru/news/vtorojj-potok-upravlencev-iz-novykh-regionov-rossii-zavershil-obuchenie-na-baze-kfu>.
50. В Крыму прошли переподготовку около 700 учителей из Херсонской и Запорожской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/15608429>.
51. Переподготовку в Крыму пройдут 28 тыс. учителей из Херсонской и Запорожской областей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crimea-news.com/society/2022/07/22/947722.html>.



ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК  
«ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В  
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

52. Первым российским партнером Мелитопольского государственного университета станет Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/56304>.

**POTENTIAL OF THE CRIMEAN SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION  
AS «SHERPA TERRITORIES» IN THE INCORPORATION OF NEW REGIONS  
INTO THE ECONOMIC AND HUMANITARIAN SPACE OF THE COUNTRY**

*Volkhin D. A.*

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: lomden@mail.ru*

The potential and modern role of the Republic of Crimea and Sevastopol in the incorporation of "new regions" into the economic and humanitarian space of Russia has been studied. The directions of their effective interregional cooperation have been determined. The formation of the transport and logistics system as the most important element of horizontal links between regions has been studied. Generating centers of interregional contacts of the Crimean subjects with the Donetsk People's Republic, Zaporizhia region, Luhansk People's Republic and Kherson region have been identified. The substantiation of the role of the Crimean subjects as "Sherpa territories" in the process of incorporation of new Russian regions into the economic and humanitarian space of the country is given.

The greatest intensity of interregional relations is typical in the direction of Crimea–Kherson region and Crimea–Zaporizhia region, in their border and adjacent municipalities. The Donbass republics, due to their remoteness from the peninsula, gravitate towards the economic centers of the Rostov region, which are close in their economic specialization.

The Crimean experience of integration into the socio-economic space of Russia, its territorial proximity to the Kherson and Zaporizhia regions, the DPR and the LPR, and the long period of their interregional interaction within the framework of the single economic space form the potential for embedding these regions into the space of Southern Russia, and Crimea in this process acts as a communication, logistics, distribution center. To the greatest extent, the indicated potential of interregional relations has been realized at the moment in the economic sphere – in the field of agriculture and transport, in the humanitarian sphere – in the field of education, health, recreation and humanitarian assistance.

The potential of the Crimean subjects in the role of "Sherpa territories" in the process of integrating "new regions" into the Russian socio-economic space has not been fully realized. The "Crimean case" of integration into the Russian space should be updated in the field of deepening inter-municipal cooperation, involving new areas of economic activity, which will create a single economic and socio-cultural space in the Russian sector of the Black Sea region.

**Keywords:** interregional cooperation, integration, Crimea, «new regions».

References

1. Neudahin S. B. Rol' organov prokuratury v integracii goroda federal'nogo znacheniya Sevastopolya v pravovoe prostranstvo Rossijskoj Federacii // *Zakonnost'*. 2020. № 1(1023). S. 26–29. (in Russian)
2. ZHukov D. A., Katukova S. YU. Problemy stanovleniya notariata v Respublike Krym i gorode federal'nogo znacheniya Sevastopole // *Nauchnye trudy Severo-Zapadnogo instituta upravleniya RANHiGS*. 2015. T. 6. № 3(20). S. 162–169. (in Russian)
3. Galas M. L. Problemy politicheskoy i social'noj adaptacii krymchan k zhizni v sostave Rossijskoj Federacii // *Vlast'*. 2017. T. 25. № 5. S. 108–116. (in Russian)
4. Zotkin A. A. Pyatiletie "krymskoj vesny" i problemy integracii Kryma v politicheskuyu sistemu Rossii // *Vlast' i elity*. 2019. T. 6. № 2. S. 5–23. (in Russian)
5. Batyrev D. N., Svinareva T. Process integracii obrazovatel'nyh sistem Respubliki Krym i goroda federal'nogo znacheniya Sevastopol' v obrazovatel'noe prostranstvo Rossijskoj Federacii // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Taganrog, 30 iyunya 2015 goda / Nauchnyj red. YU. V. Mamchenko. Taganrog: Izdatel'stvo "Pero", 2015. S. 93–95. (in Russian)*
6. Kiselev S. N., Kiseleva N. V., YAKovlev A. N. Social'nye riski effektivnogo integrirvaniya Kryma v prostranstvo Rossijskoj Federacii // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2021. T. 7. № 3. S. 33–46.
7. Lubskij A. V. Modal'nye modeli social'nogo povedeniya i osobennosti social'noj integracii Kryma v mental'noe mnogoobrazie rossijskogo sociuma // *Gumanitarij YUga Rossii*. 2018. T. 7. № 3. S. 60–76. (in Russian)
8. Demeshko N. E. Rossiya i krymskie tatory: uroki istorii i vzglyad v budushchee // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Filosofiya. Politologiya. Kul'turologiya*. 2018. T. 4 (70). № 3. S. 57–69. (in Russian)
9. Cenyushkina T. A. Vossoedinenie Kryma s Rossiej kak etnopoliticheskij process // *Politicheskaya ekspertiza: POLITEKS*. 2015. T. 11. № 4. S. 75–91. (in Russian)
10. CHigrin V. A. Osobennosti integracii etnosov Kryma v rossijskij politicheseskij socium // *Gumanitarij YUga Rossii*. 2016. T. 20. № 4. S. 84–94. (in Russian)
11. Egorova L. G. Formirovanie prostranstva pechatnyh media Sevastopolya v novyh usloviyah // *Nauchnyj dialog*. 2018. № 7. S. 114–124. (in Russian)
12. Platonova A. V., Osipova E. A. Integraciya elektronnyh massmedia Kryma v rossijskoe informacionnoe prostranstvo // *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki*. 2018. T. 37. № 1. S. 84–93. (in Russian)
13. Gapizov Z. R. Civilizacionnyj identitet naseleniya Kryma kak faktor integracii v rossijskoe prostranstvo // *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik*. 2021. № 85. S. 189–210. (in Russian)
14. Kiselev S. N. "Pyat' postulatov krymskogo regionalizma": dvadcat' let spustya / S. N. Kiselev // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2019. T. 5 (15). № 1. S. 34–38. (in Russian)
15. Miheeva I. V., Loginova A. S., Skiperskih A. V. Integraciya Kryma v sostav Rossii: "cena" voprosa // *Sravnitel'naya politika*. 2017. T. 8. № 4. (in Russian)
16. Vol'hin D. A. Transformaciya ekonomicheskoy bezopasnosti Kryma v usloviyah integracii v rossijskoe social'no-ekonomicheskoe prostranstvo // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2019. T. 5 (15). № 2. S. 79–91. (in Russian)
17. Voronin I. N. Integraciya ekonomiki Kryma v social'no-ekonomicheskoe prostranstvo Rossii: itogi pervoj pyatiletki // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2019. T. 5 (15). № 2. S. 5–14. (in Russian)

ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК  
«ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В  
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

18. Kurbanov A. N., Pahomov V. I., Plotnikov V. A. Integraciya ekonomiki Kryma v rossijskuyu ekonomicheskuyu sistemu: sostoyanie i perspektivy // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2014. № 4(88). S. 29–37. (in Russian)
19. Selyutin V. V. Problemy social'no-ekonomicheskoy integracii Kryma i Rossii // *Nauka YUga Rossii*. 2016. T. 12. № 3. S. 111–121. (in Russian)
20. Analiz tendencij social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Krym: monografiya / pod red. YU.P. Majdanevich. Simferopol': POLIPRINT, 2019. 362 s. (in Russian)
21. SHerkashina E. V. Process integracii Respubliki Krym v rossijskoe ekonomicheskoe prostranstvo kak stimul razvitiya efiromaslichnoj i lekarstvennoj otrasli strany // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 2. S. 452. (in Russian)
22. Krajnyuk M. M. Perspektivy razvitiya vinogradarstva i vinodeliya Respubliki Krym v usloviyah integracii v ekonomicheskoe prostranstvo Rossijskoj Federacii // *Nauchnye trudy YUzhnogo filiala Nacional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovaniya Ukrainy "Krymskij agrotekhnologicheskij universitet"*. Seriya: Ekonomicheskie nauki. 2014. № 159. S. 343–348. (in Russian)
23. Strachkova N. V., YAkovenko I. M., Gurov S. A. Riski razvitiya turistsko-rekreacionnoj otrasli v rossijskom Krymu // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2020. T. 6, № 3. S. 152–166. (in Russian)
24. Kiselev S. N. Krymskaya ideya. Simferopol': Antikva, 2020. 208 s. (in Russian)
25. Ozhegova L. A., Sikach K. YU., Ozhegov A. YU. Vossoedinenie Kryma s Rossiej: prichiny i geopoliticheskie posledstviya // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2018. Tom 4 (14). Vyp. 4. S. 389–394. (in Russian)
26. Sociokul'turnaya transformaciya regional'nogo razvitiya Kryma / pod red. I.N. Voronina, A.B. SHvec. Simferopol': Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2022. 218 s. (in Russian)
27. Atlas sociokul'turnyh processov v Krymu: Karty / pod red. I.N. Voronina, I.M. YAkovenko, A.B. SHvec, D.A. Vol'hina. Simferopol': Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2021. 196 s. (in Russian)
28. Vol'hin D. A., SHvec A.B. «Morskaya sostavlyayushchaya» inkorporirovaniya Kryma v sistemu "gorizontal'nyh" svyazej // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2020. T. 6. № 3. S. 3–23. (in Russian)
29. Ozhegova L. A., Sikach K. YU., Voronin I. N., Voronina A. B. Geograficheskaya model' transformacii hozyajstva Kryma v situacii izmenivshejsya politicheskoy real'nosti // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2020. T. 6, № 3. S. 27–42. (in Russian)
30. SHvec A. B. Riski integracii Kryma v ekonomicheskoe prostranstvo YUga Rossii // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2019. T. 5 (15), № 2. S. 15–27. (in Russian)
31. Tverdohlebov I.T., Bagrov N.V., Drozdov A.M. YUzhnyj ekonomicheskij rajon / *Ekonomicheskaya geografiya SSSR: Rajonnaya chast'. K.*, 1984. S. 237–248. (in Russian)
32. Integracionnyj komitet «Rossiya – Donbass». Oficial'nyj sajt [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://russia-donbass.ru>.
33. Vlasti Kryma zapustili proekty integracii s Hersonskoj i Zaporozhskoj oblastyami [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.gazeta.ru/politics/news/2022/06/21/17972396.shtml>.
34. Soglasenie o sotrudnichestve mezhdru Gosudarstvennym Sovetom Respubliki Krym – Parlamentom Respubliki Krym i Narodnym Sovetom Doneckoj Narodnoj Respubliki – Parlamentom Doneckoj Narodnoj Respubliki [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://dnrsovet.su/soglasenie-o-sotrudnichestve-mezhdu-gosudarstvennym-sovetom-respubliki-krym-parlamentom-respubliki-krym-i-narodnym-sovetom-donetskoj-narodnoj-respubliki-parlamentom-donetskoj-narodnoj-respubliki>.

35. Postanovlenie Soveta ministrov Respubliki Krym ot 24 maya 2023 goda № 347 «Ob utverzhdenii Soglasheniya mezhdru Sovetom ministrov Respubliki Krym i Administraciej Gubernatora i Pravitel'stva Zaporozhskoj oblasti o torgovo-ekonomicheskom, nauchno-tekhnicheskom i kul'turnom sotrudnichestve» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://rk.gov.ru/ru/document/show/40320>.
36. Obshchestvennye palaty Kryma i LNR podpisali soglasenie o sotrudnichestve [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.crimea.kp.ru/online/news/5156282>.
37. Mezhdru Sevastopolem i Hersonskoj oblast'yu podpisano soglasenie o sotrudnichestve v sfere turizma [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea-news.com/other/2023/03/01/1023821.html>.
38. LNR, Krym. Futbol'nye akademii Luganska, Alchevska i Respubliki Krym podpisali trekhstoronnee soglasenie o sotrudnichestve
39. Sevastopol' i Melitopol' podpisali soglasenie o sotrudnichestve [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea.ria.ru/20220811/sevastopol-i-melitopol-podpisali-soglasenie-o-sotrudnichestve-1124143096.html>.
40. CHetyre municipaliteta Kryma dogovorilis' o sotrudnichestve s regionami Donbassa [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.interfax-russia.ru/south-and-north-caucasus/news/chetyre-municipaliteta-kryma-dogovorilis-o-sotrudnichestve-s-regionami-donbassa>.
41. Dva goroda LNR i dva regiona Kryma podpisali soglasheniya o vzaimodejstvii [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://pervomaysklnr.su/novosti/7157-dva-goroda-lnr-i-dva-regiona-kryma-podpisali-soglasheniya-o-vzaimodejstvii.html>.
42. GUP Respubliki Krym «Krymskij turistskij centr». Svoih ne brosaem: Krym pomozhet novym sub"ektam RF razvivat' kurorty i turizm [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://gupkrc.ru:8089/2022/10/14/svoih-ne-brosaem-krym-pomozhet-novym-subektam-rf-razvivat-kurorty-i-turizm>.
43. V LNR nazvali opyt Kryma vazhnym v kontekste integracionnyh processov [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://iz.ru/1404536/2022-10-03/v-lnr-nazvali-opyt-kryma-vazhnym-v-kontekste-integracionnykh-processov>.
44. Krym stanet provodnikom dlya Donbassa na puti v Rossiju [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.ritmeurasia.org/news--2022-04-07--krym-stanet-provodnikom-dlja-donbassa-na-puti-v-rossiju-59317>.
45. V Hersonskoj oblasti gotovyatsya zavoevat' rynek Kryma kachestvom produkcii [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea.ria.ru/20230602/v-khersonskoy-oblasti-gotovyatsya-zavoevat-rynek-kryma-kachestvom-produkcii-1129150388.html>.
46. Kak Zaporozh'e i Hersonschina kormyat krymchan [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea.ria.ru/20230610/kak-zaporozhe-i-khersonschina-kormyat-krymchan-1129271576.html>.
47. Fermery novyh regionov priekhali v Krym perenimat' opyt krymchan [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea.ria.ru/20230311/fermery-novykh-regionov-priekhali-v-krym-perenimat-opyt-1127483668.html>.
48. Sevastopol'skij gosuniversitet nachal obuchenie chinovnikov s novyh territorij [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://tass.ru/politika/17489793>.
49. Vtoroj potok upravlenцев iz novyh regionov Rossii zavershil obuchenie na baze KFU [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://cfuv.ru/news/vtorojj-potok-upravlenцев-iz-novykh-regionov-rossii-zavershil-obuchenie-na-baze-kfu>.
50. V Krymu proshli perepodgotovku okolo 700 uchitelej iz Hersonskoj i Zaporozhskoj oblasti [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://tass.ru/obschestvo/15608429>.

ПОТЕНЦИАЛ КРЫМСКИХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК  
«ТЕРРИТОРИЙ-ШЕРПОВ» В ИНКОРПОРИРОВАНИИ НОВЫХ РЕГИОНОВ В  
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ГУМАНИТАРНОЕ ПРОСТРАНСТВО СТРАНЫ

---

51. Perepodgotovku v Krymu projdut 28 tys. uchitelej iz Hersonskoj i Zaporozhskoj oblastej [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://crimea-news.com/society/2022/07/22/947722.html>.
52. Pervym rossijskim partnerom Melitopol'skogo gosudarstvennogo universiteta stanet Krymskij federal'nyj universitet im. V.I. Vernadskogo [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/56304>.

*Поступила в редакцию 28.08.2023 г.*

**РАЗДЕЛ 3.  
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ  
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ**

*УДК 504.03*

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ  
БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

*Линёва Н. П.<sup>1,2</sup>, Табунищик В. А.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь,  
Российская Федерация*

*E-mail: tim4enko.zin@yandex.ru*

<sup>2</sup>*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь,  
Российская Федерация*

*E-mail: tabunshchik@ya.ru*

<sup>3</sup>*ФГБНУ «Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии», г.  
Херсон*

*E-mail: <sup>1</sup>tim4enko.zin@yandex.ru, <sup>3</sup>tabunshchik@ya.ru*

В работе использовались данные программ наблюдения за земной поверхностью: Land Cover Climate Change Initiative (CCI), Esri Land Cover и ESA WorldCover, что позволило определить как временную динамику наземного покрова с 1992 г., так и получить распределение его типов на исследуемой территории в настоящее время. Было выяснено, что, несмотря на преобладание в пределах верховьев бассейна р. Салгир более относительно естественных типов наземного покрова – древесной растительности и лугов, значительно увеличилась площадь застроенных территорий в долине реки на фоне сокращения территорий с естественной растительностью и сельскохозяйственных земель.

**Ключевые слова:** наземный покров, бассейн реки, Крымский полуостров, Салгир.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время ландшафты изменяются под воздействием комплекса факторов, включая, как процессы естественного развития, так и многостороннего антропогенного преобразования, что может ставить под угрозу устойчивость природных систем, составляющих среду обитания человеческого общества. Информация о динамике наземного покрова в пределах определенной территории играет важную роль для принятия управленческих решений в сторону компромисса между социально-экономическим развитием общества и сохранением природных систем.

Исходя из определения, данного Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО), наземный покров — это наблюдаемый (био)физический покров на земной поверхности, который содержит описание растительности и антропогенных объектов [17].

Изучение динамики наземного покрова с использованием данных дистанционного зондирования является передовым методом, поскольку позволяет получать огромный объем данных об объекте исследования менее трудозатратным

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

способом, охватывать большие территории, для которых в ином случае приходилось бы задействовать группу исследователей и проводить долговременные исследования, а также поддерживать непрерывные временные ряды данных о состоянии ландшафтов [24].

Дистанционное зондирование Земли в последние годы все чаще используется для выявления и анализа изменений в области землепользования и преобразования земель [16]. В свою очередь изменение наземного покрова отражается на других природных процессах и явлениях, в частности эти данные используются в контексте построения гидрологических [7, 24], климатических моделей [19, 23], для исследований биоразнообразия [12, 13] и круговорота углерода [11, 14, 27]. Также в последнее время уделяется особое внимание рассмотрению экосистемных услуг в зависимости от наземного покрова и на фоне его изменения [6, 20]. Поэтому исследование наземного покрова в пределах исследуемой территории служит базисом для решения различных научных задач. В связи с этим было создано множество программ наблюдения за земной поверхностью, регистрировавших данные о наземном покрове. Выделение различных типов наземного покрова основано на анализе мультиспектральных комических снимков (Landsat, Sentinel, MODIS и др.). Оценке точности получаемых данных посвящено большое число работ, а также имеются научные публикации, рассматривающие верификацию данных различных программ наблюдения [8, 9].

Для бассейнов рек, являющихся природно-географической целостной системой с одной стороны, и подвергающихся огромному антропогенному влиянию с другой, часто проводится исследование наземного покрова и его изменений [10, 15, 22, 25].

Что касается российских исследований в области выделения наземного покрова, то в основном распространены работы регионального характера [18, 21, 28]. Для Крымского полуострова проводились некоторые исследования, в частности классификация наземного покрова территории Керченского полуострова с использованием различных методов машинного обучения [26]. Также использовались данные программ наблюдения за земной поверхностью для оценки динамики наземного покрова рек северо-западного склона Крымских гор [4].

*Цель работы* — проанализировать динамику изменения типов наземного покрова в пределах верховьев бассейна р. Салгир на основании открытых данных различных программ наблюдения за Землей из космоса.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Территорией исследования являются верховья водосборного бассейна реки Салгир. Площадь территории составляет 307,3 км<sup>2</sup> (рис. 1). Водосборный бассейн реки Салгир граничит на юго-востоке с бассейнами рек Южного берега Крыма, на юго-западе с бассейном р. Альмы и Западный Булганак. В пределах южной границы водосборного бассейна расположена Главная гряда Крымских гор, включая в себя горные массивы — на юго-западе Чатырдаг, Демерджи, далее к северу Долгоруковская яйла. На северо-западе исследуемая территория заканчивается

плотиной Симферопольского водохранилища. Истоком реки Салгир считается место слияния двух рек Ангара и Кизил-Коба, длина — 204 км, что делает её самой большой речной системой Крыма. В пределах исследуемой части водосборного бассейна река и её притоки имеют вид горных потоков с большим падением, большими скоростями, узкими долинами, склоны которых сливаются со склонами прилегающей местности. На данной территории в р. Салгир впадают в основном левобережные притоки — (Ангара, Аян, Хараб-Тавель, Аратук, Джума, б. Курцы) [2]. Самая высокая точка исследуемой территории — 1451 м н.у.м., самая низкая — 278 м н.у.м.

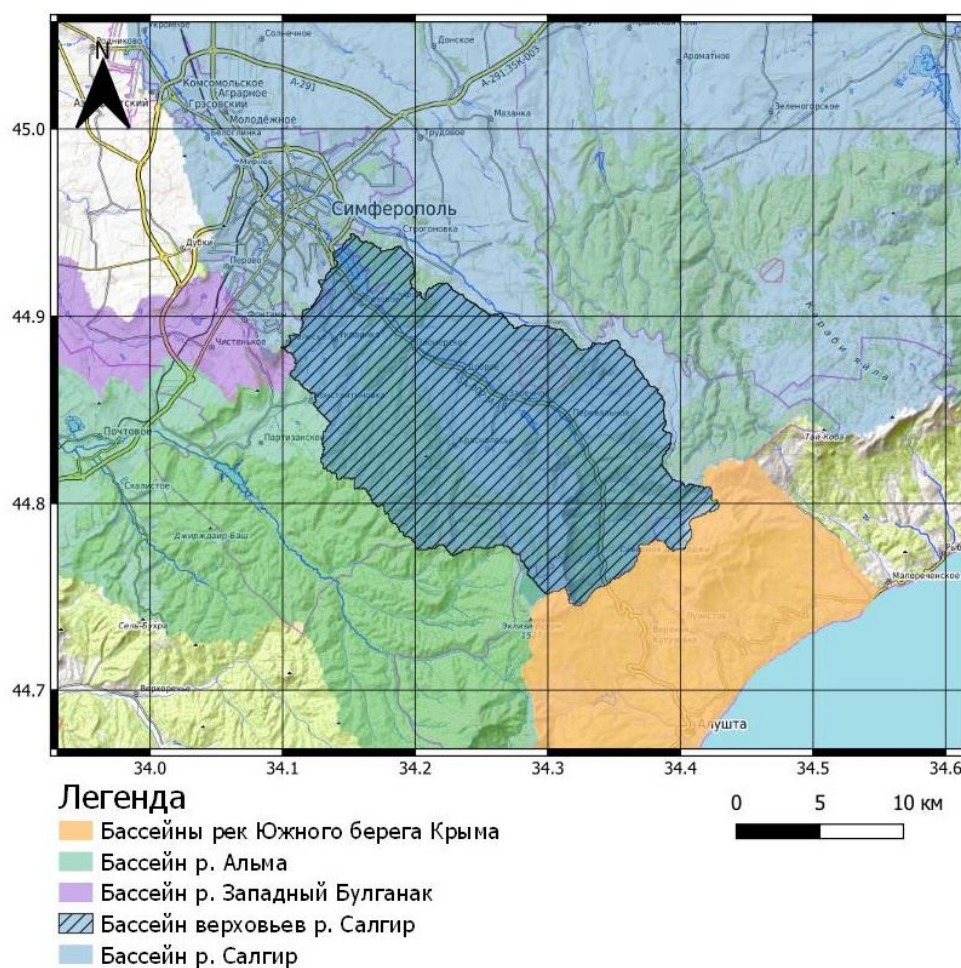


Рис. 1. Расположение исследуемой территории (верховья бассейна реки Салгир)

На территории верховьев водосборного бассейна р. Салгир несколько поясов растительности сменяют друг друга с севера на юг: лесостепи (луговые типчакowo-ковыльные степи с участками кустарниковых и лесных сообществ из порослевого



## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

дуба пушистого и грабинника), пояс лесных сообществ из дуба пушистого и дуба скального в сочетании с грабинником и кизилом, пояс буковых и буково-грабовых лесов. Поверхность горных массивов занимают луговые и петрофитные степи с участием типчака, ковыля, дубровника, тимьяна и др. [3]. Почвенный покров формируют на поверхностях яйл горно-луговые почвы, на северном макросклоне под буковыми, дубовыми и смешанными лесами – бурые горные лесные почвы. С понижением высоты могут встречаться черноземы предгорные и дерново-карбонатные почвы. В долине р. Салгир и её притоков распространены аллювиальные, а также в понижениях при близком залегании грунтовых вод — луговые почвы [1].

Для анализа динамики наземного покрова в пределах территории исследования использовались открытые данные, полученные в результате различных программ космического наблюдения за земной поверхностью. Для исследуемой территории были выбраны три наиболее подходящие модели типов земельного покрова:

### 1. ESA WorldCover (<https://esa-worldcover.org/en>)

Эта модель глобального уровня разработана на основе данных спутников Sentinel-1 и Sentinel-2 и предоставляет информацию о наземном покрове за 2020 и 2021 г. При этом имеет пространственное разрешение 10 м. Ключевой характеристикой карт на основе ESA WorldCover является улучшенная детализация, к примеру хорошо выделяются отдельно дорожная сеть и зеленые зоны городских территорий. Однако, учитывая всего лишь двухлетний период наблюдений (2020 - 2021 гг.), этот набор не подходит для изучения динамики наземного покрова.

### 2. Land Cover Climate Change Initiative (<http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>)

Имеет самый большой объем данных, с 1992 г. по 2020 г и характеризуется пространственным разрешением в 300 м. Обладает наиболее расширенной легендой — выделяется 36 типов наземного покрова. Создание этого набора данных было инициировано Европейским космическим агентством в ходе программы глобального мониторинга в области изменения климата, поскольку космические наблюдения предоставляют уникальную информацию, которая в значительной степени помогает отслеживать изменение климата и территории в целом.

### 3. Esri Land Cover (<https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>)

Обладает высоким пространственным разрешением — 10 м, построено на основе данных спутниковых снимков Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA), потому может представить наиболее точные данные для исследуемой территории, однако наблюдения охватывают небольшой промежуток времени — с 2017 г.

Эта модель классификации наземного покрова использует искусственный интеллект, усовершенствованный за счет объединения огромного обучающего набора данных. Проект выполнялся в сотрудничестве ESRI с технологической компанией Impact Observatory и корпорацией Microsoft. Выделяется 10 типов наземного покрова.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализируем структуру и динамику наземного покрова в пределах верховьев бассейна р. Салгир, используя данные рассмотренных моделей.

Набор ESA WorldCover (рис. 1, табл. 1). Несмотря на то, что этот набор данных не позволяет проанализировать динамику наземного покрова, его ценностью является более высокая точность выделения типов наземного покрова на территории, что подтверждается результатами исследований [8].

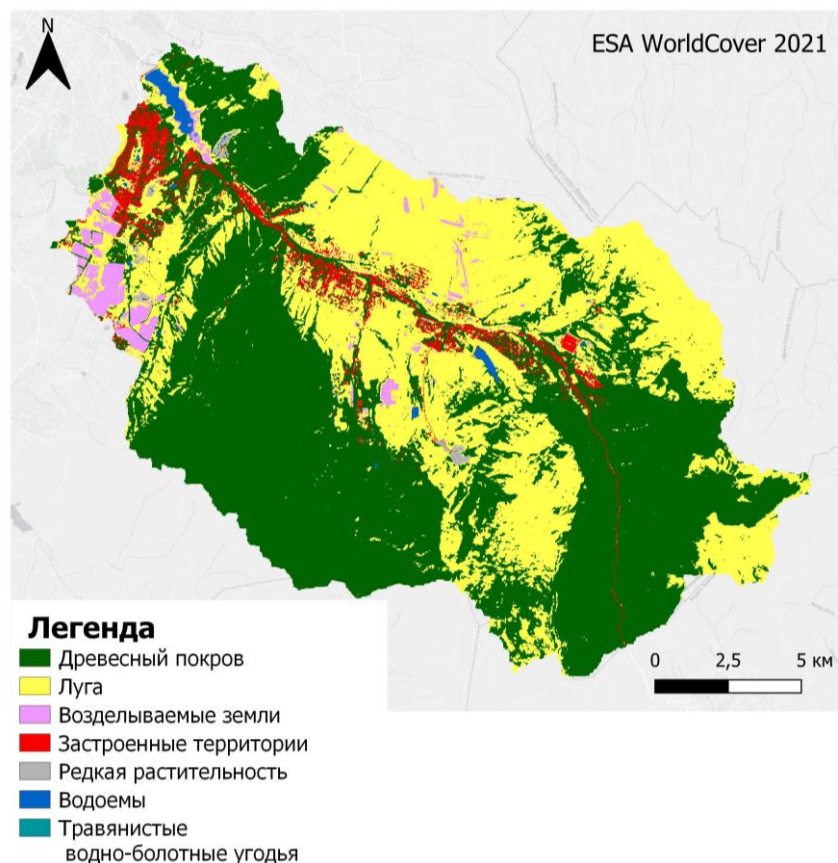


Рис. 2. Типы наземного покрова по набору данных ESA WorldCover в пределах верховьев бассейна р. Салгир

Древесный покров преобладает на данной территории, его площадь составляет 55,2%, что больше, чем заявляется наборами данных Land Cover CCI (37,9%) и ESRI Land Cover (45,8%). Далее распространены земли, занятые травянистой растительностью (37,7%). Застроенные территории занимают 3,6% территории,

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

практически совпадая со значениями в CCI Land Cover (3,5%), в то время как по данным ESRI Land Cover они составляют 13,6%.

Таблица 1.

Распределение типов наземного покрова (км<sup>2</sup>) в пределах верховьев бассейна  
р. Салгир по набору данных ESA WorldCover

Тип наземного покрова	Древесный покров	Луга	Возделываемые земли	Застроенные территории	Редкая растительность	Водоемы
Площадь, км <sup>2</sup>	174,69	119,67	7,54	11,52	1,41	1,88

Эти различия в площадях типов наземного покрова среди представленных наборов данных объясняются тем, что для ESA WorldCover свойственна более высокая точность выделения границ лесных массивов, учитываются зеленые насаждения в населенных пунктах, отчетливо разделяется дорожно-транспортная сеть, что особенно важно, учитывая строительство отрезка трассы «Таврида», отчасти проходящей в пределах исследуемой территории. Также более точно определены участки поверхности, практически не занятой растительностью, которые для этой территории представлены карьерами.

Следующий набор данных — Land Cover Climate Change Initiative (CCI) (рис. 3, 4).

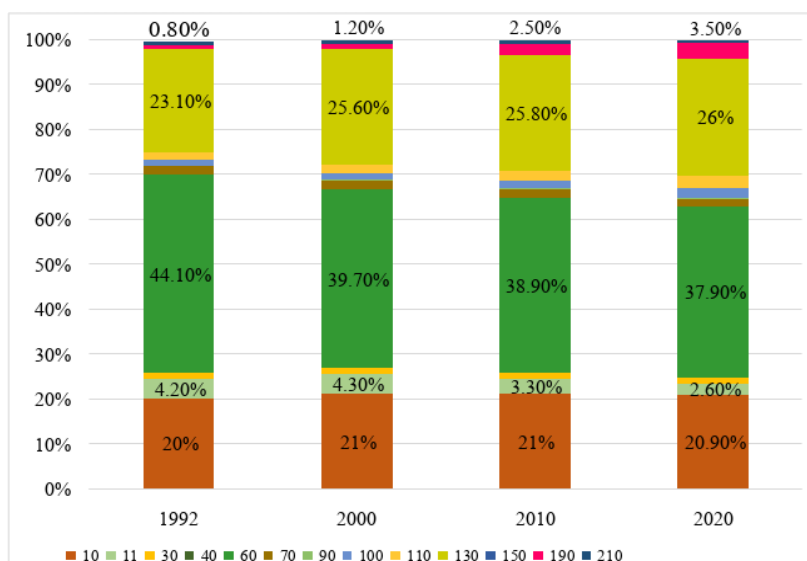


Рис. 3. Изменение площади типов наземного покрова по набору данных Land Cover CCI в пределах верховьев бассейна р. Салгир с 1992 по 2020 г., в %:

10 — пахотные земли; 30 — мозаичные пахотные земли (>50 %) / естественная растительность (деревья, кустарники, травянистый покров) (<50 %); 11 — травянистый покров; 30 — мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травянистый покров) (<50%); 40 — мозаичная естественная растительность (деревья, кустарники, травянистый покров) (>50 %) / пахотные земли (<50 %); 60 — древесный покров, широко-лиственный, лиственный, закрытый или открытый (>15 %), 70 — древесный покров, хвойный, вечнозеленый, закрытый или открытый (>15 %); 90 — древесный покров, смешанный тип листьев (широколиственный и хвойный); 100 – мозаичные деревья и кустарники (>50 %) / травянистый покров (<50 %); 110 — мозаичный травянистый покров (>50 %) / деревья и кустарники (<50 %); 130 — луга; 150 — редкая растительность (деревья, кустарники, травянистый покров) (<15 %); 190 — селитебные территории; 210 — водные объекты.

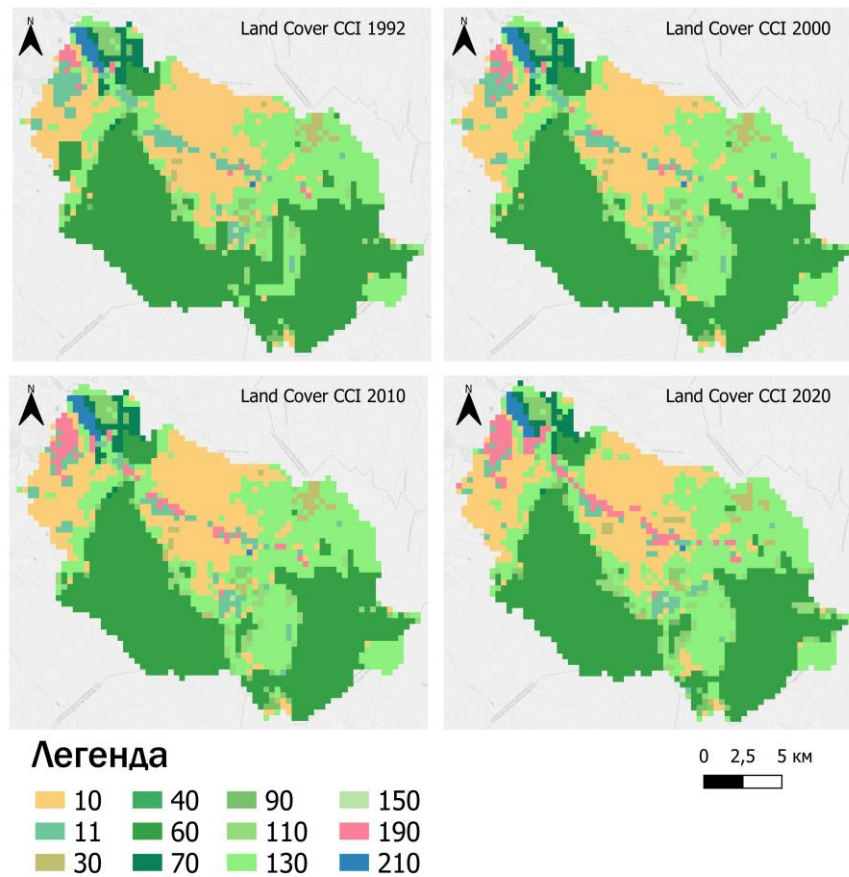


Рис. 4. Динамика типов наземного покрова по набору данных Land Cover CCI в пределах верховьев бассейна р. Салгир в 1992-2020 гг. (условные обозначения смотреть к рисунку 3)

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

---

Ввиду более низкого пространственного разрешения данные Land Cover CCI являются более обобщенными, однако охватывают больший период, с 1992 г. по 2020 г., и обладают расширенной легендой для растительного покрова. В структуре наземного покрова были отмечены следующие изменения. За этот период водосборный бассейн затронули процессы активной застройки — площади под селитебными территориями увеличились в 4,4 раза. В тоже время происходило сокращение древесного покрова — на 14% для широколиственных лесов, на 16% для игольчатых, и увеличение площади, занятой лугами (травянистой непахотной растительностью) на 11%. В основном, сокращение площади лесов происходило в период с 1992 г. по 2000 г. — на 10% для широколиственных лесов. В тоже время территории с мозаичным покровом из травянистых растений, деревьев и кустарников увеличили свою площадь почти в 2 раза. В период с 2010 года наметилась тенденция уменьшения площади пахотных земель.

Такие изменения площади различных типов наземного покрова вызваны следующими причинами. Изначально мягкий климат и плодородные долинные земли обусловили садоводческую и огородную хозяйственную направленность использования территории. Но в 1990-е годы перестройка социально-экономических отношений вызвала, помимо падения промышленного производства, уменьшение площадей пашни, садов и виноградников. В последующий же временной период продолжалось возвращение депортированных народов, возросло строительство новых поселений, увеличение дачных поселков, в том числе на территории водоохраных зон, пойменных землях. В качестве места расселения долина р. Салгир имеет выгодное природно-географическое и экономическое положение, а именно наличие вдоль долины реки трассы Симферополь-Ялта, соответственно транспортная доступность, а также благоприятные природно-климатические условия, удаленность от экологических проблем, сопутствующих крупным городам. Таким образом, сельские населенные пункты формируют агломерацию, объединенную интенсивными хозяйственными, трудовыми, культурно-бытовыми и рекреационными связями. Это стало причиной уменьшения площадей, занятых садами, создало дополнительный фактор загрязнения рек, а также способствовало сокращению выполнения речными долинами функций экологических коридоров [5]. Сокращение площади лесных территорий также обусловлено ситуацией 1990-х годов, когда в связи ухудшением благосостояния населения произошло увеличение незаконной эксплуатации лесных ресурсов (в частности вырубка лесополос), объектов растительного и животного мира в целом.

Набор Esri Land Cover. Данные Esri Land Cover охватывают меньший промежуток времени (с 2017 г.), однако обладают более высоким пространственным разрешением, что позволяет точнее, чем набор Land Cover CCI, выявить структуру землепользования (табл. 2, рис. 5).

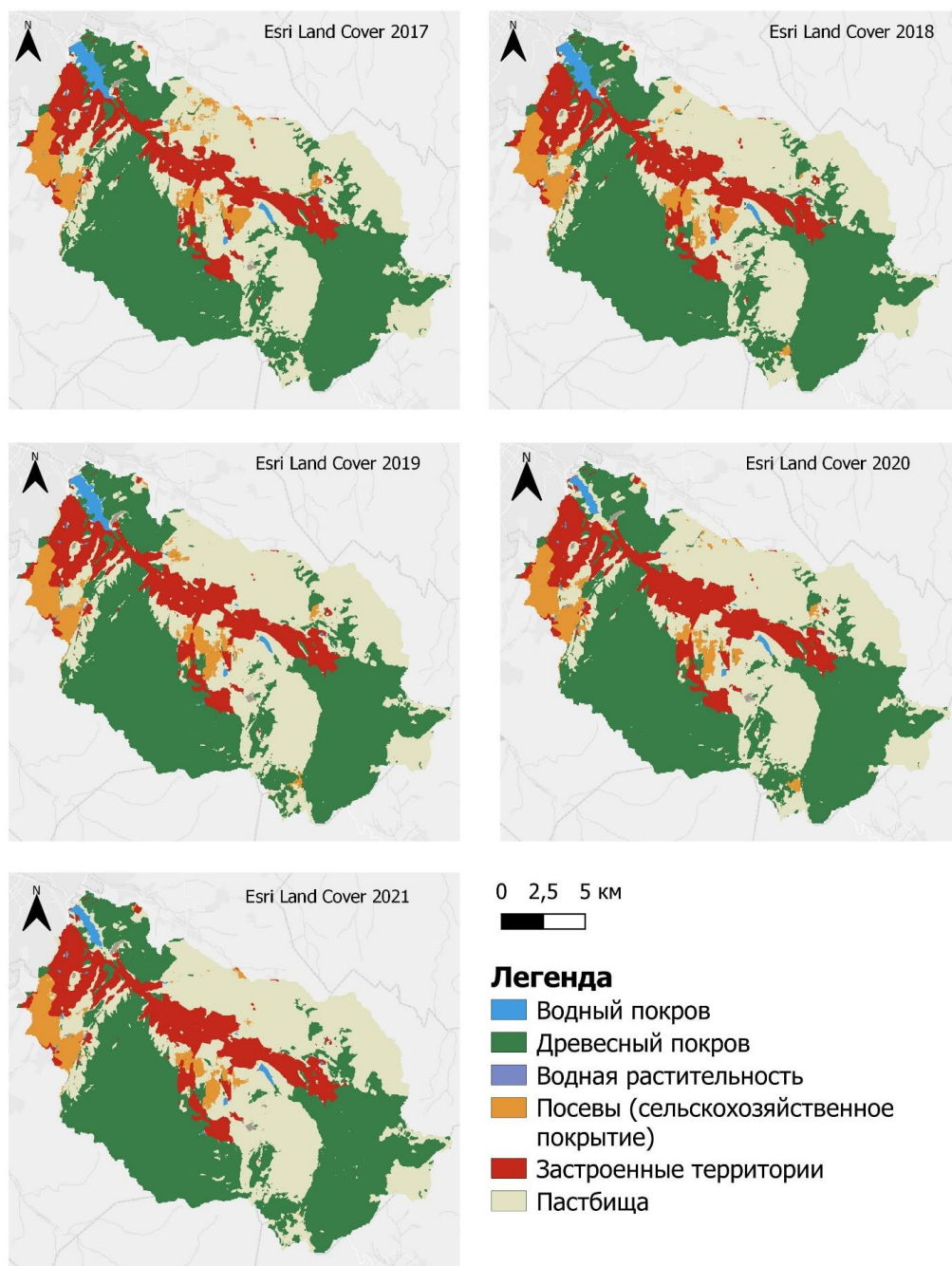


Рис. 5. Динамика типов наземного покрова по набору данных Esri Land Cover в пределах верховьев бассейна реки Салгир в 2017–2021 гг.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ  
БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Таблица 2.

Динамика распределения типов наземного покрова (км<sup>2</sup>) в пределах верховьев бассейна р. Салгир по набору данных Esri Land Cover

Типы наземного покрова	Площадь различных типов наземного покрова, км <sup>2</sup>				
	2017	2018	2019	2020	2021
Водный покров	3,8	3,7	3,4	2,0	2,2
Древесный покров	144,3	146,2	141,6	141,5	140,5
Водная растительность	0,001	-	-	0,002	0,001
Посевы (сельскохозяйственные территории)	15,4	15,2	14,0	13,7	12,2
Застроенные территории	38,1	39,7	40,3	41,3	41,7
Территории, не занятые растительным покровом	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7
Луга (травянистая непахотная растительность)	105,0	101,7	107,1	108,0	109,8

Стоит отметить, что этот набор данных зафиксировал изменения площади поверхности водохранилищ в маловодные 2019 и 2020 годы. Среди типов наземного покрова в пределах исследуемой территории преобладает древесный покров (46%). Лесные ландшафты водосборного бассейна выполняют важнейшие средообразующие функции, играют водорегулирующую роль, уменьшая суммарный поверхностный и внутрипочвенный сток, выравнивая его по сезонам года. Учитывая горный рельеф территории, леса также имеют огромное почвозащитное значение, снижая возможность возникновения эрозионных процессов, селевых потоков. Однако даже за четырехлетний период наблюдений отмечается сокращение площади лесов, что является негативной тенденцией. Луга составляют 36% и площадь, занятая этим типом наземного покрова, увеличивается. К ним относятся как вершины яйл, сравнительно представляющие собой более естественные сообщества, так и производная травянистая растительность, например, на месте бывших сельскохозяйственных угодий. В течение наблюдаемого периода также увеличивается площадь застроенных территорий, что было отмечено еще с 1992 г. по вышеизложенным данным, и на 2021 г. рост составляет почти 14%.

Исследование динамики наземного покрова проводилось также для бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор [4], где выражены те же тенденции к увеличению площади селитебных территорий за счет сокращения сельскохозяйственных земель и древесного покрова, однако в пределах верховьев бассейна р. Салгир наблюдается более значительный рост застроенных земель - в 4,4 раза, в то время как среди других исследованных бассейнов наибольший рост был выявлен в бассейне р. Черная — в 3,8 раза.

## ВЫВОДЫ

Исследование наземного покрова с использованием открытых программ наблюдения за земной поверхностью позволяет получить первичное представление о растительном покрове и выраженных застроенными территориями антропогенных элементах на данном участке земной поверхности, что может послужить базовой информацией для выявления структуры землепользования, и отслеживать тенденции изменения ландшафтов, вызванных как природными, так и антропогенными факторами.

По итогам анализа нескольких наборов данных о наземном покрове и его динамике были сделаны следующие выводы. В настоящее время в пределах верховьев бассейна р. Салгир преобладает древесный тип наземного покрова, а также земли, занятые травянистой растительностью. С 1992 г. было отмечено увеличение антропогенного воздействия за счет расширения территории населенных пунктов в районе долины реки, что сопровождалось сокращением сельскохозяйственных земель, а также естественного растительного покрова.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках реализации тем госзаданий № 123101900019-5 и № 121040100327-3.

## Список литературы:

1. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. Симферополь: ДОЛЯ, 2004. 208 с.
2. Олиферов А. Н. Реки и озера / А. Н. Олиферов, З.В. Тимченко. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.
3. Растительный мир. Серия «Природа Крыма» / Н.И. Рубцов, Л.В. Махаева, М.С Шалыг, И.Н Котова. Симферополь: Крым, 1964. 124 с.
4. Табунщик В. А., Горбунов Р. В. Динамика типов наземного покрова (land cover) в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор // Геология, география и глобальная энергия. 2022. №3 (86). С. 78–88.
5. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке - начале XXI века / под ред. В.А. Бокова. Симферополь: ДОЛЯ, 2010. 304 с.
6. Appraisal of Empirical Studies on Land-Use and Land-Cover Changes and Their Impact on Ecosystem Services in Nepal Himalaya / МК. Rai, В. Paudel, Y. Zhang [et al.] // Sustainability. 2023. Vol. 15(9). P. 7134. (in Russian).
7. Arsiso В.К., Mengistu Tsidu G. Land Use and Land Cover Change Modulates Hydrological Flows and Water Supply to Gaborone Dam Catchment, Botswana // Water. 2023. Vol. 15(19). P. 3364.
8. Assessing the Accuracy and Consistency of Six Fine-Resolution Global Land Cover Products Using a Novel Stratified Random Sampling Validation Dataset / T. Zhao, X. Zhang, Y. Gao, [et al.] // Remote sensing. 2023. Vol. 15(9). P. 2285.
9. Consistency Analysis and Accuracy Evaluation of Multi-Source Land Cover Data Products in the Eastern European Plain / G. Jiang, J. Wang, K. Li [et al.] // Remote Sensing. 2023. Vol. 15(17). P. 4254.
10. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Ko-shi River Basin, Eastern Nepal / В. Rimal, R. Sharma, R. Kunwar [et al.] // Ecosystem services. 2019. Vol. 38. P. 100963.
11. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling / M. Jung, K. Henkel. M. Herold, G. Churkina // Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 101, № 4. pp. 534-553.



АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ  
БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

12. Falcucci, A. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation / A. Falcucci, L. Maiorano, L. Boitani // *Landscape Ecology*. 2007. Vol. 22. pp. 617–631.
13. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation / W. Turner, C. Rondinini, N. Pettorelli [et al.] // *Biological Conservation*. 2015. Vol. 182. pp. 173–176.
14. High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle / K. Brinck, R. Fischer, J. Groeneveld [et al.] // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. P. 14855.
15. Jia, S. Spatiotemporal Characteristics and Driving Factors of Land-Cover Change in the Heilongjiang (Amur) River Basin / S. Jia, Y. Yang // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15(15). P. 3730.
16. Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface / G. Garik, A. Janetos, C. Justice [et al.]. New York: Springer Science & Business Media, 2007. 459 p.
17. Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual // FAO.ORG URL: [https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm#P-1\\_0](https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm#P-1_0) (дата обращения 11.10.2023).
18. Land use and land cover change in Arctic Russia: Ecological and social implications of industrial development / T. Kumpula, A. Pajunen, E. Kaarlejärvi [et al.] // *Global Environmental Change*. 2011. Vol. 21. pp 550–562.
19. Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence / R.A. Pielke sr, A. Pitman, D. Niyogi, [et al.] // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2011. Vol. 2, № 6. pp. 828–850.
20. Linking Flood Risk Mitigation and Food Security: An Analysis of Land-Use Change in the Metropolitan Area of Rome / D. Marino, M. Palmieri, A. Marucci [et al.] // *Land*. 2023. Vol. 12(2). P. 366.
21. Milanova, E. Land use/cover change in Russia within the context of global challenges. / E. Milanova // *Romanian Journal of Geography*. 2012. Vol. 56. pp. 105–116.
22. Satellite-Based Mapping of Gold-Mining-Related Land-Cover Changes in the Magadan Region, Northeast Russia / A. Shikhov, P. Ilyushina, O. Makarieva [et al.] // *Remote sensing*. 2023. Vol. 15. P. 3564.
23. Simulating climate change in UK cities using a regional climate model, HadRM3 / M. McCarthy, C. Harpham, C. Goodess, P. Jones // *Int. J. Climatol*. 2012. № 32 (12). pp. 1875–1888.
24. Turner B. L. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability / B. L. Turner, Eric F. Lambin, Anette Reenberg // *PNAS*. 2007. Vol. 104. №52. pp. 20666–20671
25. Twine T. E. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin / T. E. Twine, C. J. Kucharik, J. A. Foley // *Journal of Hydrometeorology*. 2004. Vol. 5. pp. 640–655.
26. Using Landsat-5 for Accurate Historical LULC Classification: A Comparison of Machine Learning Models / D. Krivoguz, S.G. Chernyi, E. Zinchenko [et al.] // *Data*. 2023. Vol. 8. P. 138.
27. Verburg, P. H. Challenges in using land use and land cover data for global change studies. / P. H. Verburg, K. Neumann, L. Nol // *Global change biology*. 2011. Vol. 17. № 2. pp. 974–989.
28. Walker D. A. Cumulative Effects of Rapid Land-Cover and Land-Use Changes on the Yamal Peninsula, Russia / D. A. Walker // *Eurasian Arctic Land Cover and Land Use in a Changing Climate* / G. Gutman, A. Reissell, [et al.]. Dordrecht: Springer, 2011. 9. pp. 207–236.

**ANALYSIS OF LAND COVER DYNAMICS WITHIN THE UPPER  
REACHES OF THE SALGIR RIVER BASIN (CRIMEAN PENINSULA)**

*Nastasia P. Lineva*<sup>1,2</sup>, *Vladimir A. Tabunshchik*<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

<sup>2</sup>*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (IBSS), Sevastopol,  
Russian Federation*

<sup>3</sup>*Research Center of Freshwater and Brackish-water Hydrobiology, Kherson  
E-mail: tabunshchyk@ya.ru*

This article analysed the dynamics of land cover types and the distribution of land cover types in the study area at the present time. The study area is the upper reaches of the Salgir River catchment area (307.3 km<sup>2</sup>). The upper reaches of the Salgir River catchment basin border on the south-east with the river basins of the southern coast of Crimea, on the south-west with the basins of the Alma and Western Bulgan rivers. Alma and Western Bulganak. On this territory the left-bank tributaries (Angara, Ayan, Kharab-Tavel, Aratuk, Juma, Kurtzi b.) mainly flow into the Salgir River. The highest point of the study area is 1451 m., the lowest point is 278 m.

Open data obtained from various space observation programmes were used to analyse the dynamics of land cover. The following datasets were selected: ESA WorldCover, Land Cover Climate Change Initiative, Esri Land Cover.

At present the upper reaches of the Salgir River catchment basin most accurately reflects the distribution of land cover types in the ESA WorldCover dataset. Tree cover predominates in the area (55.2%), followed by herbaceous vegetation (37.7%). Built-up areas occupy 3.6%. Esri Land Cover data covers a short period of time (since 2017). However, even over the four-year observation period, there is a decrease in the area of forests, which is a negative trend, and the area of built-up areas is increasing. According to CCI Land Cover data, from 1992 to 2020 the catchment area has been affected by active development processes - the area under residential areas increased 4.4 times. The same trend is typical for the rivers of the north-western slope of the Crimean Mountains. At the same time, there was a decrease in tree cover - by 14% for broadleaved forests, by 16% for needle-leaved forests, and an increase in the area occupied by meadows by 11%.

**Keywords:** land cover, river basin, Crimean Peninsula, Salgir.

#### References

1. Dragan N.A. Pochvennye resursy Kryma. Simferopol': DOLYA, 2004. — 208 p. (in Russian).
2. Oliferov, A. N. Reki i ozera / A. N. Oliferov, Z.V. Timchenko. Simferopol': Dolya, 2005. 216 p. (in Russian).
3. Rastitel'nyj mir. Seriya «Priroda KrymA» / N.I. Rubcov, L.V. Makhaeva, M.S. Shalyt, I.N. Kotova. Simferopol': Krym, 1964. 124 p. (in Russian).
4. Tabunshchik V. A., Gorbunov R. V. Dinamika tipov nazemnogo pokrova (land cover) v predelakh bassejnov rek severo-zapadnogo sklona Krymskikh gor // Geologiya, geografiya i global'naya ehnergiya. 2022. №3 (86). pp. 78–88. (in Russian).
5. Transformaciya landshaftno-ehkologicheskikh processov v Krymu v KHKH veke - nachale XXI veka / pod red. V.A. Bokova. Simferopol': DOLYA, 2010. 304 p. (in Russian).
6. Appraisal of Empirical Studies on Land-Use and Land-Cover Changes and Their Impact on Ecosystem Services in Nepal Himalaya / MK. Rai, B. Paudel, Y. Zhang [et al.] // Sustainability. 2023. Vol. 15(9). P. 7134. (in Russian).
7. Arsiso B.K., Mengistu Tsidu G. Land Use and Land Cover Change Modulates Hydrological Flows and Water Supply to Gaborone Dam Catchment, Botswana // Water. 2023. Vol. 15(19). P. 3364.
8. Assessing the Accuracy and Consistency of Six Fine-Resolution Global Land Cover Products Using a Novel Stratified Random Sampling Validation Dataset / T. Zhao, X. Zhang, Y. Gao, [et al.] // Remote sensing. 2023. Vol. 15(9). P. 22–85.
9. Consistency Analysis and Accuracy Evaluation of Multi-Source Land Cover Data Products in the Eastern European Plain / G. Jiang, J. Wang, K. Li [et al.] // Remote Sensing. 2023. Vol. 15(17). P. 4254.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЬЕВ  
БАССЕЙНА Р. САЛГИР (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

10. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Ko-shi River Basin, Eastern Nepal / B. Rimal, R. Sharma, R. Kunwar [et al.] // *Ecosystem services*. 2019. Vol. 38. P. 100963.
11. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling / M. Jung, K. Henkel, M. Herold, G. Churkina // *Remote Sensing of Environment*. 2006. Vol. 101, № 4. pp. 534-553.
12. Falcucci, A. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation / A. Falcucci, L. Maiorano, L. Boitani // *Landscape Ecology*. 2007. Vol. 22. pp. 617–631.
13. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation / W. Turner, C. Rondinini, N. Pettorelli [et al.] // *Biological Conservation*. 2015. Vol. 182. pp. 173–176.
14. High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle / K. Brinck, R. Fischer, J. Groeneveld [et al.] // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. P. 14855.
15. Jia, S. Spatiotemporal Characteristics and Driving Factors of Land-Cover Change in the Heilongjiang (Amur) River Basin / S. Jia, Y. Yang // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15(15). P. 3730.
16. *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface* / G. Garik, A. Janetos, C. Justice [et al.]. – New York: Springer Science & Business Media, 2007. – 459 p.
17. Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual // FAO.ORG URL: [https://www.fao.org/3/x0596e/X0596e00.htm#P-1\\_0](https://www.fao.org/3/x0596e/X0596e00.htm#P-1_0) (accessed 11.10.2023).
18. Land use and land cover change in Arctic Russia: Ecological and social implications of industrial development / T. Kumpula, A. Pajunen, E. Kaarlejärvi [et al.] // *Global Environmental Change*. 2011. Vol. 21. pp 550–562.
19. Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence / R.A. Pielke sr, A. Pitman, D. Niyogi, [et al.] // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2011. Vol. 2, № 6. pp. 828–850.
20. Linking Flood Risk Mitigation and Food Security: An Analysis of Land-Use Change in the Metropolitan Area of Rome / D. Marino, M. Palmieri, A. Marucci [et al.] // *Land*. 2023. Vol. 12(2). P. 366.
21. Milanova, E. Land use/cover change in Russia within the context of global challenges. / E. Milanova // *Romanian Journal of Geography*. 2012. Vol. 56. pp. 105–116.
22. Satellite-Based Mapping of Gold-Mining-Related Land-Cover Changes in the Magadan Region, Northeast Russia / A. Shikhov, P. Ilyushina, O. Makarieva [et al.] // *Remote sensing*. 2023. Vol. 15. P. 3564.
23. Simulating climate change in UK cities using a regional climate model, HadRM3 / M. McCarthy, C. Harpham, C. Goodess, P. Jones // *Int. J. Climatol*. 2012. № 32 (12). pp. 1875–1888.
24. Turner B. L. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability / B. L. Turner, Eric F. Lambin, Anette Reenberg // *PNAS*. 2007. Vol. 104. №52. pp. 20666–20671
25. Twine T. E. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin / T. E. Twine, C. J. Kucharik, J. A. Foley // *Journal of Hydrometeorology*. 2004. Vol. 5. pp. 640–655.
26. Using Landsat-5 for Accurate Historical LULC Classification: A Comparison of Machine Learning Models / D. Krivoguz, S.G. Chernyi, E. Zinchenko [et al.] // *Data*. 2023. Vol. 8. P. 138.
27. Verburg, P. H. Challenges in using land use and land cover data for global change studies. / P. H. Verburg, K. Neumann, L. Nol // *Global change biology*. 2011. Vol. 17, № 2. pp. 974–989.
28. Walker D. A. Cumulative Effects of Rapid Land-Cover and Land-Use Changes on the Yamal Peninsula, Russia / D. A. Walker // *Eurasian Arctic Land Cover and Land Use in a Changing Climate* / G. Gutman, A. Reissell, [et al.]. Dordrecht: Springer, 2011. 9. pp. 207–236.

*Поступила в редакцию 07.10.2023 г.*

УДК 551.502

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

*Насонов А. А.<sup>1</sup>, Дорофеев В. В.<sup>2</sup>, Кузнецов И. Е.<sup>3</sup>,*

*Степанов А. В.<sup>4</sup>, Закусилов В. П.<sup>5</sup>*

Российская Федерация Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
E-mail: <sup>4</sup>step\_al@mail.ru

В статье представлена методика прогнозирования видимости для обеспечения авиационно-спасательных работ над равнинной местностью с применением вертолётов под низкими облаками. Разработаны модели полётной дальности видимости и визуального обнаружения объектов, терпящих бедствие, которые учитывают влияние физико-географических и метеорологических условий, характер подстилающей поверхности, распределение видимости объектов с высотой полёта поискового вертолёта, линейные размеры и коэффициенты контрастности объектов поиска, а также высоту и скорость полёта поискового вертолёта.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, авиационно-спасательные работы, авиационные происшествия и авиационные катастрофы, объекты, терпящие бедствие, малоразмерные наземные объекты, полётная дальность видимости и визуальное обнаружение.

**ВВЕДЕНИЕ**

Анализ чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации показал, что подавляющее большинство авиационно-спасательных работ проводится при авиационных происшествиях и авиационных катастрофах. Положительный результат авиационно-спасательных работ зависит от того, насколько оперативно и эффективно спланирован и проведён поиск и спасание терпящих или потерпевших бедствие пассажиров и экипажей воздушных судов (далее именуются по тексту, как объект, терпящий бедствие (ОТБ)). Шансы выжить людей, получивших телесные повреждения различных степеней тяжести, по истечению первых суток поиска и спасания снижаются на 80%, а не получившие никаких телесных повреждений умирают в течение трёх суток [1].

В настоящее время практически ни одна спасательная операция не обходится без применения вертолётов, так как они в отличие от самолетов могут выполнять визуальные полеты под низкими облаками при высоте нижней границы облаков (ВНГО) менее 600 м и совершать посадку на необорудованные площадки [2,3].

Результативность визуального поиска и спасания ОТБ с применением вертолётов зависит от условий видимости объектов на земной поверхности, на которые, в свою очередь, оказывают влияние физико-географические, климатические и погодные условия [2,4-6].

Конечным этапом авиационно-спасательных работ является обнаружение ОТБ визуальным способом [4-6].

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

Условия видимости ОТБ определяются полётной дальностью видимости (ПДВ). ПДВ обеспечивает оценку соответствия погоды уровню подготовки экипажей поисковых воздушных судов, а также технологию выполнения полетов для визуального поиска и спасания [7,8].

Наиболее значимые исследования по видимости наземных типовых объектов с борта воздушного судна над равнинной и холмистой местностью при выполнении авиационно-спасательных работ визуальным способом проведены С.В. Николаевым в 929 ГЛИЦ г. Ахтубинск в 2017 году. Автором предложены математические модели, позволяющие оценивать при поиске вероятность визуального обнаружения типового наземного объекта в зависимости от горизонтальной дальности до него [9].

В данном исследовании расчёты производились по визуальному поиску с применением воздушных судов и использовались значения метеорологической (горизонтальной) дальности видимости у земли (МДВ) (определяемой на фоне неба и не учитывающей распределение горизонтальной видимости с высотой), а не действительные значения ПДВ из кабины воздушного судна (определяемой на фоне местности и учитывающей распределение горизонтальной видимости с высотой), что приводит к необъективным результатам выполнения визуального поиска [9].

Исследования по прогнозированию ПДВ под низкими облаками, необходимые для оценки соответствия погодных условий выполнению визуального поиска и спасания ОТБ – как малоразмерных наземных объектов, с применением вертолётов в различных физико-географических условиях в настоящее время отсутствуют.

Анализ существующих моделей прогнозирования видимости при выполнении авиационно-спасательных работ и поиске ОТБ визуальным способом в различных физико-географических условиях в РФ и за рубежом выявил практическое противоречие, заключающееся в отождествлении МДВ с необходимой ПДВ ОТБ.

Отождествление ПДВ с МДВ приводит к субъективному принятию метеозависимых решений руководящим составом авиационно-спасательных работ, что влечёт за собой ошибки в планировании и руководстве поисковой операцией, нерациональному и бессмысленному использованию имеющихся поисково-спасательных сил (средств) и значительному увеличению времени поиска [7,8].

Противоречия требует решение научной задачи по разработке методики прогнозирования видимости ОТБ под низкими облаками для равнинной местности, которая обеспечивает точность и достоверность метеорологической информации при выполнении полётов по поиску и спасанию визуальным способом, с применением вертолётов, с учётом высоты и скорости полёта, характера подстилающей поверхности, яркостного контраста ОТБ на фоне местности и характеристик пространственно-временной изменчивости ВНГО и МДВ [7,8].

В качестве исходных данных использовались топографические карты; аэросиноптические материалы; метеорологические наблюдения на аэродромах Европейской территории России за 2015-2021 годы; данные экипажей, выполняющих задачи авиационно-спасательных работ; результаты лётного эксперимента по визуальному обнаружению типовых наземных объектов, полученных в 929 ГЛИЦ г. Ахтубинск [9].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ авиационных происшествий и авиационных катастроф на территории РФ за 25 лет (рис. 1) показывает, что их количество с годами не уменьшается, а наоборот растёт [10, 11, 12, 13, 14].



Рис.1. Количество авиационных происшествий (катастроф), произошедших за 25 лет.

Так, с 1996 года по 2021 год произошло 1064 авиационных происшествия (катастроф), это привело к гибели 2345 человек. Высокое количество, прежде всего, связано с увеличением выполняемых полётов малой авиации.

Проведённый анализ архивной выборки за 15 лет показал, что наибольшее количество авиационно-спасательных работ осуществлялось по поиску и спасанию воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации — 88,78%, поиск и спасание людей при тушении пожаров составляет — 1,05%, а на воде — 10,65% (рис. 2) [10, 11, 12, 13, 14].

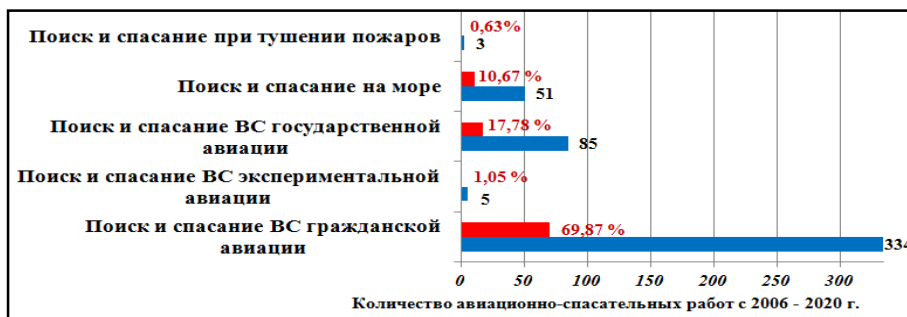


Рис.2. Причины и количество авиационно-спасательных работ.

Анализ физико-географических условий федеральных округов по типам местности показывает, что наибольшее количество авиационных катастроф происходит над равнинной и холмистой местностью — 74,9%, так как основное количество выполняемых полётов проходит над данной местностью (рис. 3) [10, 11, 12, 13, 14].

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

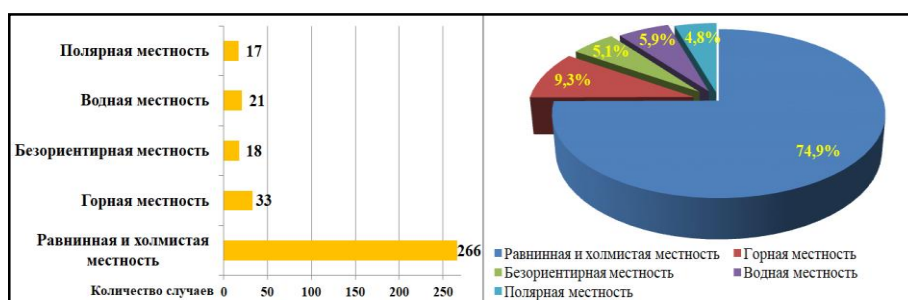


Рис. 3. Распределение авиационных катастроф по типам местности.

Проведённый анализ позволяет заключить, что непосредственное влияние погодных условий на возникновение авиационных происшествий (катастроф) выявлено в 12% случаев, а в 30% случаев погодные условия явились сопутствующим фактором. К ним относятся: ухудшение видимости — 62%, сильная болтанка — 11%, грозовые явления — 11%, обледенение — 7% и воздействие других параметров атмосферы — 9% [10, 11, 12, 13, 14].

Повышения качества прогнозирования видимости на выполнение авиационно-спасательных работ, возможно достичь дополнительным исследованием пространственно-временной изменчивости характеристик ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях для полётов вертолётов над равнинной местностью [7,8].

Оценка пространственных размеров зон сложных метеорологических ситуаций проводилась по территории Воронежской, Липецкой и Московской области, как по ширине, так и по направлению смещения (рис. 4).



Рис. 4. Пространственные размеры зон сложных метеорологических условий по направлению смещения и по ширине.

Анализ рисунка 4 показал, что зимой максимальная протяжённость зон сложных метеорологических условий по ширине составляет 2000 км, а весной максимальная по направлению смещения 1300 км, осенью и летом минимальные размеры зон по направлению смещения и по ширине составляют от 60 км до 80 км. Пространственные характеристики размеров зон соответствуют мезомасштабным атмосферным процессам масштабов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  [7, 8].

Повторяемости периодов различной непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий (до 3-х часов и до 12 часов) представлены на рис. 5.

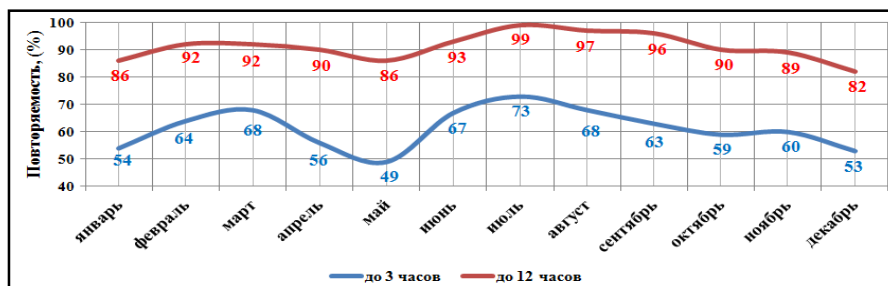


Рис.5. Повторяемость периодов различной непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий

Из рис. 5 видно, что период непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий до 3 часов с минимальной повторяемостью, наблюдаются весной в мае — 49%, с максимальной летом в июле — 73%, а до 12 часов наблюдается максимальная повторяемость, также летом в июле — 99%, минимальной зимой в декабре — 82% [7, 8].

Проанализировав данные, полученные по всем периодам непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий, делаем вывод о том, что они полностью соответствуют временным характеристикам мезомасштабных атмосферных процессов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  [7, 8].

Характеристики временной изменчивости ВНГО и МДВ (среднее значение ( $\bar{S}_0$ ,  $\bar{H}$ ), среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент вариации ( $c_v$ )) приведены на основании данных 30 минутных наблюдений и представлены в таблицах 1 и 2. Наибольшая изменчивость наблюдается с 60 по 120 минуту времени измерений и составляет 30% от средних значений ВНГО и МДВ.

Таблица 1.

Значения характеристик временной изменчивости ( $\bar{H}$ ,  $\sigma$ ,  $c_v$ ) высоты нижней границы облачности в различных типовых синоптических ситуациях циклона при наличии мороси

Типовые синоптические ситуации	Характеристики изменчивости ВНГО	Время измерений						
		0 мин.	30 мин.	60 мин.	90 мин.	120 мин.	150 мин.	180 мин.
Центральная часть циклона	$\bar{H}$ , м	117	107	105	111	116	108	112
	$\sigma$ , м	31	29	22	35	31	29	30
	$c_v$	0,26	0,27	0,2	0,31	0,26	0,26	0,26
Тёплый сектор циклона	$\bar{H}$ , м	145	130	128	130	129	129	130
	$\sigma$ , м	34	45	44	44	44	43	45
	$c_v$	0,23	0,34	0,34	0,33	0,34	0,33	0,34



**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Превышение рельефа местности и характер подстилающей поверхности определяют пространственную и временную изменчивость ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях [7, 8].

Из таблицы 1 видим, что в мороси во всех представленных типовых синоптических ситуациях циклона средние значения ВНГО в период всего времени явления в основном уменьшаются. Изменчивость ВНГО меняется от средней до сильной.

Таблица 2.

Значения характеристик временной изменчивости ( $\overline{S_0}$ ,  $\sigma$ ,  $c_v$ )  
метеорологической дальности видимости в различных типовых синоптических  
ситуациях циклона в дожде

Типовые синоптические ситуации	Характ. изменчивости МДВ	Время измерений						
		0 мин.	30 мин.	60 мин.	90 мин.	120 мин.	150 мин.	180 мин.
Тыл циклона	$\overline{S_0}$ , м	3541	3634	3835	3741	3631	3547	3642
	$\sigma$ , м	922	1091	1228	1086	982	888	839
	$c_v$	0,26	0,30	0,32	0,29	0,27	0,25	<b>0,23</b>
Передняя часть циклона	$\overline{S_0}$ , м	5114	4697	4224	3966	3795	3522	3220
	$\sigma$ , м	2150	2020	1900	1626	1367	1268	1128
	$c_v$	0,42	0,43	0,45	0,41	0,36	0,36	0,35
Теплый сектор циклона	$\overline{S_0}$ , м	2573	2848	3267	3088	2904	2695	2376
	$\sigma$ , м	851	1000	1210	1112	1020	900	758
	$c_v$	0,33	0,35	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32
Центр циклона	$\overline{S_0}$ , м	2445	2655	3136	2980	2773	2503	2133
	$\sigma$ , м	761	879	1130	1050	920	780	621
	$c_v$	0,31	0,33	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29

Анализ таблицы 2 показал, что в основном происходит уменьшение средних значений МДВ с течением времени. Изменчивость МДВ сильная.

Полученные зависимости позволяют оценить влияние физико-географических условий на пространственные и временные характеристики изменчивости ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях, определить тип распределения горизонтальной видимости с высотой, условия видимости объектов на земной поверхности и метод текущего прогнозирования видимости при выполнении визуального поиска и спасания ОТБ [7, 8].

Однако, этих характеристик недостаточно для прогнозирования видимости при обеспечении авиационно-спасательных полётов вертолётов над равнинной местностью, поэтому, необходимо разработать модель ПДВ (соответствующая требованиям руководящих документов по производству полётов вертолётов под низкими облаками) и модель визуального обнаружения ОТБ из кабины поискового вертолёта.

## МОДЕЛИ ПОЛЁТНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ И ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, ТЕРПЯЩИХ БЕДСТВИЕ

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ построены для выполнения визуального поиска и спасания при авиационно-спасательных работах с использованием вертолётов, так как вертолёт является основным средством осуществления поиска и спасания ОТБ.

Модель ПДВ ОТБ — это дополнительная информация о видимости, необходимая для оценки соответствия метеорологических условий уровню подготовки экипажей поисковых вертолётов при выполнении авиационно-спасательных работ. Командир воздушного судна и наблюдатели на борту осуществляют поиск и обнаружение ОТБ исходя из значений ПДВ.

Модель визуального обнаружения необходима, как дополнительная информация о видимости ОТБ в районе поиска, которая обеспечивает более полное представление об ожидаемой погоде в районе авиационного происшествия (катастрофы), позволяет учитывать изменчивость погодных условий и принимать объективные метеозависимые решения с учётом степени сложности метеорологических условий (простые (сложные) метеорологические условия), высоты и скорости полёта поискового вертолёта над равнинной местностью.

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ позволяют учитывать метеорологические и физико-географические условия местности.

Модель ПДВ ОТБ ( $S_{ПДВОТБ}$ ) представлена формулой (1).

$$S_{ПДВОТБ} = L_{явл} \frac{H_{пол}}{20 \cdot \cos \theta \cdot \int_0^{H_{пол}} \frac{dh}{S_{mh}}} \cdot \ln \left[ 1 + \left( \frac{K}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_{\phi}}{B} \right] \quad (1)$$

где  $H_{пол}$  — высота полета поискового вертолёта, м;  $K$  — контраст объекта на фоне местности (не искажённый атмосферной дымкой);  $B_{\phi}$  — действительная яркость фона (не искажённая атмосферной дымкой);  $B$  — коэффициент состояния яркостного «насыщения» слоя помутнения;  $\varepsilon$  — пороговая чувствительность глаза изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,07 (в целях обеспечения безопасности полетов и согласно рекомендациям ИКАО  $\varepsilon = 0,05$ );  $\theta$  — угол визирования в градусах;  $dh$  — слой распределения горизонтальной видимости с высотой, м;  $S_{mh}$  — горизонтальная видимость на высоте (зависит от ВНГО и табличных данных дальности видимости порога обнаружения) [7,8], м;  $L_{явл}$  — экспериментально установленный коэффициент для различных явлений (в дымке = 1, в дожде = 0,91, в снеге = 0,84, в моросе = 0,8).

Входными параметрами модели являются: линейный размер ОТБ, яркостный контраст объекта на фоне местности, высота и скорость полёта поискового вертолёта, дальность видимости порога обнаружения [7, 8].

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

Выходным параметром модели является ПДВ ОТБ из кабины поискового вертолёта при различных скоростях и высотах полёта.

Модель ПДВ ОТБ отличается тем, что при расчёте используется не значения МДВ, а значения дальности видимости порога обнаружения малоразмерного объекта [7,8].

В качестве примера на рис. 6 представлены графики зависимости ПДВ от путевой скорости и высоты полёта поискового вертолёта при различных явлениях погоды и яркостных контрастов объекта на фоне местности. При применении модели ПДВ необходимо учитывать не только коэффициент контрастности объекта поиска на фоне местности (меняющегося от 0,1 до 1), но и значения характеристик временной изменчивости ВНГО и МДВ характерных для равнинной местности территории ЕТР и представленных в таблицах 1 и 2.

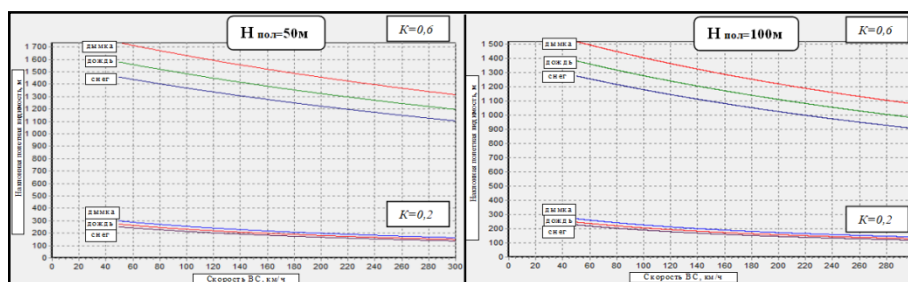


Рис.6. Зависимость ПДВ объекта (линейный размер 2 м) от путевой скорости и высоты полёта вертолёта (50 и 100 м), явлений погоды и яркостных контрастов объекта поиска на фоне местности ( $K=0,2$  и  $0,6$ ) (при ВНГО=200 м и МДВ=2000 м)

Анализ влияния явлений погоды на ПДВ показывает, что ухудшение по отношению к дымке в дожде составляет 9%, в снеге 16%, а в мороси 20%.

При определении вероятности обнаружения ОТБ необходимо учитывать, что поиск и обнаружение ОТБ на завершительном этапе всегда выполняется визуальным способом. Успех визуального поиска зависит от точности выхода поискового вертолёта в район поиска и его положения относительно объекта поиска. На первом этапе для выполнения визуального поиска, по расчётным значениям ПДВ определяется показатель вероятности выхода поискового вертолёта в район поиска ОТБ. На втором этапе определяется показатель вероятности выхода поисково-спасательного вертолёта в положение, обеспечивающее экипажу прямую (наиболее выгодную) видимость ОТБ.

Критерием оценки принимаемых решений на выполнение визуального поиска и спасания с применением вертолётов является эффективность процесса визуального обнаружения ОТБ. Критерием эффективности является вероятность визуального обнаружения ОТБ.

Модель визуального обнаружения ОТБ представлена эмпирической формулой (2) [15]:

$$P_{BOOTB} = P_{\text{вых.рп.ОТБ}} \cdot P_{\text{нев.ОТБ}} \quad (2)$$

где  $P_{\text{вых.рп.ОТБ}}$  — показатель вероятности визуального выхода вертолета в район поиска ОТБ;  $P_{\text{нев.ОТБ}}$  — показатель вероятности визуального выхода вертолётa в положение обеспечивающее экипажем (наблюдателям) прямую видимость ОТБ (при работе аварийного радиомаяка и за счёт маневренных характеристик вертолётa принимается равной 1) [15].

Входными параметрами модели визуального обнаружения ОТБ являются: показатель вероятности выхода вертолётa в положение, обеспечивающее экипажу (наблюдателям) прямую видимость объекта и показатель вероятности выхода вертолета в район поиска, зависящий от ПДВ с кабины поискового вертолётa и дальность видимости порога обнаружения ОТБ.

Выходным параметром модели является вероятность визуального обнаружения ОТБ при различных яркостных контрастах, линейных размеров объектов поиска, а также скоростях и высотах полётa поисково-спасательного вертолётa.

Отличительной особенностью модели является учёт  $S_{\text{ПДВ}}$  (видимости ОТБ из кабины поискового вертолётa) в сложных метеорологических условиях, а в простых  $S_{\text{пор.обн}}$  (максимально допустимой дальности видимости порога обнаружения ОТБ).

При расчёте вероятности выхода ( $P_{\text{вых.рп.ОТБ}}$ ) поискового вертолётa в район поиска ОТБ в простых метеорологических условиях полётная дальность обнаружения ОТБ рассчитывается по эмпирической формуле (3) [15]:

$$S_{\text{обн ПМН}} = 0,1 \sqrt{H \sqrt{S_{\text{пор.обн}}}} \cdot e^{-0,12 \frac{V}{100} + 0,78} \quad (3)$$

где  $H$  — где высота полётa вертолётa, м;  $V$  — скорость полётa вертолётa, км/ч;  $S_{\text{пор.обн}}$  — дальность видимости порога обнаружения ОТБ, м (табличные данные).

В сложных метеорологических условиях полётная дальность обнаружения ОТБ рассчитывается по эмпирической формуле (3) [15], по значениям ПДВ ОТБ с кабины вертолётa (расчётные значения модели ПДВ).

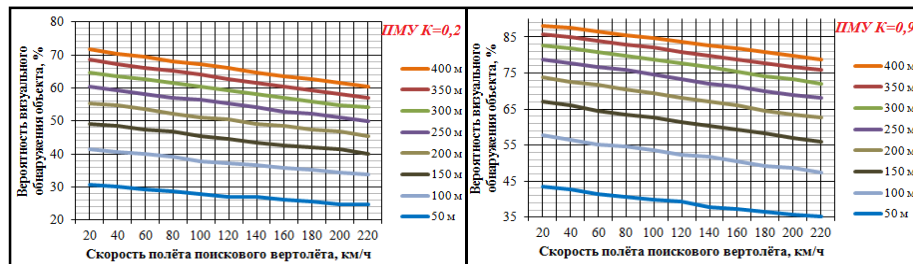


Рис. 7. Зависимости вероятности визуального обнаружения ОТБ (%) от скорости и высоты полётa поискового вертолётa в простых метеорологических условиях при коэффициенте контрастности 0,2 и 0,9, линейным размером 2 метра

В качестве примера на рис. 7 и 8 представлены зависимости расчётных значений вероятности визуального обнаружения ОТБ для различных размеров,

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

яркостных контрастов ОТБ, высоты и скорости полёта поискового вертолётa в простых и сложных метеорологических условиях.

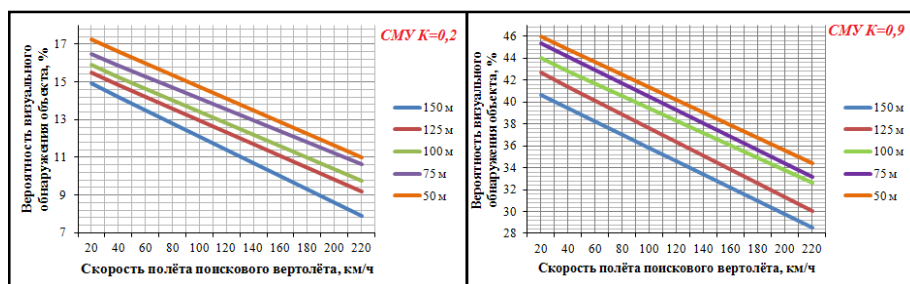


Рис. 8. Зависимости вероятности визуального обнаружения ОТБ (%) от скорости и высоты полёта поискового вертолётa в сложных метеорологических условиях при коэффициенте контрастности 0,2 и 0,9, линейным размером 2 метра

Анализ рис. 7 и 8 показывает, что с увеличением яркостного контраста, линейного размера ОТБ, уменьшением скорости полёта и в зависимости от погодных условий с изменением высоты полёта поискового вертолётa — обнаружение объекта увеличивается, тем самым предоставляется возможным достичь максимальной (гарантийной) вероятности визуального обнаружения ОТБ.

Модели расчёта ПДВ и визуального обнаружения ОТБ представлены в виде программных продуктов для ЭВМ [16, 17, 18].

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ обеспечивают более полное представление об ожидаемой погоде в районе АП и АК, позволяют учитывать изменчивость погодных условий и объективно принимать метеозависимые решения по выполнению визуального поиска с применением вертолётa над равнинной местностью в простых и сложных метеорологических условиях.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Прогнозирование видимости (ПДВ и визуального обнаружения ОТБ) под низкими облаками производится для поисково-спасательных полётa визуальным способом выполняемых на малых и предельно малых высотах, отличающейся от других специальных прогнозов погоды учётом дальности видимости порога обнаружения объекта, распределения горизонтальной видимости с высотой, рельефа и характера подстилающей поверхности местности района поиска, высоты и скорости полёта поискового вертолётa.

Прогноз видимости ОТБ является прогнозом второго рода и реализован по следующему алгоритму [7,8]:

1. По топографическим картам крупного масштаба с помощью палетки с сеткой для визуального поиска определяется квадрат поиска (место крушения воздушного судна), оцениваются физико-географические факторы (рельеф и растительный

покров), ориентиры, определяется предположительный яркостный контраст ОТБ на фоне местности.

2. На карту наносится маршрут полёта поискового вертолёта к заданному квадрату поиска и определяется относительное превышение рельефа местности.

3. По району и маршруту поискового полёта определяется тип синоптической ситуации, разрабатывается прогноз синоптического положения.

4. По классическим методикам (применяемым Гидрометцентром России) прогнозируются ВНГО и МДВ, с учётом их пространственно-временной изменчивости (таблица 1 и 2).

5. При отсутствии метеорологической информации прогноз ВНГО и МДВ производится с учётом относительного превышения рельефа по отношению к пункту вылета (известные методики, разработанные для каждого района).

6. По прогностическим значениям ВНГО определяется тип распределения горизонтальной видимости с высотой и рассчитывается приборная безопасная высота полёта поискового вертолёта над рельефом местности и наивысшей точкой препятствия по маршруту выполнения полёта.

7. По прогностическим значениям ВНГО и МДВ, с учётом явлений погоды, контраста ОТБ на фоне местности, скорости и высоты полёта поискового вертолёта рассчитываются прогностические значения ПДВ по маршруту выполнения полёта и в районе поиска (формула 1).

8. По прогностическим значениям ПДВ прогнозируется вероятность визуального обнаружения ОТБ для различных высот и скоростей полёта поискового вертолёта (формула 2).

9. В сложных метеорологических условиях значения вероятности визуального обнаружения прогнозируются с учётом прогностических значений ПДВ, а в простых с учётом значений дальности видимости порога обнаружения (формула 3).

10. Выполнение визуального поиска с применением вертолётов считается эффективным, при достижении не менее 70% вероятности визуального обнаружения ОТБ.

С учётом методических рекомендаций предоставления данных о неопределённости вероятностных прогнозов (Всемирная метеорологическая организация) разработано решающее правило для принятия метеозависимых решений при проведении авиационно-спасательных работ под низкими облаками:

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения более 70% поиск и спасание визуальным способом с применением вертолётов проводится без ограничений, при этом определяется оптимальная высота и скорость полета поискового вертолета;

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения от 50% до 70% выполнение визуального, поискового полёта вертолёта проводить с ограничениями, принимается решение на проведение авиационного или наземного поиска ОТБ с использованием дополнительных ресурсов (поисковых сил и средств);

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения менее 50% поисково-спасательные мероприятия с применением вертолётов выполнять из-за

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

неблагоприятных погодных условий не целесообразно, поиск следует осуществлять с привлечением наземных поисковых средств.

Решающее правило позволит руководящему составу спасательной операции, принимать решения, оценивать возможность выполнения визуального поиска в конкретных погодных условиях, на определённых высотах и скоростях полёта поискового вертолёта, с учётом линейного размера и яркостного контраста ОТБ. В настоящее время метеорологическая информация для поиска и спасания по маршруту и в районе поиска включает в себя только горизонтальную видимость у поверхности земли и явления её ухудшающие

Отличительной особенностью предложенной методики является возможность достичь гарантийной вероятности (не менее 70%) визуального обнаружения ОТБ путём изменения высоты и скорости полёта поискового вертолёта, что в последующем позволит принимать эффективные метеозависимые решения.

На конкретном примере представлена визуализация методики при принятии метеозависимого решения и повышение эффективности выполнения полётов при авиационно-спасательных работах (рис. 9). Поиск и спасание осуществлялся над равнинной местностью с линейными размерами объекта поиска 4 м, яркостным контрастом на фоне местности 0,9, высотой полёта 150 м и скоростью полёта поискового вертолёта 120 км/ч.

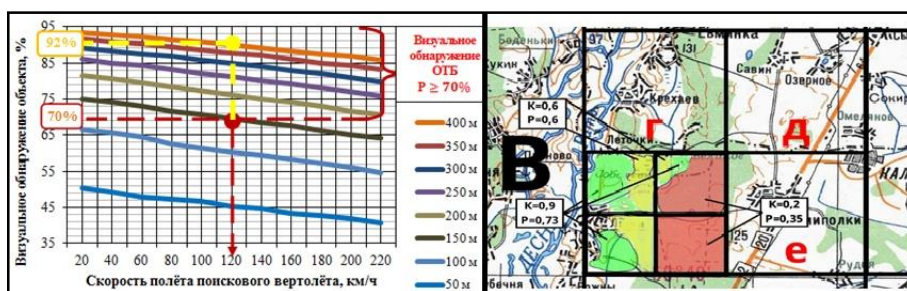


Рис. 9. Определение эффективности выполнения визуального поиска с учётом высоты и скорости полёта поискового вертолёта под низкими облаками

Методика показывает, что при скорости полёта поискового вертолёта 120 км/ч и высоте полёта 150 м эффективность выполнения визуального поиска составит 70%, а при высоте полёта 400 м — 92%.

При выполнении визуального поиска используя разработанную методику, возможно определить высоты и скорости поискового вертолёта с учётом характера подстилающей поверхности, метеорологических условий, яркостного контраста и линейного размера объекта поиска и тем самым повысить эффективность визуального обнаружения ОТБ.

В результате работы выявлено, что прогностические значения вероятности визуального обнаружения ОТБ по данным МДВ не соответствуют прогностическим значениям данных ПДВ, так как при расчётах по значениям МДВ не учитывается распределение горизонтальной видимости с высотой под низкими облаками для полётов вертолётов. Прогностические значения вероятности визуального

обнаружения, рассчитанные по МДВ, завышаются по отношению к прогностическим значениям, рассчитанным по ПДВ, в среднем на 30%. Поэтому отождествлять вероятность визуального обнаружения ОТБ по значениям МДВ недопустимо.

Достоверность прогностических значений ПДВ проведена по критериям успешности ( $r$  — коэффициент корреляции,  $\sigma$  — средняя квадратическая ошибка,  $\eta$  — средняя абсолютная ошибка) путём сравнения расчётных значений ПДВ с данными, полученными от экипажей разведчиков погоды [7, 8].

Значения критериев успешности показывают на возможность использования расчётных значений ПДВ для оценки соответствия метеорологических условий уровню подготовки экипажей, выполняющих полёты на авиационно-спасательные работы (таблица 3) [7, 8].

Таблица 3

Значения критериев успешности ( $R$ ,  $\eta$ ,  $\sigma$ ) расчётных значений полётной дальности видимости

Критерии успешности полётной дальности видимости											
100 м < ВНГО ≤ 150 м			150 м < ВНГО ≤ 200 м			200 м < ВНГО ≤ 400 м			600 м < ВНГО ≤ 600 м		
R	$\eta$ , м	$\sigma$ , м	R	$\eta$ , м	$\sigma$ , м	R	$\eta$ , м	$\sigma$ , м	R	$\eta$ , м	$\sigma$ , м
0,79	146	182	0,77	153	191	0,71	298	372	0,7	304	380

Оценка достоверности расчётных значений визуального обнаружения ОТБ проведена путем сравнения расчётных значений разработанной модели с результатами модели «Выход ЛА» (929 ГЛИЦ г. Ахтубинск) и экспертного опроса лётного состава выполняющих полёты по задачам авиационно-спасательных работ в простых и сложных метеорологических условиях (таблица 4) [6,9].

В сложных метеорологических условиях дальность до объекта и вероятность визуального обнаружения разработанной модели оценивалась, как ПДВ малоразмерного наземного объекта из кабины поисково-спасательного вертолёта. В простых метеорологических условиях дальность до объекта и вероятность визуального обнаружения оценивалась, как дальность видимости порога обнаружения малоразмерного наземного объекта.

Оценка достоверности расчётных значений вероятности визуального обнаружения ОТБ по разработанной модели в сравнении с расчётными значениями по модели «Выход ЛА» [9] и данными экспертного опроса лётного состава показала, что разработанная модель по своим результатам не противоречит, согласуется и более близка к данным экспертного опроса. Разработанная модель эффективней модели «Выход ЛА» [9] на 5% в простых метеорологических условиях, кроме того она позволяет производить расчёты по обнаружению ОТБ в сложных метеорологических условиях. Расчётные значения, выполненные в СМУ, по своим значениям согласуются с данными экспертного опроса лётного состава.



**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Таблица 4

Значения дальности (км) и вероятности (%) визуального обнаружения (ВВО)  
ОТБ по различным моделям и результатам экспертного опроса в простых и  
сложных метеорологических условиях

Объект поиска	Дальность до объекта (км) и ВВО (%) по расчётам модели «Выход ЛА» (г. Ахтубинск)	Дальность до объекта (км) и ВВО (%) по расчётам модели «Поиск» (г. Воронеж)	Результаты данных экспертного опроса лётного состава, дальность до объекта (км) и ВВО (%)
<b>Простые метеорологические условия</b>			
Один человек (группа людей)	1,6-1,8 км с вероятностью 0,65 1,0-1,4 км с вероятностью 0,8-0,9	1,6-1,8 км с вероятностью 0,70 1,0-1,4 км с вероятностью 0,87	1,6-1,8 км с вероятностью 0,69 1,0-1,4 км с вероятностью 0,88
Самолёт (вертолёт)	2-4 км с вероятностью 0,7-0,9	2-4 км с вероятностью 0,74-0,93	2-4 км с вероятностью 0,72-0,91
<b>Сложные метеорологические условия</b>			
Один человек (группа людей)	отсутствует	0,8 км с вероятностью 0,5 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,47 (летом)	0,8 км с вероятностью 0,49 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,48 (летом)
Самолёт (вертолёт)	отсутствует	0,8 км с вероятностью 0,6 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,51 (летом)	0,8 км с вероятностью 0,61 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,52 (летом)

**ВЫВОДЫ**

1. Анализ пространственно-временных характеристик изменчивости ВНГО и МДВ при выполнении полётов вертолётов под низкими облаками показал:

- непрерывная продолжительность зон сложных метеорологических условий не превышает 3-х часов с повторяемостью от 49% до 73%, а 12 часов от 82% до 99%;
- временная изменчивость средних значений ВНГО и МДВ не превышает 30% в течение 3-х часов.
- изменчивость ВНГО в дымке, мороси изменяется от средней до сильной, в дожде от слабой до сильной, в снеге изменчивость ВНГО абсолютно во всех типовых синоптических ситуациях наблюдается сильная;
- изменчивость МДВ во всех типовых синоптических ситуациях и явлениях погоды отмечается сильная.

2. В процессе выполнения работы и проведённого экспертного опроса лётного состава удалось получить и проверить результаты прогностических значений ПДВ и визуального обнаружения ОТБ в сложных метеорологических условиях.

3. Анализ значений вероятности визуального обнаружения ОТБ показал, что в зависимости от яркостного контраста, линейного размера, высоты и скорости полёта

поисково-спасательного вертолёта достигает от 21% до 94%, а в сложных метеорологических условиях от 1% до 65%. Модель визуального обнаружения ОТБ предоставляет возможность определить наиболее эффективные высоты и скорости полёта и принять метеозависимое решение на выполнение визуального поиска в конкретном районе.

4. Разработанная методика позволит повысить эффективность и выполнения полётов при авиационно-спасательных работах под низкими облаками.

5. Визуализация методики в программно-аппаратном комплексе позволяет оперативно принимать метеозависимые решения на проведения авиационно-спасательных работ с применением вертолётов визуальным способом над равнинной местностью под низкими облаками.

### Список литературы

1. Береснев, Д.С. Информационно-аналитические модели и алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде: автореферат диссертации на соискание учен. степ. канд. техн. наук (05.13.10) / Береснев Денис Сергеевич; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. М., 2019. – 25 с.
2. Учебник спасателя / С.К. Шойгу, М. И. Фалеев, Г. Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. 528 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95) (1995). М.: Транспорт. 204 с.
4. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 3 июня 2014 г. № 148 "Об утверждении требований к подготовке авиационного персонала органов и служб единой системы авиационно-космического поиска и спасания в Российской Федерации» [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/70788870/> (дата обращения: 14.12.2021).
5. Организация и проведение поисково-спасательных операций (работ): учеб. пособие /сост. В.А. Попов, А.В. Селезнев. Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2015- 160с.
6. Руководство по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР (РПАСОП ГА-91): Пр. МГА СССР №65 от 28.03.91г.-М.;1991. 205с.
7. Дорофеев, В.В. Наклонная дальность видимости в сложных метеорологических условиях / В.В.Дорофеев: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук: 25.00.30. Воронеж, ВВАИИ, 2007. 306 с.
8. Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С., Ковалев В.И. Полетная видимость. – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. 280 с.
9. Николаев С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата. Научный вестник МГТУ ГА. 2017;20(5):131–144.
10. Федеральное агентство воздушного транспорта Российской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://m.favt.gov.ru> (дата обращения: 03.06.2021).
11. Авиационные происшествия: причины, анализ, отчеты, расследования: [Электронный ресурс] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnyye-proisshestviya> (дата обращения: 03.11.2021).
12. Содружество авиационных экспертов: [Электронный ресурс] URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (дата обращения: 04.11.2021).
13. Анализ состояния безопасности полётов в гражданской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (дата обращения: 05.11.2021).
14. Межгосударственный авиационный комитет: [Электронный ресурс] URL:<https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 04.11.2021).
15. Арбузов И.В., Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224с.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020660805. «Расчет полетной дальности видимости при планировании полетов»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов,

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

В.В. Дорофеев, А. В. Степанов. Заявка № 2020660011. Дата поступления 03.09.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.09.2020г.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663409. «Расчет полетной видимости с учетом линейного размера объекта (ориентира)»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов, В.В. Дорофеев, А. В. Степанов. – Заявка № 2020662725. Дата поступления 13.10.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.10.2020 г.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666495. «Расчет влияния местности на высоту нижней границы облачности и метеорологическую дальность видимости»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов, А.В. Степанов, В. А. Сенькин. Заявка № 2020665241. Дата поступления 24.11.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.12.2020 г.

### VISIBILITY PREDICTION TECHNIQUE FOR AVIATION AND RESCUE WORK OVER PLAIN TERRAIN

*Nasonov A. A.<sup>1</sup>, Dorofeev V. V.<sup>2</sup>, Kuznetsov I. E.<sup>3</sup>,  
Stepanov A. V.<sup>4</sup>, Zakusilov V. P.<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup> Russian Federation Military Educational and Scientific Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”

*E-mail: <sup>4</sup> step\_al@mail.ru*

An analysis of emergency situations on the territory of the Russian Federation showed that the vast majority of aviation rescue operations are carried out in case of aviation accidents and aviation accidents. A positive result of the aviation rescue work depends on how quickly and effectively the search and rescue of passengers and crews of aircraft in distress or in distress hereinafter referred to as the object in distress is planned and carried out. The chances of surviving people who have received bodily injuries of various degrees of severity after the first day of search and rescue are reduced by 80%, and those who have not received any bodily injuries die within three days.

Currently, almost no rescue operation is complete without the use of helicopters, since, unlike aircraft, they can perform visual flights under low clouds at a cloud base height of less than 600 m and land on unequipped sites.

The effectiveness of the visual search and rescue of object in distress using helicopters depends on the conditions of visibility of objects on the earth's surface, which, in turn, are influenced by physical-geographical, climatic and weather conditions.

The final stage of aviation rescue work is the visual detection of object in distress.

The visibility conditions of the object in distress are determined by the flight visibility range. The flight visibility range provides an assessment of the compliance of the weather with the level of training of crews of search aircraft, as well as the technology for performing flights for visual search and rescue.

The most significant studies of the visibility of ground-based typical objects from an aircraft over flat and hilly terrain during the performance of aviation rescue operations by the visual method were carried out by Nikolaev. The author proposes mathematical models that make it possible to estimate the probability of visual detection of a typical ground object during search, depending on the horizontal distance to it.

In this study, the calculations were based on a visual search using aircraft and used the values of the horizontal visibility range near the ground (determined against the sky and does not take into account the distribution of horizontal visibility in height), and not the actual visibility values from the cockpit of a search and rescue aircraft (determined by background of the terrain and taking into account the distribution of horizontal visibility in height), which leads to biased results of visual search.

The identification of the meteorological visibility range with the flight visibility range leads to the subjective adoption by the leadership of aviation rescue operations of meteorological decisions, which entails errors in planning and managing the search operation, irrational and senseless use of the available search and rescue forces (objects) and a significant increase in the time spent to search.

Contradictions require the solution of a scientific problem to develop a methodology for predicting the visibility of objects in distress under low clouds for flat terrain, which ensures the accuracy and reliability of meteorological information when performing search and rescue flights visually, using helicopters, taking into account the height and speed of the flight, the nature of the underlying surface, brightness contrast of the search object against the background of the terrain and the characteristics of the spatiotemporal variability of the cloud base height and the meteorological visibility range.

**Keywords:** emergencies, aviation accidents and aviation accidents, objects in distress, small-sized ground objects, flight visibility range and visual detection.

#### **References**

1. Beresnev, D.S. Information-analytical models and algorithms for supporting the management of search and rescue operations in the natural environment: abstract of the dissertation for the scientific competition. step. cand. tech. Sciences (05.13.10) / Beresnev Denis Sergeevich; Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia. Moscow, 2019. - 25 p. (in Russian).
2. The textbook of the rescuer / S.K. Shoigu, M. I. Faleev, G. N. Kirillov and others; under total ed. Yu. L. Vorobiev. - 2nd ed., revised. and additional. Krasnodar: "Owls. Kuban", 2002. - 528 p. (in Russian).
3. Manual on the meteorological support of civil aviation in Russia (NMO GA-95) (1995). M.: Transport. 204 p. (in Russian).
4. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 3, 2014 No. 148 "On approval of the requirements for the training of aviation personnel of bodies and services of the unified system of aerospace search and rescue in the Russian Federation" [Electronic resource] URL: <https://base.garant.ru/70788870/> (date of access: 12/14/2021). (in Russian).
5. Organization and conduct of search and rescue operations (works): textbook. allowance / comp. V.A. Popov, A.V. Seleznev. Ulyanovsk: UVAU GA (I), 2015. 160s. (in Russian).
6. Guidelines for search and rescue support for civil aviation flights of the USSR (RPASOP GA-91): Pr. MGA of the USSR No. 65 dated 03.28.91. M.; 1991. 205 s. (in Russian).
7. Dorofeev, V.V. Oblique visibility range in difficult meteorological conditions / V.V. Dorofeev: dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences: 25.00.30. Voronezh, VVAII, 2007. 306 p. (in Russian).
8. Dorofeev V.V., Nakhmanson G.S., Kovalev V.I. flight visibility. - Voronezh: Voronezh TSNTI - branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 2013. 280 p. (in Russian).
9. Nikolaev S.V. Determination in tests of the probability of detecting ground objects from the aircraft. Scientific Bulletin of MSTU GA. 2017. 20(5). 131–144. (in Russian).
10. Federal Air Transport Agency of the Russian Aviation: [Electronic resource] URL: <https://m.favt.gov.ru> (date of access: 06/03/2021). (in Russian).

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

---

11. Aviation accidents: causes, analysis, reports, investigations: [Electronic resource] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnye-proisshestiya> (date of access: 03.11.2021). (in Russian).
12. Commonwealth of Aviation Experts: [Electronic resource] URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (date of access: 04.11.2021). (in Russian).
13. Analysis of the state of flight safety in civil aviation: [Electronic resource] URL: <https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (date of access: 05.11.2021). (in Russian).
14. Interstate Aviation Committee: [Electronic resource] URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (date of access: 04.11.2021). (in Russian).
15. Arbuzov I.V., Bolkhovitinov O.V. Combat aviation systems and their effectiveness. М.: VVIA im. prof. NOT. Zhukovsky, 2008. 224p. (in Russian).
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2020660805. "Calculation of the flight visibility range during flight planning": computer program / A.A. Nasonov, V.V. Dorofeev, A. V. Stepanov. – Application No. 2020660011. Date of receipt 09/03/2020. Registered in the Register of computer programs on 09/11/2020. (in Russian).
17. Certificate of state registration of the computer program No. 2020663409. "Calculation of flight visibility taking into account the linear size of the object (landmark)": computer program / A.A. Nasonov, V.V. Dorofeev, A. V. Stepanov. Application No. 2020662725. Date of receipt 10/13/2020. Registered in the Register of computer programs on 10/27/2020. (in Russian).
18. Certificate of state registration of the computer program No. 2020666495. "Calculation of the influence of the terrain on the height of the lower cloud cover and meteorological visibility range": computer program / A.A. Nasonov, A.V. Stepanov, V. A. Senkin. Application No. 2020665241. Date of receipt 11/24/2020. Registered in the Register of computer programs on 12/10/2020. (in Russian).

*Поступила в редакцию 07.10.2023 г*

**РАЗДЕЛ 3.**  
**ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

*УДК 551.435.2*

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ  
МАССИВАХ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

*Латыпов А. И.<sup>1</sup>, Гараева А. Н.<sup>2</sup>, Королев Э. А.<sup>3</sup>*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: <sup>1</sup>airatlat@mail.ru, <sup>2</sup>anastya-solnce@mail.ru, <sup>3</sup>edik.korolev@gmail.com*

Статья посвящена изучению элювиальных отложений на территории Бугульминско-Белебеевской возвышенности. За счет деятельности речной эрозии на этой территории сформировался сильно расчлененный и пересеченный рельеф местности. Его характерными элементами являются выположенные эрозионно-денудационные водораздельные пространства, разделенные узкими речными долинами и террасированными склонами.

По результатам исследований выявлено, что различие строения профилей выветривания в доломитовых и терригенных грунтовых массивах обусловлено структурно-минералогическими особенностями пород, приобретенными на стадии седиментации и последующего диагенеза.

**Ключевые слова:** гипергенное преобразования грунтового массива; физическая дезинтеграции, элювий, кора выветривания, карбонатные породы, терригенные породы, Бугульминско-Белебеевская возвышенность

**ВВЕДЕНИЕ**

Развитие нефтедобывающей отрасли на территории Республики Татарстан обуславливает необходимость дополнительных исследований геологического строения грунтовых массивов, являющихся основаниями для прокладки новых нефтепроводов и обустройстве станков-качалок. Поскольку недоучет свойств грунтовой толщи, в которые заглубляют промышленные трубопроводы для транспортировки нефти, может привести к деформациям и разрывам ответственных конструкций [1, 2]. В Татарстане основные подземные магистрали транспортировки нефти проложены в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, где осуществляется разработка наиболее крупных по запасам нефтяных месторождений [3, 4, 5, 6]. Заглубление нефтепроводов, как правило, проводится в толще элювиальных покровных отложений, перекрывающих коренные породы средне пермского возраста (рис. 1).

При этом изыскательские и проектные организации, работающие на данной территории, сталкиваются с серьезными проблемами, связанными прежде всего с отсутствием представлений о строении элювиальных толщ и физико-механических свойствах элювиальных грунтов. Это приводит к целому ряду ошибочных решений, напрямую влияющих на выбор проектных решений фундаментов зданий и сооружений. Так, неправильно выбранный метод бурения и полевого опробования

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

приводит к разрушению цементационных связей в песчаниках и раздроблению относительно крепких карбонатных пород, что приводит к ошибочному представлению о степени выветрелости пород. При лабораторных исследованиях грунтов трудности возникают при выборе методик исследований, связанных с классификационной принадлежностью и скальным или дисперсным грунтам.

Проектирование свайных фундаментов на элювиальных грунтах сталкивается с проблемой расчета несущей способности свай, так как нормативные формулы и корреляционные зависимости построены без учета неполной выветрелости элювиальных пород и сохранения в них структурных связей.

Кроме того, отсутствие методик оценки процессов химического выветривания не позволяет корректно оценить опасность и динамику развития карстово-суффозионных процессов, часто развивающихся в ослабленных элювиальных грунтах.

В географическом отношении возвышенность расположена в Южном Предуралье на территориях Татарстана, Башкортостана, Самарской и Оренбургской областей. Она является естественным водоразделом между реками Волга, Кама и Белая [7]. Представляет собой сильно расчлененное увалисто-холмистое плато, возвышающееся на 370–420 м над уровнем моря. В основании Бугульминско-Белебеевской возвышенности находится Южно-Татарский свод, являющейся тектонической структурой I порядка в пределах Волго-Уральской антеклизы. В геологическом строении возвышенности принимают участие породы девонской, каменноугольной, пермской и четвертичной систем. В приповерхностной части обнажаются отложения биармийского отдела пермской системы, в различной степени перекрытые покровами четвертичного возраста.



Рис. 1. Прокладка трубопровода для нефтедобывающей организации по элювиальным карбонатно-терригенным породам (фото Гараева А.Н.).

В основании грунтовых массивов повсеместно залегают породы казанского и уржумского ярусов. В разрезах казанского века отмечается переслаивание светло-серых известняков и доломитов, в кровле переходящих в зеленовато-серые и красные алевролиты и песчаники. Породы образовывались в мелководно-морских условиях эпиконтинентального бассейна седиментации. В разрезах уржумского века преобладают красно-бурые континентальные отложения, представленные лагунно-озерными доломитами, доломитовыми мергелями, глинами, алевролитами и песчаниками.

В неоген-четвертичное время территория испытала восходящие тектонические движения, что вызвала активизацию процессов выветривания и водной эрозии [8]. Были заложены речные долины р. Степной Зай, Ик, Шешма, которые на протяжении длительного периода выравнивали неровности и нивелировали высоты земной поверхности. За счет деятельности речной эрозии в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности сформировался сильно расчлененный и пересеченный рельеф местности. Его характерными элементами являются выположенные эрозионно-денудационные водораздельные пространства, разделенные узкими речными долинами и террасированными склонами. Перепад высот между вершинами и тальвегами долин составляет 170–200 м. Резкая дифференциация рельефа свидетельствует, что новейшие тектонические поднятия территории продолжаются и в наше время. На большей части эрозионно-денудационных останцев красноцветные отложения уржумского яруса разрушены и смыты в низины водными потоками. Следы их существования отмечаются в виде красно-бурых делювиально-пролювиальных и делювиальных суглинков на светло-серых карбонатных склонах водоразделов и в тальвегах речных долин. Выположенные вершины водоразделов, представленные эрозионно-денудационными террасированными останцами, сложены либо карбонатными породами, либо терригенными. Независимо от литологической принадлежности все коренные породы казанского яруса подверглись процессам выветривания с образованием относительно мощных элювиальных покровов.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучение строения элювиальных отложений проводилось по стенкам карьеров, вскрывшим в полном объеме толщу гипергенно преобразованных пород. Выбирались карьеры, заложенные на вершинах, выположенных эрозионно-денудационных останцев, где наиболее полно проявились процессы выветривания и практически отсутствовал склоновый снос обломочного материала. Таким образом, получали возможность в полном объеме изучить разрез элювиальных толщ. В карьерах, расположенных на склонах останцев, фиксируются в основном сокращенные профили выветривания. При описании стенок карьеров выделялись слои измененных пород различного сложения и состава, определялись их мощности и степень трещиноватости. Описание геологических разрезов сопровождалось фотофиксацией и отбором образцов для лабораторных исследований. В общей сложности было



## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

изучено 26 карьеров, часть из которых вскрыла элювиальный покров, развивающийся по карбонатным породам, часть – по терригенным.

Анализ профиля выветривания по карбонатным породам казанского яруса позволил выявить следующие закономерности гелергенного преобразования грунтового массива [9, 10] (рис. 2). В основании элювиальных отложений повсеместно залегают слабо измененные, плотные, светло-серые известняки. Породы разбиты редкими вертикальными трещинами, находящимися на расстоянии 3–5 м друг от друга, на крупные фрагменты. Трещины открытые, шириной до 1,0 см, по их стенкам отмечаются редкие светло-серые или бурые корочки натечного кальцита. Наличие трещин разгрузки в плотных известняках подошвы профиля выветривания обуславливает хорошие дренирующие свойства верхней части грунтового массива, что исключает формирования в них даже временных водоносных горизонтов. Над относительно плотным слабо измененным известняком залегают слои аналогичных пород с повышенной трещиноватостью мощностью до 1,5 м. В пределах этого слоя существенно увеличивается плотность трещин, сгущается сетка вертикальных трещин, появляются горизонтальные системы трещин. Порода разбивается на крупные блочные отдельности в виде параллелепипедов, разделенных открытыми протяженными разрывами. Снизу вверх по слою отмечается закономерное уменьшение размеров блочных отдельностей. Если в нижней части слоя преобладают крупные обособления средним размером 0,6х0,3х0,4 м, то в кровле — размеры блоков уменьшаются до 0,25х0,15х0,2 м. Соответственно увеличивается и плотность трещин с 10–12 шт./м<sup>2</sup> до 16–20 шт./м<sup>2</sup>.



Рис. 2. Карбонатный карьер п.Райлан Бугульминский район Республика Татарстан (фото Гараева А.Н.).

Несмотря на повышенную трещиноватость пород, блочные отдельности в пределах слоя сохраняют пространственное положение, унаследованное от исходных известняков, без каких-либо существенных смещений. При этом они относительно прочно удерживаются в грунтовом массиве, что позволяет планировать в них заложение отвесных уступов.

Выше по разрезу залегают карбонатные породы, в которых преобладают плитчатые отдельности. В этом слое увеличивается количество трещин отрыва как вертикальных, так и горизонтальных. В подошве слоя преобладают крупноблочные отдельности 0,2х0,08х0,1 м, в кровле — их размер уменьшается до тонкоплитчатой размерности 0,1х0,05х0,03 м. Несмотря на относительно небольшие размеры все отдельности плотно прилегают друг к другу с сохранением условий залегания первичных пород и их структурных и текстурных особенностей. Однако, сила сцепления между плиточками не значительна, отдельности легко разбираются вручную при минимуме механического воздействия. Мощность слоя составляет 1,2–2,0 м. Выше по разрезу наблюдается зона полной дезинтеграции карбонатных пород мощностью до 1,5 м. В пределах этой зоны отсутствует структурная связность грунтового массива. Тонкие плиточки отдельностей не контактируют между собой, часто ориентированы по отношению друг к другу под углом 5–15 град. Пустоты трещин между ними частично или полностью заполнены карбонатной мукой. Подобные слои дезинтегрированных карбонатных пород в разрезе профиля выветривания могут чередоваться со слоями более плотных массивных известняков. Такое избирательное преобразование карбонатных пород обусловлено их литолого-минералогическими особенностями, приобретенными при литогенезе. Изначально более плотные известняки в меньшей степени подвергались процессам выветривания, по сравнению с глинистыми известняками и известковистыми доломитами, при одинаковых условиях выветривания. За счет этого в верхней части профиля зоны гипергенеза сформировался слоеный «пирог» их плотных и расструктурированных карбонатных пород. Венчает разрез профиля выветривания слой карбонатной (известково-доломитовой) муки, мощность которого варьирует от 0,3 до 0,6 м. В зависимости от степени преобразованности пород карбонатная мука содержит различное количество дресвяного материала, представленного обломками тонкоплитчатого доломита или заглинизированного известняка. В некоторых разрезах карбонатная дресва рассеяна по всему слою, в некоторых — сконцентрирована в нижней подошвенной части слоя. В зоне развития карбонатной муки можно наблюдать, как первично горизонтально залегающие доломиты или глинистые известняки начинают приобретать экзогенные складчатые деформации. Формирование складок происходит за счет неравномерного растворения пород и выноса тонкодисперсного материала из-под тонкоплитчатых доломитов и известняков. В результате неравномерных просадок изначально горизонтально расположенные тонкоплитчатые карбонатные породы приобретают волнисто-складчатое залегание.

Перекрывает разрез молодой коры выветривания маломощный (0,1–0,2 м) почвенно-растительный покров, представленный светло-бурыми карбонатно-подзолистыми почвами. В подошве почвенно-растительного покрова отмечается зона

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

иллювия, в виде вмывания карбонатно-глинистых частиц почвы в полости трещин между плитчатыми отдельностями доломитов и заглинизированных известняков.

Анализ профилей выветривания по терригенным породам показал, что в песчаниках процессы гипергенных преобразований протекают более однообразно, по сравнению с карбонатными породами (рис. 3). Это обусловлено с одной стороны более выдержанным минеральным составом и структурно-текстурными характеристиками песчаников по всей выветривающейся толще, с другой — наличием в них лишь одного минерала, неустойчивого к процессам выветривания в краткосрочный период времени. В долгосрочной перспективе профиль коры выветривания приобретет более сложное строение за счет вовлечения в преобразования алюмосиликатных минералов. В настоящее время зональность профиля гипергенеза выглядит следующим образом. В основание профиля залегают практически неизменные плотные зеленовато-серые песчаники, формировавшиеся в прибрежной части мелководного эпиконтинентального морского бассейна седиментации. Источником сноса терригенного материала в Казанское палеоморе являлись разрушающиеся Уральские горы, поэтому обломочная компонента пород обладает пестрым петрографическим составом.



Рис. 3. Терригенный карьер п. Ирекле Альметьевский район Республика Татарстан (фото Гараева А.Н.).

В составе аллотигенной части песчаников преобладают окатанные обломки эффузивных и кремнистых пород (65%), в меньшей степени полуокатанные зерна кварца (20%), угловатые зерна полевых шпатов (15%), редкие чешуйки мусковита и хлорита. В соответствии с классификацией В.Д. Шутова породы относятся к граувакковым песчаникам [11]. Обломки горных пород и минералов, характеризующиеся преобладающим размером 0,1–0,25 мм, составляют 80–85% состава песчаников. Обломки сцементированы глинисто-кальцитовым цементом, содержание которого варьирует в пределах 15–20%. Кальцитовый цемент базально-

порового типа, по структуре тонкозернистый, участками перекристаллизован до мелкозернистой размерности. В межзерновом пространстве кальцитового цемента отмечаются включения тонкодисперсных глинистых минералов. За счет неравномерной концентрации глинистой компоненты песчаники обладают неяснослоистой текстурой. По данным рентгенографического анализа глинистые минералы представлены смешаннослойной минеральной фазой иллит-монтмориллонитового состава, в меньшей степени иллитом и хлоритом. Благодаря преобладанию жестких структурных химических связей и низкой пористости песчаники обладают относительно высокой механической прочностью.

Над ними отмечается небольшой по мощности слой (0,4–0,6 м), представляющий собой зону дезинтеграции в подошве молодой коры выветривания. Этот слой сложен различными по размерам уплотненными обособлениями плотного песчаника, сцементированными рыхлым глинисто-обломочным материалом. Обособления имеют общую пространственную ориентировку, располагаясь согласно нижерасположенным плотным песчаникам. При этом текстура в обособлениях повторяет слоистую текстуру в плотных, неизменных терригенных породах. По границам плотных фрагментов дезинтегрированного песчаника отмечаются многочисленные темно-бурые пленочки гидроокислов железа. В стенках карьеров часто наблюдаются вывалы плотных фрагментов песчаников из слоя в результате осыпания цементирующего их рыхлого глинисто-обломочного материала.

Выше по разрезу залегает слой слабо сцементированного глинистого песчаника ненарушенного сложения мощностью от 2,5 до 6,0 м, представляющий собой покровный элювий. В отличие от нижележащих материнских терригенных пород, он претерпел более интенсивное гипергенное преобразование. В результате многовекового промывного режима нисходящими водами атмосферных осадков из состава песчаников элювиального слоя был полностью растворен и вынесен кальцит цемента. При этом глинистая компонента претерпела небольшой по дальности перенос из межзернового пространства породы к границам и стыкам близко расположенных обломков минералов и горных пород. За счет удаления кальцитового цемента обломки сблизались друг с другом, пространство между ними частично заполнилось тонкоалевритовым и глинистым материалом. Элювированные песчаники малопрочные, разуплотненные, легко рассыпаются при незначительном механическом воздействии до состояния песка. При этом в массиве они сохраняют все структурно-текстурные признаки присущие плотным неизменным породам. Сверху вниз по разрезу зоны гипергенеза отмечается незначительное увеличение глинистого материала. В ряде разрезов в теле элювированных малопрочных песчаников фиксируются наклонные трещины, обогащенные темно-бурыми агрегатами лимонита. На поверхности отдельных эффузивных обломков пород и сцементированных агрегатов присутствуют черные агрегаты оксидов марганца (пиролюзит-псиломелан). Если над слоем разуплотненных песчаников залегает рыхлый, бесструктурный карбонатный элювий, то в трещинах обнаруживаются вымытые светло-серые обломки разрушенных доломитов алевропесчаной размерности. Преобладание в элювированных песчаниках механических и водно-

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

---

коллоидных связей часто приводит к осыпаниям и обрушениям склонов карьеров, заложенных в терригенных породах.

Различия в строение профилей выветривания элювированных карбонатных и терригенных пород Бугульминско-Белебеевской возвышенности являются следствием избирательности взаимодействия породообразующих минералов доломитов и песчаников с гипергенными процессами. Доломиты, обладающие более-менее однородным минеральным составом, сложенные плотно соприкасающимися ромбоэдрическими микрочастицами (5,0–10 мкм), между которыми существуют прочные кристаллизационные структурные связи, относятся к устойчивым породам в массивах казанского яруса (рис. 3). Низкая межзерновая пористость субкапиллярной размерности, препятствующая проникновению воды из внешней среды, делает доломиты устойчивыми к растворению. В пользу этого говорит отсутствие каверн выщелачивания внутри слоя при наличии борозд и выемок выщелачивания в кровле слоя, являющейся локальным водоупором для инфильтрующихся вод атмосферных осадков. Песчаники, в отличие от доломитов, являются полиминеральными породами, состоящими из множества минералов, обладающих различной устойчивостью к процессам выветривания. За счет большей пористости и лучшей проницаемости терригенных пород, через них проходит больший объем нисходящих дождевых и талых снеговых вод. Более интенсивный водообмен в порах песчаников способствует интенсификации процессов растворения неводостойких минеральных фаз. Таким образом, различие строения профилей выветривания в доломитовых и терригенных грунтовых массивах обусловлено структурно-минералогическими особенностями пород, приобретенными на стадии седиментации и последующего диагенеза.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение продуктов гипергенеза верхней части элювия молодой коры выветривания по доломитовым породам показал, что здесь преобладают процессы физической дезинтеграции. Так слой бесструктурного элювия сложен агрегатами псаммитовой размерности, состоящими из сростков хорошо окристаллизованных доломитовых зерен ромбоэдрического габитуса. Среди агрегатов присутствуют многочисленные разобщенные микрочастицы доломита размером до 10 мкм, также с хорошо сохранившимися элементами ромбоэдра (рис. 4). Наличие у доломитовых зерен хорошо сохранившихся гладких граней, ребер и углов свидетельствует об отсутствии протекания в породах реакций растворения. Сохранение габитусных элементов зерен при дезинтеграции плотных доломитов указывает на преобладание механизма разрывов кристаллизационных структурных связей между зернами без повреждения их первичного облика. Подобный механизм характерен для климатических зон с существенными сезонными перепадами температур. Именно такие природно-климатические условия и существовали в неоплейстоцене на территории Бугульминско-Белебеевской возвышенности, входящей в состав перигляциальной зоны с часто сменяющимися лесостепными ландшафтами [12, 13, 14, 15]. В периоды выпадения атмосферных осадков в субкапиллярных межзерновых порах доломитовых пород формировались тонкие водные пленочки.



Рис. 4. Фото шлифа породы (А) и поверхность скола доломита (Б)

(Составлено авторами)

Оказывая расклинивающее действие на соседние зерна, прилегающие друг к другу, они постепенно ослабляли кристаллизационные связи между ними. В периоды понижения температуры поверхностная энергия незамерзающей поровой воды на границе с твердой минеральной фазой возрастала. Создающиеся напряжения способствовали окончательному разрыву межзерновых структурных связей в породах, способствуя их механическому разрушению [16]. Процессы химического выветривания отходят на второй план. Нисходящая инфильтрация атмосферных осадков участками выносить доломитовую муку бесструктурного элювия по трещинам в нижележащие трещиноватые доломиты, формируя иллювий. В областях интенсивного выноса дезинтегрированного материала деятельность нисходящими водных потоков, за счет суффозии, приводит к оседанию слоев структурного элювия с образованием экзогенной складчатости.

Песчаники, в отличие от доломитов, более подвержены влиянию процессов гипергенеза. За счет повышенной пористости и проницаемости через них проходят большой объем агрессивных атмосферных вод, что приводит к активизации растворения кальцитового цемента пород. В шлифах видно, как снизу вверх по профилю кор выветривание происходит уменьшение доли кальцита в породе с увеличением общей пористости (рис. 5).

Физическое выветривание, характерное для современного холодного и умеренного климата, вызывается в основном колебаниями температуры, замерзанием и оттаиванием воды в трещинах разного размера (включая микротрещины), что приводит к дезинтеграции горных пород, вначале — на крупные глыбы, затем — на щебень, дресву и отдельные минеральные зерна, представленные в основном фракциями песка и пыли (алеврита). Вторичные глинистые минералы образуются в небольших количествах, за исключением случаев, когда выветриванию подвергаются породы, содержащие их в своем составе (глинистые сланцы, аргиллиты, глинистые песчаники, глинистые алевролиты, мергели). Обломочный материал, образующийся при физическом выветривании, сохраняет минеральный состав материнской породы и значительную прочность благодаря унаследованной структурных связей.

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ  
БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

---

Песчаники, в отличие от доломитов, являются полиминеральными породами, состоящими из множества минералов, обладающих различной устойчивостью к процессам выветривания. За счет большей пористости и лучшей проницаемости терригенных пород, через них проходит больший объем нисходящих дождевых и талых снеговых вод. Более интенсивный водообмен в порах песчаников способствует интенсификации процессов растворения водорастворимых соединений и выноса в ионной форме.

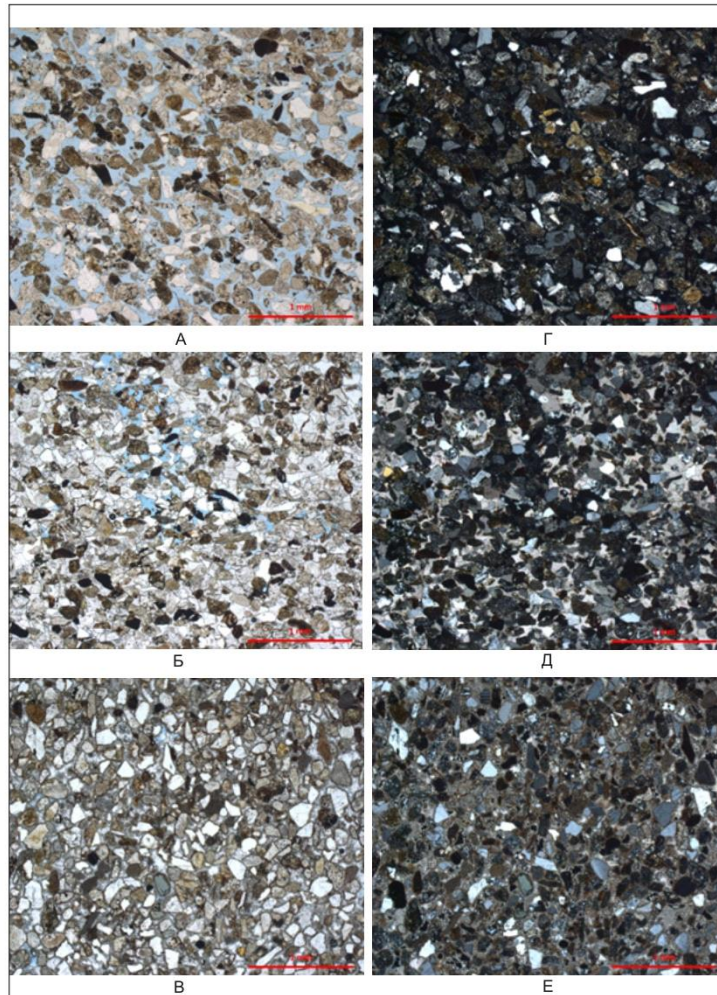


Рис. 5. Фото шлифов песчаников различной степени гипергенного преобразования: в одном николе (А, Б, В) и в скрещенных николях (Г, Д, Е).  
(Составлено авторами)

## ВЫВОДЫ

1. В геологическом строении большей части территории Бугульминско-Белебеевской возвышенности принимают участие элювиальные покровные отложения терригенного и карбонатного типа, перекрывающих коренные породы среднепермского возраста, представленных переслаиванием морских светло-серых известняков и доломитов, зеленовато-серых алевролитов и песчаников, и континентальных красноцветных лагунно-озерных доломитов, мергелей, глин, алевролитов и песчаников.

2. Проектно-изыскательские организации при проведении изысканий на исследуемой территории сталкиваются с целым рядом трудностей, напрямую влияющих на безопасность возводимых сооружений. Основными проблемами являются отсутствие представлений о строении выветрелых толщ, неправильный выбор методов бурения и отбора проб, отсутствие зависимостей для интерпретации данных полевого опробования и методик для корректной оценки физико-механических свойствах элювиальных грунтов с учетом степени их выветрелости.

3. Изучение процессов выветривания в карбонатных породах показало, что здесь преобладают процессы физической дезинтеграции с практически полным отсутствием протекания реакций растворения, что характерно для климатических зон с существенными сезонными перепадами температур.

4. В песчаниках за счет повышенной пористости и проницаемости активизируются процессы растворения и выноса в ионной форме водорастворимых соединений. Это приводит к тому, что снизу вверх по профилю кор выветривания происходит уменьшение доли кальцита в породе с увеличением общей пористости и ослаблением прочности грунтового массива.

5. Полученные в результате выполненных исследований результаты позволяют понять механизм выветривания в карбонатных и терригенных породах, а, следовательно, оценить потенциальное изменение физико-механических свойств пород как в период строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений.

## Список литературы

1. Власова Л.В., Ракитина Г.С., Долгов С.И. Влияние природных факторов на устойчивость функционирования Единой системы газоснабжения России. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. 184 с.
2. Ларионов В. И., Новиков П. А., Гумеров А. К. Анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода на участках с карстами // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. №3(88). С. 60–67.
3. Базаревская В.Г. Уникальное Ромашкинское месторождение Татарстана – неиссякаемый источник прироста запасов нефти // Георесурсы. 2006. №2(19). С.9–11.
4. Королев Э.А., Морозов В.П., Ескин А.А., Кольчугин А.Н. Постседиментационные доломитовые коллекторы каменноугольных отложений Мелекесской впадины и Южно-Татарского свода // Нефтяное хозяйство. 2016. №6. С. 40–42.
5. Королев Э.А., Нурғалиева Н.Г., Смелков В.М., Ескин А.А., Кальчева А.В. Литолого-петрофизические характеристики нефтеносных отложений бобриковского горизонта южного склона Южно-Татарского свода // Нефтяное хозяйство. 2016. №10. С. 17–19.
6. Чупкиова И.З. Доразведка, прирост запасов и добыча нефти на «старых» месторождениях новыми технологиями на примере Ново-Елховского месторождения // Георесурсы. 2012. №3(45). С.44–51.



**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ В КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ  
БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

---

7. Мартиросян И.Х., Тихова М.Ю. Природные условия и паводковый сток Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). 2012. №4. 6 с.
8. Мингазов М.Н., Стриженок А.А., Камышников А.Г., Киямова А.Г. Региональные аспекты новейшей тектоники Республики Татарстан // Георесурсы. 2014. №2(57). С.44–50.
9. Гараева А.Н., Латыпов А.И., Зарипова Д.Р. Особенности гипергенного преобразования карбонатно-терригенных пород Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Геологические науки – 2021: Материалы Всерос. научно-практ. конф. (Саратов, 2 - 3 декабря 2021 г.). Саратов: Издательство «Техно-Декор», 2021. С. 49–53.
10. Гараева А.Н., Латыпов А.И., Зарипова Д.Р. Элювиальные отложения эрозионно-денудационных останцев Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Сборник статей всероссийской молодёжной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий». – Москва: Издательство «Перо», 2021. С. 16–20.
11. Шутов В.Д. Минеральные парагенезы граувакковых комплексов. М.: Наука, 1975. 110 с.
12. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. 144 с.
13. Валиуллина Г.Ш., Илларионов А.Г. Плейстоценовое перигляциальное рельефообразование на территории Закамья Республики Татарстан // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. №11. С. 126–136.
14. Васильев Ю.М. Отложения перигляциальной зоны Восточной Европы. М.: Наука, 1980. 171 с.
15. Илларионов А.Г., Валиуллина Г.Ш. Некоторые черты осадко- и рельефообразования в плейстоценовом перигляциале Прикамья на территории Удмуртии и Татарстана // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2007. №11. С. 95-110.
16. Черняховский А.Г. Элювий и продукты его переотложения. М.: Наука, 1966. 179 с.

**FEATURES OF THE STRUCTURE AND FORMATION OF ELUVIAL  
DEPOSITS IN CARBONATE-TERRIGENOUS SOIL MASSIFS OF THE  
BUGULMA-BELEBEEVSKAYA UPLAND**

*Latypov A. I.<sup>1</sup>, Garaeva A. N.<sup>2</sup>, Korolev E. A.<sup>3</sup>*

*Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan,  
Republic of Tatarstan, Russian Federation.*

*E-mail: <sup>1</sup>airatlat@mail.ru, <sup>2</sup>anastya-solnce@mail.ru, <sup>3</sup>edik.korolev@gmail.com*

This article is about studying alluvial deposits on the territory of the Bugulma-Belebeevskaya upland. Due to river erosion, a highly dissected and rugged terrain has formed in this area. This can be seen from the flattened erosional-denudation watershed spaces separated by narrow river valleys and terraced slopes.

There is a high degree of technogenic and anthropogenic load on this territory, in particular, the main underground oil transportation highways are laid within the Bugulma-Belebeevskaya upland, where the development of the largest oil fields in terms of reserves is carried out. The sinking of oil pipelines is carried out in the thickness of alluvial cover deposits overlying Permian-age bedrock. At the same time, survey and design organizations working in this area face serious problems, primarily due to the lack of ideas about the structure of the eluvial strata and the physical and mechanical properties of eluvial soils. Therefore, there are erroneous decisions that affect the choice of design solutions for the foundations of buildings and structures. Thus, an incorrectly chosen method of drilling and

field testing leads to the destruction of cementation bonds in sandstones and fragmentation of relatively strong carbonate rocks, forming an erroneous idea of the degree of weathering of rocks. In laboratory studies of soils, difficulties arise in choosing research methods related to classification and rocky or dispersed soils.

The design of pile foundations on eluvial soils faces the problem of calculating the bearing capacity of piles, since normative formulas and correlation dependences are constructed without taking into account the incomplete weathering of eluvial rocks and the preservation of structural connections in them.

Moreover, the lack of methods for assessing chemical weathering processes does not allow us to correctly assess the danger and dynamics of karst-suffusion processes, which often develop in weakened eluvial soils.

According to the result, it is clear that the difference in the structure of weathering profiles in dolomite and terrigenous soil massifs is due to the structural and mineralogical features of rocks acquired at the stage of sedimentation and subsequent diagenesis.

The study of weathering processes in carbonate rocks has shown that the processes of physical disintegration prevail. The presence of well-preserved smooth faces, edges and corners in dolomite grains indicates the absence of dissolution reactions in the rocks. This is typical for climatic zones with significant seasonal temperature differences. Such natural and climatic conditions existed in the Neo-Pleistocene on the territory of the Bugulma-Belebeevskaya upland, which is part of the periglacial zone with frequently changing forest-steppe landscapes. The processes of chemical weathering here fade into the background.

Sandstones, unlike dolomites, are more susceptible to the influence of hypergenesis processes. Due to the increased porosity and permeability, a larger volume of aggressive atmospheric waters pass through them, which leads to the activation of the dissolution of calcite cement rocks. From the bottom up along the weathering crust profile, the proportion of calcite in the rock decreases with an increase in total porosity. Physical weathering, as in modern cold and temperate climates, is usually caused by temperature fluctuations, freezing and thawing of water in cracks of various sizes (including microcracks). This leads to the disintegration of rocks, first into large blocks, then into crushed stone, gravel and individual mineral grains, represented mainly by fractions of sand and dust (siltstone). Secondary clay minerals are formed in small quantities, except in cases when rocks containing them in their composition (clay shales, mudstones, clay sandstones, clay siltstones, marls) are subjected to weathering. The detrital material formed during physical weathering retains the mineral composition of the parent rock and significant strength due to inherited structural bonds.

Due to the greater porosity and better permeability of terrigenous rocks, a larger volume of descending rain and snowmelt waters passes through them. More intensive water exchange in the pores of sandstones contributes to the intensification of the processes of dissolution of water-soluble compounds and removal in ionic form.

As a consequence, the obtained results of the research allow us to understand the mechanism of weathering in carbonate and terrigenous rocks, and also, to assess the potential change in the physical and mechanical properties of rocks, both during construction and during the operation of buildings and structures.

**Keywords:** hypergene transformation of soil massif; physical disintegration, eluvium, weathering crust, carbonate rocks, terrigenous rocks, Bugulma-Belebeevskaya Upland.

### References

1. Vlasova L.V., Rakitina G.S., Dolgov S.I. Vliyanie prirodnyh faktorov na ustojchivost' funkcionirovaniya Edinoj sistemy gazosnabzheniya Rossii. M.: Gazprom VNIIGAZ, 2009. 184 s. (in Russian)
2. Larionov V. I., Novikov P. A., Gumerov A. K. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda na uchastkah s karstami // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie. 2012. №3(88). S. 60–67. (in Russian)
3. Bazarevskaya V.G. Unikal'noe Romashkinskoe mestorozhdenie Tatarstana – neissyakaemiy istochnik prirosta zapasov nefiti // Georesursy. 2006. №2(19). S.9–11. (in Russian)
4. Korolev E.A., Morozov V.P., Eskin A.A., Kol'chugin A.N. Postsedimentacionnye dolomitovye kollektory kamennougol'nyh otlozhenij Melekesskoj vpadiny i YUzhno-Tatarskogo svoda // Neftyanoe hozyajstvo. 2016. №6. S. 40–42. (in Russian)
5. Korolev E.A., Nurgalieva N.G., Smelkov V.M., Eskin A.A., Kal'cheva A.V. Litologo-petrofizicheskie harakteristiki neftenosnyh otlozhenij bobrikovskogo gorizonta yuzhnogo sklona YUzhno-Tatarskogo svoda // Neftyanoe hozyajstvo. 2016. №10. S. 17–19. (in Russian)
6. CHupikova I.Z. Dorazvedka, prirost zapasov i dobycha nefiti na «staryh» mestorozhdeniyah novymi tekhnologiyami na primere Novo-Elhovskogo mestorozhdeniya // Georesursy. 2012. №3(45). S.44–51. (in Russian)
7. Martirosyan I.H., Tihova M.YU. Prirodnye usloviya i pavodkovyj stok Bugul'minsko-Belebeevskoj vozvyshennosti // Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN (elektronnyj zhurnal). 2012. №4. 6 s. (in Russian)
8. Mingazov M.N., Strizhenok A.A., Kamyshnikov A.G., Kiyamova A.G. Regional'nye aspekty novejshej tektoniki Respubliki Tatarstan // Georesursy. 2014. №2(57). S.44–50. (in Russian)
9. Garaeva A.N., Latypov A.I., Zaripova D.R. Osobennosti gipergenno preobrazovaniya karbonatno-terrigenykh porod Bugul'minsko-Belebeevskoj vozvyshennosti // Geologicheskie nauki – 2021: Materialy Vseros. nauchno-prakt. konf. (Saratov, 2 - 3 dekabrya 2021 g.). Saratov: Izdatel'stvo «Tekhno-Dekor», 2021. S. 49–53. (in Russian)
10. Garaeva A.N., Latypov A.I., Zaripova D.R. Elyuvial'nye otlozheniya erozionno-denudacionnykh ostancev Bugul'minsko-Belebeevskoj vozvyshennosti // Sbornik statej vsrossijskoj molodyozhnoj konferencii «Geologiya, geoekologiya i resursnyj potencial Urala i sopredel'nykh territorij». – Moskva: Izdatel'stvo «Per», 2021. S. 16–20. (in Russian)
11. Shutov V.D. Mineral'nye paragenezы grauvalkovykh kompleksov. M.: Nauka, 1975. 110 s. (in Russian)
12. Butakov G.P. Plejstocenovyy periglyacial na vostoке Russkoj ravniny. Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 1986. 144 s. (in Russian)
13. Valiullina G.SH., Illarionov A.G. Plejstocenovoe periglyacial'noe rel'efoobrazovanie na territorii Zakam'ya Respubliki Tatarstan // Vestn. Udm. un-ta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. 2010. Vyp. 4. №11. S. 126–136. (in Russian)
14. Vasil'ev YU.M. Otlozheniya periglyacial'noj zony Vostochnoj Evropy. M.: Nauka, 1980. 171 s. (in Russian)
15. Illarionov A.G., Valiullina G.SH. Nekotorye cherty osadko- i rel'efoobrazovaniya v plejstocenovom periglyaciale Prikam'ya na territorii Udmurtii i Tatarstana // Vestn. Udm. un-ta. Ser. Nauki o Zemle. 2007. №11. S. 95–110. (in Russian)
16. Chernyahovskij A.G. Elyuvij i produkty ego pereotlozheniya. M.: Nauka, 1966. 179 s. (in Russian)

*Поступила в редакцию 24.09.2023 г.*

УДК 624.15:551.435.8

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

Уткин М. М.<sup>1</sup>, Уткин М. В.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>АО «Гео Палитра», Нижний Новгород, Российская Федерация  
E-mail: <sup>1</sup>geokarst@mail.ru, <sup>2</sup>mike531900@gmail.com

В статье изложен практический опыт лабораторных исследований по определению скорости растворения гипсовых пород, залегающих в пределах крупной карстовой полости и за ее пределами. Особое внимание уделено подготовке экспериментальных испытаний, которая осуществлялась с максимально возможным учетом 4 основных факторов, влияющих на скорость растворения. Испытания проводились на специально разработанной авторами экспериментальной установке. По результатам экспериментов подтверждено, что скорость растворения гипсовых пород в зоне крупных карстовых полостей серьезно возрастает (в рассматриваемом примере в среднем в 4,6 раза). Кроме того, в условиях неглубокого карста важно учитывать скорость расширения ослабленных зон, прилегающих к полостям.

**Ключевые слова:** карст, крупная карстовая полость, скорость растворения карстующихся пород, скорость роста карстовой полости, скорость расширения ослабленной зоны.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно действующим нормативным документам по проектированию зданий и сооружений [1, 2], при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях необходимо в полевых или лабораторных условиях выполнять количественную оценку скорости растворения карстующихся пород (см/год), используемую в дальнейшем для оценки размеров карстовой полости к окончанию расчетного срока службы (эксплуатации) сооружения. На основании размеров полости осуществляется прогностическая оценка карстовой опасности и, в некоторых случаях (например, при выполнении расчетов численными методами с применением геотехнических программ), проектирование противокарстовой защиты.

В зонах залегания крупных карстовых полостей режим движения подземных вод обычно является турбулентным (вихревым), при котором интенсивность протекания процесса растворения значительно выше, чем при ламинарном (слоистом) движении. Целью статьи является подтверждение изложенного обстоятельства количественной оценкой скорости растворения гипсовых пород, выполняемой в лабораторных условиях.

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является участок строительства, находящийся в ~1,9 км северо-восточнее села Абабково Павловского района Нижегородской области. Территория участка приурочена ко II надпойменной террасе р. Кишма и характеризуется большим количеством разнообразных поверхностных карстовых форм, вследствие чего при районировании она была отнесена ко II категории карстовой опасности [3] и к опасной категории в карстово-суффозионном отношении [1].

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

Геологический разрез участка сложен отложениями четвертичной и пермской систем.

Четвертичные отложения представлены главным образом суглинком мягко- и тугопластичным, с прослоями песка средней крупности. Мощность покровной толщи небольшая, составляет всего 8,7 м.

Пермские отложения представлены только сульфатными породами (гипсами и ангидритами), так как глинистые и карбонатные породы полностью размыты. Верхняя часть сульфатной толщи (до глубины 30,2 м) сложена главным образом гипсом средней прочности трещиноватым, прослоями выветрелым до состояния щебня, дресвы и муки. В интервале глубин 11,0–13,0 м (высота 2,0 м) вскрыта полость, частично заполненная рыхлым песчано-глинистым материалом, с включениями щебня и дресвы сульфатных и карбонатных пород. В интервале 16,0–24,3 м (высота 8,3 м) вскрыта уже крупная полость, почти на 60% заполненная тем же материалом, что и вышеуказанная полость. С глубины 30,2 м сульфатная толща сложена чередующимися доломитизированными слоями гипса средней прочности трещиноватого и ангидрита в основном прочного.

Отдельно необходимо отметить, что первая полость расположена не в кровле карстующейся толщи, а именно перекрыта гипсовой балкой высотой 2,3 м. Вторая полость отделяется от первой аналогичной балкой высотой 3,0 м. Наличие гипсовых балок позволяет полостям развиваться в ширину до очень больших размеров. Поэтому балки могут уменьшать интенсивность возникновения и развития карстовых деформаций на дневной поверхности. Однако, если произойдет обрушение балки, то это приведет к мгновенному образованию крупного карстового провала.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием грунтового и трещинно-карстового водоносных горизонтов.

Горизонт грунтовых вод приурочен к четвертичным отложениям. Водовмещающими грунтами являются прослойки песка, а также мягкопластичный суглинок. Воды безнапорные, вскрыты на глубине 1,5 м.

Трещинно-карстовый водоносный горизонт приурочен к пермским отложениям. Водовмещающими породами являются гипсы. Воды напорные, первоначально вскрыты на глубине 10,5 м, высота напора составила 7,4 м. По химическому составу вода сульфатная кальциевая, натриево-кальциевая. Ее минерализация в зоне полостей составила 1,643–1,968 г/л, за их пределами — 2,807–3,130 г/л.

### ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Скорость растворения карстующихся пород зависит от 4 основных факторов — химического состава и состояния пород, химсостава и скорости движения подземных вод, приуроченных к карстующимся породам. Поэтому при планировании и подготовке экспериментальных испытаний в максимальной степени учитывались все указанные факторы.

Испытуемые образцы вырезались из образцов ненарушенной структуры (монолитов), отобранных из глубокой карстологической скважины. Первые два образца отобраны в зоне карстовых полостей, а именно первый образец отобран из

первой гипсовой балки, а второй образец — из второй балки. Вторые два образца отобраны за пределами зон влияния карстовых полостей (в подошве верхней и кровле нижней части сульфатной толщи), что подтверждается результатами химических анализов и полевых опытно-фильтрационных работ, выполненных для различных интервалов трещинно-карстового водоносного горизонта.

С целью минимизации нарушений поверхностей растворения, сверление отверстий в испытуемых образцах производилось различными диаметрами буров и со средней скоростью проходки. Конечный диаметр отверстий составил около 12 мм.

Таким образом, при подготовке экспериментов в максимальной степени были учтены первые два фактора.

Подготовленные к проведению испытаний образцы пород высушивались в соответствующем шкафу. После этого у каждого образца измерялась масса (на аналитических весах с точностью 0,01 г) и линейные размеры (микрометром с точностью 0,001 мм).

При бурении карстологической скважины в необходимом объеме осуществлялся забор подземных вод, приуроченных к гипсовым породам, из интервала толщи, на который не оказывают влияние карстовые полости. Далее вода оперативно доставлялась в лабораторию для подготовки к проведению испытаний. Для вторых двух образцов трещинно-карстовая вода принята в качестве растворителя, а для первых двух — смешивалась с водопроводной водой, с целью снижения минерализации до той, которая имеет место в зоне карстовых полостей.

Скорость движения трещинно-карстовых вод является одним из основных параметров, оказывающих значительное влияние на скорость растворения гипсовых пород [4, 5, 6]. Она определялась по результатам проведения в карстологической скважине полевых опытно-фильтрационных работ, а именно двух одиночных откачек. Первая откачка выполнена для интервала залегания крупной карстовой полости, а вторая откачка – для интервала, расположенного существенно ниже указанной полости. Отметим, что во втором случае коэффициент фильтрации гипсовой толщи получен почти в 5 раз меньше, чем в первом.

Таким образом, при подготовке экспериментов в максимальной степени были учтены вторые два фактора.

### **ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Испытания образцов пород проводились на специальной лабораторной экспериментальной установке (рис. 1), разработанной и изготовленной авторами настоящей статьи.

Экспериментальные испытания заключались в объемном расширении отверстия в образцах, в закрытой системе, при постоянном режиме фильтрации и ламинарном движении растворителя.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

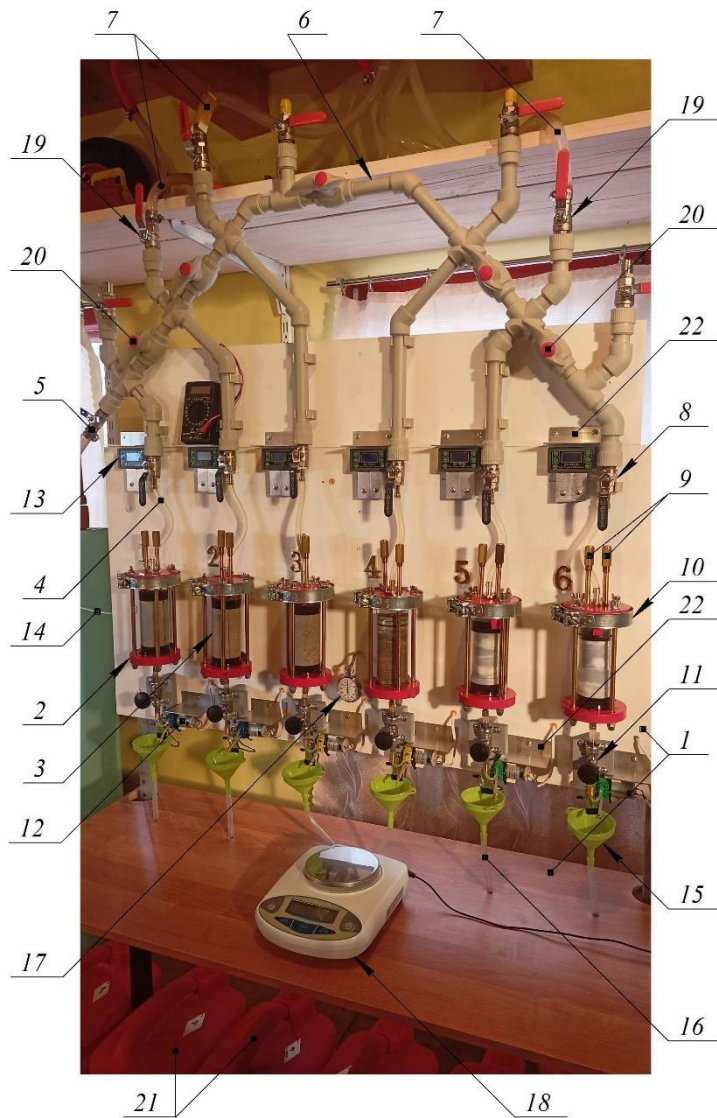


Рис. 1. Конструкция лабораторной экспериментальной установки для изучения скорости растворения карстующихся пород.

Условные обозначения: 1 — основание; 2 — рабочий цилиндр; 3 — образец растворяемой породы, установленный в рабочий цилиндр; 4 — соединительный шланг; 5 — сливной кран; 6 — распределительная гребёнка; 7 — шланги, подающие растворитель из напорных ёмкостей, расположенных на втором этаже лаборатории; 8 — подающий кран; 9 — прижимное устройство; 10 — хомут; 11 — выпускной кран; 12 — выпускной насос; 13 — пульт управления насосом; 14 — кабель питания; 15 — воронка; 16 — выпускной шланг; 17 — секундомер; 18 — аналитические весы; 19 —

перекрывающие краны; 20 — распределительные краны; 21 — приёмные ёмкости; 22 — защитные козырьки

Как отмечалось выше, режим движения подземных вод в зонах крупных карстовых полостей обычно является турбулентным. В настоящее время физическое моделирование такого движения вод в горных породах (особенно скальных) является весьма трудоёмкой задачей. Поэтому в данной работе все испытания выполнены при ламинарном движении. Принятое допущение, по нашему мнению, не приведет к потере достоверности результатов первых двух экспериментов, поскольку в зоне полости были исследованы и учтены в испытаниях химсостав воды и скорость ее движения.

В процессе проведения экспериментов на стандартный химический анализ отбирались пробы растворителя до и после его протекания через рабочие цилиндры. Результаты исследований показаны в таблице 1. Кроме того, ежедневно контролировался расход растворителя, прошедшего через каждый цилиндр.

Продолжительность всех экспериментов составила 35 суток.

Таблица 1.

Результаты стандартного химического анализа проб растворителя

№ обр. п/п	Условие отбора пробы растворителя	Анионы, мг/л			Катионы, мг/л			Сумма ионов, г/л
		$HCO_3$	$Cl$	$SO_4$	$Ca$	$Mg$	$Na+K$	
1	До прохождения рабочего цилиндра №4	228,80	21,3	835,6	428,86	2,43	6,21	1,532
		201,40	19,5	888,1	372,74	46,17	1,38	1,540
	После прохождения цилиндра №4	213,60	20,4	1063,0	424,85	26,73	67,39	1,824
		198,32	19,5	1139,8	384,77	41,31	114,54	1,904
2	До прохождения рабочего цилиндра №5	210,50	22,2	1084,0	384,77	36,45	105,11	1,851
		201,40	19,5	1160,8	356,71	43,74	154,33	1,944
	После прохождения цилиндра №5	213,60	21,3	1230,8	408,82	34,02	152,72	2,069
		198,30	17,7	1443,9	372,74	43,74	268,64	2,352
3	До прохождения рабочего цилиндра №6	280,70	23,0	1692,2	569,14	48,60	189,06	2,811
		244,08	19,5	1923,0	541,08	43,74	324,07	3,105
	После прохождения цилиндра №6	286,80	25,7	1683,3	561,12	58,32	179,17	2,803
		250,18	21,3	2069,8	577,15	46,17	352,13	3,326
4	До прохождения рабочего цилиндра №7	283,70	23,9	1497,7	565,13	51,03	97,52	2,529
		250,20	21,3	1692,2	553,10	72,90	148,35	2,748
	После прохождения цилиндра №7	280,70	24,8	1692,2	577,15	55,89	167,44	2,808
		247,13	21,3	1944,0	533,06	60,75	314,18	3,130

Примечание к таблице 1: пробы растворителя без выделения заливкой отобраны в начале экспериментов, а пробы с серой заливкой — в середине экспериментов.



## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

После завершения экспериментов испытанные образцы высушивались, с целью определения изменений массы и линейных размеров. Общий вид нескольких испытанных образцов показан на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид образцов ненарушенной структуры (слева) и испытанных образцов (справа): гипс в зоне крупной карстовой полости (а) и за ее пределами (б)

Линейная скорость растворения карстующихся пород  $V$  (см/сут), за время проведения экспериментальных испытаний, вычислялась по формуле

$$V = \frac{d_1 - d_0}{t}, \quad (1)$$

где  $d_0$  и  $d_1$  — диаметр отверстия в нижнем сечении образца, определяемый прямыми измерениями, соответственно, до и после эксперимента;  $t$  — продолжительность эксперимента.

Линейная скорость расширения ослабленной зоны  $V_{wz}$  (см/сут), прилегающей к карстовой полости, в первом приближении оценивалась следующим образом

$$V_{wz} = \left( \frac{\bar{d}_{1m} - \bar{d}_0}{t} \right) - V, \quad (2)$$

где  $\bar{d}_0$  и  $\bar{d}_{1m}$  — средний диаметр отверстия по длине образца, определяемый, соответственно, до эксперимента прямыми измерениями и после эксперимента расчетом через потерю объема образца. Последняя величина может быть вычислена по формуле

$$\bar{d}_{1m} = \bar{d}_0 + \sqrt{\frac{4\Delta V_d}{\pi l}}, \quad (3)$$

где  $l$  — длина образца;  $\Delta V_d$  — потеря объема сухого образца, оцениваемая через отношение потери массы сухого образца  $\Delta m_d$  к плотности сухой породы  $\rho_d$ .

Впоследствии величины  $V$  и  $V_{wz}$  пересчитывались на годовые путем линейной экстраполяции. Основные исходные данные и результаты экспериментальных испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные исходные данные и результаты экспериментальных испытаний

№ обр. п/п	Условия залегания образца	Скорость движения растворителя, м/сут	Приращение диаметра отверстия, $\Delta d$ , мм	Скорость растворения породы, $V$ , см/год	Скорость расширения ослабленной зоны, $V_{wz}$ , см/год
1	В зоне крупной карстовой полости	36,7	6,77	7,06	4,80
2		36,7	5,08	5,30	5,41
3	Вне зоны влияния карстовых полостей	7,4	1,10	1,14	5,79
4		7,4	1,46	1,52	5,32

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

После протекания растворителя через первый, второй, третий и четвертый испытуемые образцы минерализация растворителя в среднем увеличивается на 0.328, 0.313, 0.107 и 0.331 г/л (в 1.22, 1.17, 1.03 и 1.13 раза) соответственно (см. таблицу 1). Данные результаты хорошо соотносятся с результатами определения скорости растворения карстующихся пород (см. таблицу 2). Например, если рассмотреть результаты исследований по первым двум образцам, то наибольшее возрастание минерализации и, следовательно, максимальная скорость растворения получены для первого образца.

Увеличение минерализации растворителя происходит главным образом за счет выноса ионов  $SO_4$  и  $Na+K$ . Вероятно, указанные ионы, взаимодействуя между собой, могут образовывать сульфаты натрия ( $Na_2SO_4$ ) и/или калия ( $K_2SO_4$ ), являющиеся легкорастворимыми солями (растворимость  $Na_2SO_4$  в дистиллированной воде при температуре  $10^\circ C$  составляет 9,6 г/100 мл, а  $K_2SO_4$  — 9,3 г/100 мл, тогда как растворимость гипса в указанной воде составляет всего 0,244 г/100 мл).

Как показывает практический опыт по проведению данных экспериментов, легкорастворимые соединения активно выносятся не только с цилиндрической поверхности отверстия, но и с прилегающей к нему зоны. Поэтому скорость растворения карстующихся пород (роста пролета карстовых полостей) определялась

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

прямыми измерениями через приращение диаметра отверстия в испытуемых образцах, а скорость расширения ослабленных зон, прилегающих к полостям, – расчетом исходя из потери массы образцов.

Скорость расширения ослабленных зон изменяется незначительно (в 1,2 раза), так как во всех четырех экспериментах гипсы характеризовались примерно одинаковой пористостью и трещиноватостью. Следует отметить, что помимо карстовых полостей, приемником для вышележащих слабосвязных и в особенности несвязных отложений могут являться ослабленные зоны. Это обстоятельство важно учитывать при оценке карстовой опасности. Кроме того, в ослабленных зонах могут заметно снижаться физико-механические характеристики пород, что рекомендуется учитывать при проектировании зданий и сооружений, особенно в условиях неглубокого карста (при опирании подземных конструкций сооружений непосредственно на карстующиеся породы и при залегании карстующихся пород в пределах сжимаемой толщи основания).

Скорость растворения гипсовых пород в зоне крупной карстовой полости получена больше в 3,5–6,2 раза (в среднем в 4,6 раза), чем вне зоны ее залегания. Среднее значение скорости растворения в зоне полости составило 6,18 см/год, за ее пределами — 1,33 см/год.

Таким образом, скорость растворения карстующихся пород в зонах крупных карстовых полостей, как правило, значительно выше, чем за пределами данных зон. При этом наибольшее значение скорости растворения (7,06 см/год) не так сильно отличается от максимального значения (10 см/год), указанного в таблице 6.16 СП [1].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скорость растворения карстующихся пород в зонах крупных карстовых полостей серьезно возрастает (в рассматриваемом примере в среднем в 4,6 раза). Скорость расширения ослабленных зон, прилегающих к полостям, необходимо принимать во внимание, особенно в условиях неглубокого карста. Оба параметра имеют важное практическое значение при выполнении оценки карстовой опасности и разработке противокарстовой защиты сооружений на сильно закарстованных территориях.

В качестве одного из направлений дальнейших исследований несомненный интерес представляет проведение продолжительных экспериментов по определению скорости растворения карстующихся пород в полевых условиях и сравнении их результатов с лабораторными экспериментами.

### Список литературы

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменениями №1, 2, 3, 4). М.: Минстрой России, 2021.
2. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования. М.: Минстрой России, 2021.
3. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2003.

4. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984.
5. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.
6. Уткин М. М., Уткин М. В. Практический опыт определения скорости растворения карстующихся пород в лабораторных условиях на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва - Нижний Новгород - Казань» // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Нижний Новгород, 2022. № 2. С. 61–68.

## QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE GYPSUM DISSOLUTION RATE IN THE ZONE OF A LARGE KARST CAVITY AND BEYOND ITS

*Utkin M. M.<sup>1</sup>, Utkin M. V.<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>*JSC Geo Palitra, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

*E-mail: <sup>1</sup>geokarst@mail.ru, <sup>2</sup>mike531900@gmail.com*

The article describes the practical experience of laboratory research to determine the dissolution rate of gypsum rocks occurring within a large karst cavity and beyond its. The research site is located northeast of the Ababkovo village (Nizhny Novgorod Region). This territory is characterized by a large number of various surface karst forms. As a result, the area was behaved to II karst danger category and to the dangerous category in the karst-suffusion relation. During laboratory tests, four main factors were taken into account: the chemical composition and condition of the rocks, the chemical composition and the movement speed of groundwater. The tests were carried out on an experimental setup (developed by the authors) using a methods that took into account the basic requirements for such research and previously accumulated practical experience. It has consisted of a volumetric expansion of the hole in the samples in a closed system with a constant filtration mode and laminar movement of the solvent. Based on the experiment's results, the gypsum dissolution rate in the area of large karst cavities increases significantly (in the experiment samples, on average 4.6 times). In addition, in shallow karst conditions, it is important to consider the rate of expansion of weakened zones adjacent to cavities.

**Keywords:** karst, large karst cavity, dissolution rate of karst rocks, rate of karst cavity growth, expansion rate of the weakened zone.

### References

1. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Soil bases of buildings and structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83\* (s Izmeneniyami №1, 2, 3, 4). Moscow, Minstroy Rossii, 2021.
2. SP 499.1325800.2021. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot karstovo-suffozionnykh protsessov. Pravila proektirovaniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from karst-suffusion processes. Design rules]. Moscow, Minstroy Rossii, 2021.
3. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. CHast' II. Pravila proizvodstva rabot v rajonah razvitiya opasnyh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh processov [Engineering geological site investigations for construction. Part II. Rules of work in areas of development of hazardous geological and engineering-geological processes]. Moscow, Gosstroj Rossii, 2003.
4. Rekomendacii po laboratornomu fizicheskomu modelirovaniyu karstovykh processov [Recommendations for laboratory physical modeling of karst processes] / PNIIS. Moscow, Strojizdat, 1984.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ГИПСОВЫХ  
ПОРОД В ЗОНЕ КРУПНОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТИ И ЗА ЕЕ ПРЕДЕЛАМИ

---

5. Sokolov D. S. Osnovnye uslovija razvitiya karsta [Main conditions for the karst development]. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1962, 322 p. (in Russian).
6. Utkin M. M., Utkin M. V. Prakticheskij opyt opredeleniya skorosti rastvoreniya karstuyushchihsya porod v laboratornyh usloviyah na odnom iz etapov skorostnoj avtomobil'noj dorogi M-12 «Moskva - Nizhnij Novgorod - Kazan» [Practical experience in determining the karst rocks dissolution rate in laboratory conditions at one of the stages of the M-12 “Moscow – Nizhny Novgorod – Kazan” expressway]. Privolzhskij nauchnyj zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Nizhnij Novgorod. 2022. № 2. pp. 61–68. (in Russian).

*Поступила в редакцию 25.09.2023 г.*

УДК 550.81, 550.83

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

*Харитонов А. Л.*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова  
Российской академии наук, Москва, Российская Федерация  
E-mail: ahariton@izmiran.ru*

Актуальность статьи заключается в использовании вероятностного подхода к анализу различных геолого-геофизических данных, измеренных в пределах нескольких кольцевых тектонических структур на территории Скифской плиты Российской Федерации (Крым, Предкавказье, Северный Кавказ). В результате с помощью вероятностного подхода был проведен анализ различных геолого-геофизических данных (глубина до сейсмической поверхности Мохоровичича, глубина до нижней кромки литосферы, значения геотермальной энергии территорий) и в этих регионах были рассчитаны значения некоторых статистических параметров (гистограмма, плотность распределения, математическое ожидание), используемые для прогноза зон расположения месторождений углеводородов. По рассчитанным статистическим параметрам были выявлены четыре локальные кольцевые тектонические структуры, перспективные для поисков новых месторождений нефти и газа на территории южных регионов европейской части Российской Федерации.

**Ключевые слова:** вероятностный подход, кольцевые тектонические структуры, прогноз нефтегазоносности, Скифская плита, Крым, Предкавказье.

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время широкое развитие получила теория глобальной дегазации мантии Земли [1, 2, 3, 4, 5, 6], происходившей в процессе ее эволюционного тектономагматического преобразования и о связи с ней процессов нефтегазонакопления [1, 4, 6]. В ряде научных публикаций показано, что значительная часть месторождений нефти и газа и некоторых других горючих полезных ископаемых (угольный метан) найдена: в зонах расположения кольцевых тектонических структур (КТС) [7, 8], сформированных древними мантийными плюмами [1, 9], выделенных на территории южных регионов европейской части Российской Федерации (Скифская плита: Крым, Предкавказье, Северный Кавказ), но и на акватории Черного моря [10], где до сих пор наблюдаются достаточно высокие значения дегазации мантии Земли, постепенно пополняющих запасы газа (и результатов их термо-динамического преобразования) на старых «законсервированных» скважинах некоторых нефтегазовых месторождений [11]. Поскольку в соответствии с геохронологией тектономагматических процессов, протекавших в ходе геологической эволюции Земли, докембрийские и частично протерозойские тектономагматические процессы имели в основном эндогенный (т.н. плюм-тектонический) субвертикальный характер [9], приведший к формированию достаточно крупных мантийных плюмов (нуклеаров) [7] и их «дочерних», меньшего диаметра кольцевых тектонических структур на поверхности кристаллического докембрийского фундамента и проявляющихся в вышележащих слоях земной коры [8] (рис.1).

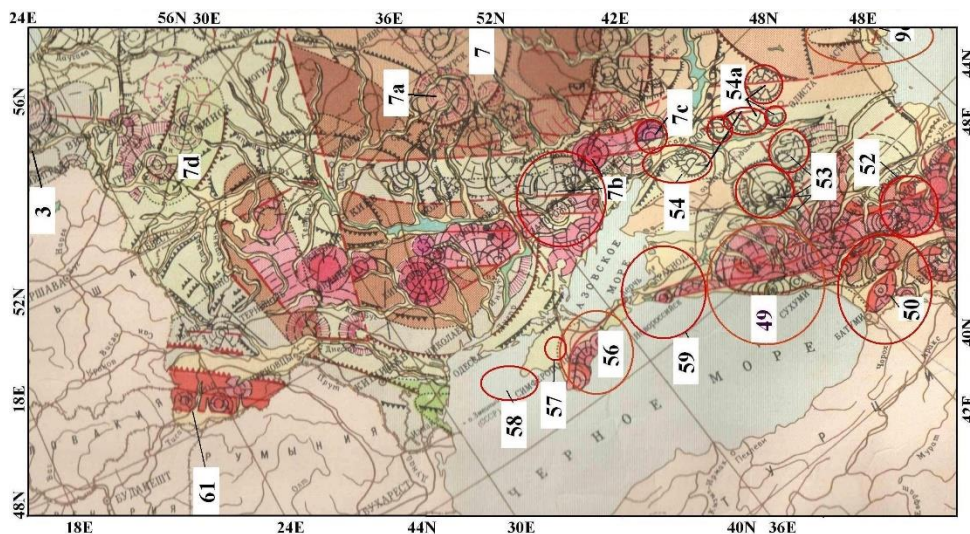


Рис. 1. Фрагмент карты кольцевых тектонических структур центрального типа, сформированных мантийными плюмами на территории южных регионов европейской части Российской Федерации [8 с дополнениями автора].

Названия кольцевых тектонических структур центрального типа, связанных с мантийными плюмами: 3 — Прибалтийская, 7 — Скифская, 7а — Курская, 7б — Запорожская, 7с — Шахтинская, 7д — Минская, 49 — Восточно-Черноморские, 50 — Зангезурские, 52 — Сунженская, 53 — Ставропольские, 54 — Ростовская, 54а — Элистинские, 56 — Южно-Крымская, 57 — Новоселовская, 58 — Тарханкутская, 59 — Керчь-Кубанские, 61 — Мизийская.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территории Российской Федерации имеется несколько крупных, хорошо изученных и уже давно эксплуатирующихся, нефтегазоносных бассейнов (НГБ) (Западно-Сибирский НГБ, Волго-Уральский НГБ, Тимано-Печорский НГБ, Прикаспийский НГБ), которые, как предполагают некоторые эксперты, упомянутые в [6], должны постепенно истощиться (особенно по месторождениям нефти) к 2030 году. На территориях этих нефтегазоносных бассейнов с 60-х по 90-е годы были успешно проведены региональные геолого-геофизические исследования по поиску и разведке месторождений горючих полезных ископаемых (газ, нефть) с помощью различных геофизических методов (сейсморазведка [12; 13], геотермия [14]), магниторазведка [15] и данные эти обычно представлены в виде карт различных геолого-геофизических параметров.

По данным [16] значительная часть месторождений углеводородов расположена в пределах территорий с определенной глубиной до поверхности Мохоровичича, что характерно и для южных регионов европейской части России [12] (рис. 2).

Проведенный автором анализ картографических данных показал, что некоторая часть месторождений углеводородов может быть расположена в зонах коры выветривания на поверхности кристаллического фундамента подобно [17],

расположенных в пределах территорий с определенной глубиной ( $H_k = 15+5$  км) до сейсмической поверхности Конрада ( $H_k$ ) как на карте вертикальной мощности «гранитного» слоя [12] (рис. 3).

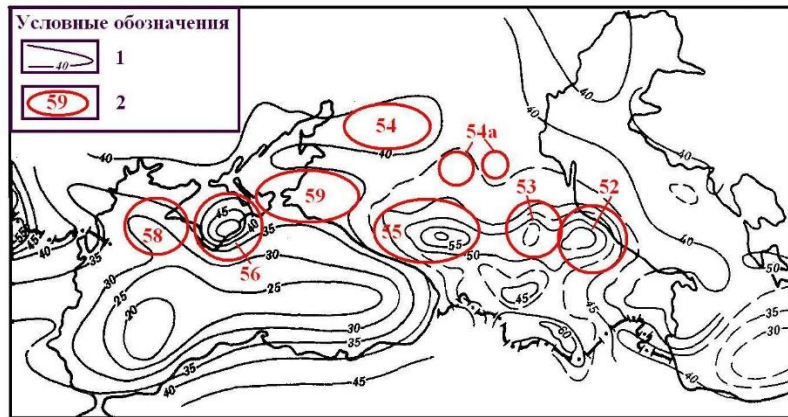


Рис. 2. Карта глубины до поверхности Мохоровичича территории южных регионов европейской части Российской Федерации и сопредельных стран, построенная по данным глубинного сейсмического зондирования [12 с дополнениями автора].

Условные обозначения: 1 — изолинии глубины до поверхности Мохоровичича; 2 — месторасположение кольцевых тектонических структур: 52 — Сунженская, 53 — Ставропольские, 54 — Ростовская, 54а — Элистинские, 55 — Центрально-Кавказская, 56 — Южно-Крымская, 58 — Тарханкутская, 59 — Керчь-Кубанские.

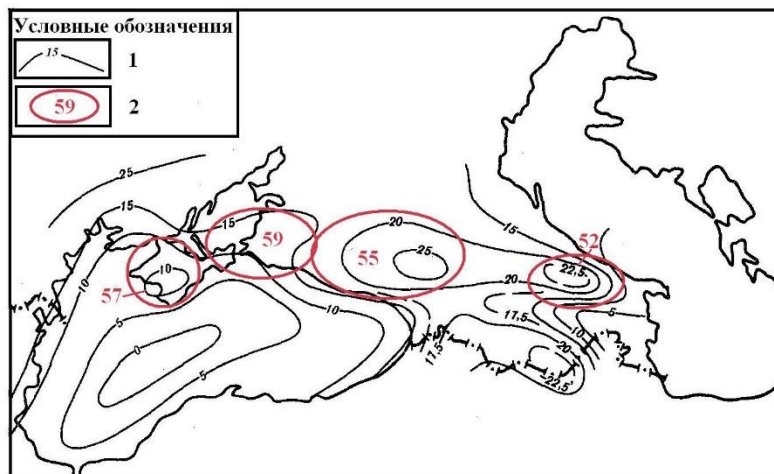


Рис. 3. Карта регионального распределения вертикальной мощности «гранитного» слоя земной коры ( $H_k$ ) на территории южных регионов европейской части Российской Федерации и сопредельных стран, построенная по данным глубинного сейсмического зондирования [12 с дополнениями автора]. Условные



## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

обозначения: 1 — изолинии вертикальной мощности «гранитного» слоя земной коры ( $H_K$ ), определенные по сейсмическим данным; 2 — окружностями выделены зоны концентрических аномалий вертикальной мощности «гранитного» слоя земной коры, выделенные в зонах расположения, известных в настоящее время, крупных кольцевых тектонических структур: 52 — Сунженская, 55 — Центрально-Кавказская, 57 — Новоселовская, 59 — Керчь-Кубанские.

В работе [16], были высказаны предположения о связи значений вертикальной мощности осадочного слоя земной коры ( $H_0$ ) (рис. 4) [12] с зонами пространственного месторасположения нефтегазоносных бассейнов, расположенных в пределах кольцевых тектонических структур, сформированных мантийными плюмами.

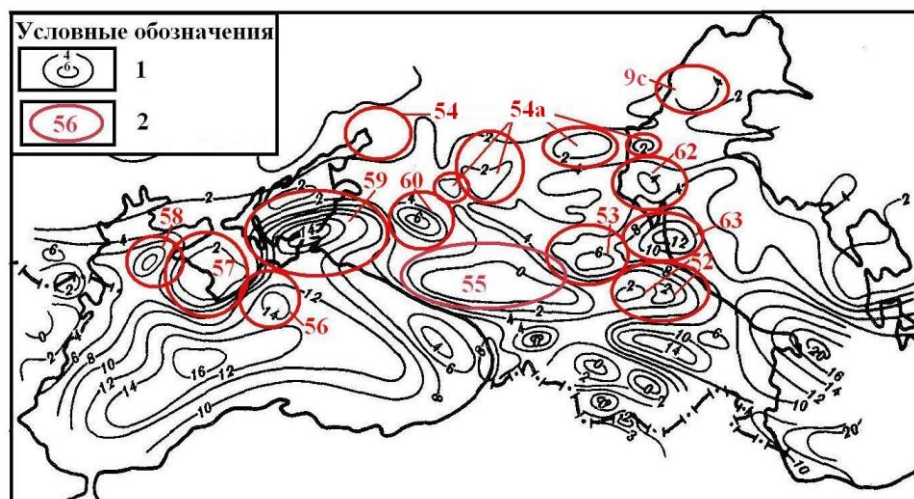


Рис. 4. Схематическая карта регионального распределения вертикальной мощности осадочного слоя земной коры ( $H_0$ ) на территории южных регионов европейской части Российской Федерации, построенная по данным глубинного сейсмического зондирования [12 с дополнениями автора].

Условные обозначения: 1 — изолинии глубины до нижней границы осадочного слоя земной коры; 2 — месторасположение кольцевых тектонических структур: 9с — Астраханская, 52 — Сунженская, 53 — Ставропольские, 54 — Ростовская, 54а — Элистинские, 55 — Центрально-Кавказская, 56 — Южно-Крымская, 57 — Новоселовская, 58 — Тарханкутская, 59 — Керчь-Кубанские, 60 — Ейская, 62 — Кизлярская, 63 — Махачкалинская.

Согласно представлений многих ученых о миграции углеводородных флюидов в земную кору из дегазирующейся мантии [1, 2, 3, 4, 5, 6, 11] необходимо рассмотреть и проверить гипотезу о мантийных плюмах [1, 10], как основных геологических структурах — источниках более интенсивной дегазации мантии и формирования месторождений углеводородов на территории южных регионов европейской части Российской Федерации (рис. 5).

Известно [1], что через зоны мантийных плюмов и сформированных ими кольцевых тектонических структур идет интенсивный теплоперенос и миграция углеводородных флюидов из мантии. Поэтому, при подготовке этой статьи были проанализированы также значения геотермальной энергии ( $Q$ ) (рис. 5) [14], расположенных в нефтегазоносных районах Российской Федерации, по данным представленным на соответствующей карте.

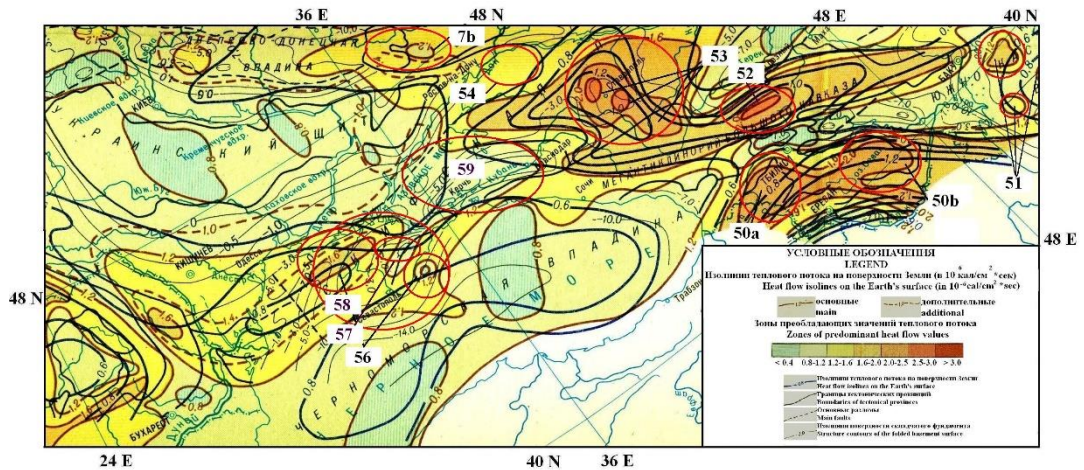


Рис. 5. Фрагмент карты теплового потока  $Q = (q \times 41.8 \text{ мВт/кв.м})$  [14].

Условные обозначения: концентрические аномалии теплового потока, связанные с термальными мантийными плюмами: 7b — Шахтинским; 50a — Зангезурским; 50b — Севанским; 51 — Южно-Каспийскими; 52 — Сунженским; 53 — Ставропольскими; 54 — Ростовским; 56 — Южно-Крымским; 57 — Новоселовским; 58 — Тарханкутским; 59 — Керчь-Кубанскими.

В данной статье предлагается рассмотреть несколько различных видов геолого-геофизических данных, результаты математической обработки которых могут служить вероятностными величинами, используемыми для оценки перспективности новых нефтегазоносных областей на территории южных регионов европейской части Российской Федерации. Опираясь на различные случайно распределенные на профилях реализации геолого-геофизических данных, используемых как параметры для проверки статистических гипотез будут: 1) значения глубины залегания поверхности Мохоровичича земной коры ( $H_M$ ) (рис. 2) [12], которые характеризуют наличие глубоких «корней» мантийных плюмов. Значения глубины залегания поверхности Мохоровичича земной коры ( $H_M$ ) были предварительно проанализированы в пределах известных нефтегазоносных областей (НГО) территории Российской Федерации по данным [13]; 2) значения глубины залегания нижней сейсмической границы «гранитного» слоя ( $H_K$ ) (рис. 3) [12], предварительно проанализированные в пределах известных нефтегазоносных областей (НГО) территории Российской Федерации по данным [13]; 3) значения глубины залегания нижней сейсмической границы «осадочного» слоя ( $H_O$ ) (рис. 4) [12], предварительно

проанализированные в пределах известных нефтегазоносных областей (НГО) на территории Российской Федерации; 4) значения геотермальной энергии ( $Q$ ) по данным (рис. 5) [14], предварительно проанализированные в пределах основных нефтегазоносных областей (НГО) территории Российской Федерации. Для прогноза новых нефтегазоносных областей на территории южных регионов европейской части Российской Федерации предлагается детально рассмотреть в данной статье вероятностный подход [18, 19], используемый для оценки нефтегазовой перспективности южных регионов европейской части Российской Федерации по данным сравнения вышеприведенных геолого-геофизических параметров.

В качестве методики прогноза углеводородной перспективности на территории южных регионов европейской части Российской Федерации предлагается использовать элементы теории вероятности [18, 19]. В этой статье, на основании разрабатываемой методики вероятностного анализа [18, 19] с использованием различных геолого-геофизических данных ( $H_m$ ,  $p_{раз}$ ,  $H_l$ ,  $Q$ ,  $H_o$ ), автор пытался проанализировать, почему несколько примерно одинаковых по диаметру кольцевых тектонических структур с примерно одинаковыми средними значениями вертикальной мощности земной коры ( $H_m$ ) [12-13], вертикальной мощности «гранитного» слоя земной коры ( $H_k$ ) [12], с примерно одинаковой плотностью тектонических разломов ( $p_{раз}$ ) [15], значениями геотермальной энергии ( $Q$ ) [14, 10], значениями вертикальной мощности осадочного слоя земной коры ( $H_o$ ) [12] имеют в своих пределах существенно разное количество и структуру размещения месторождений горючих полезных ископаемых?

Все критерии принятия решений о наличии (или отсутствии) определенных значений геолого-геофизических параметров ( $H_m$ ,  $p_{раз}$ ,  $H_l$ ,  $Q$ ,  $H_o$ ), характерных для нефтегазоносных областей, в этой статье базируются на теории проверки статистических гипотез (I-го и II-го рода) [18, 19]. При этом необходима информация о гистограммах  $N(\Phi)$  и плотностях распределения  $p(\Phi)$  анализируемых геолого-геофизических параметров.

На основе ранее проведенных исследований [16] с использованием многочисленных данных [16, 17, 18] в статье был произведен расчет и построение гистограмм значений нескольких геолого-геофизических параметров ( $H_m$ ,  $p_{раз}$ ,  $H_k$ ,  $H_o$ ,  $Q$ ). Гистограмма (также как и понятие классической вероятности — формула (1)) [19] описывает распределение частот  $N(\Phi) = p(\Phi) = (m / n)$ , определяемых для каждого из  $n$  — общего количества значений  $\Phi$  ряда случайных величин (вдоль профиля измеренных случайно распределенных геолого-геофизических данных- $\Phi$ ). На рис. 6 представлены гистограммы распределения значений мощности земной коры ( $N(H_m)$  — глубины до поверхности Мохоровичича) [12, 13],  $N(p_{раз})$  — плотности распределения тектонических разломов [15],  $N(Q)$  — значений геотермальной энергии [14],  $N(H_o)$  — значений вертикальной мощности литосферы [20] на территории основных нефтегазоносных бассейнов Российской Федерации.

Из данных [16], представленных на графике гистограммы (рис. 6А) видно, что многие месторождения углеводородов на территории Российской Федерации расположены в областях, где значения вертикальной мощности земной коры  $N(H_m)$  входят в доверительный интервал глубины Мохоровичича от 35 до 45 км. А по

данным [1, 11, 14] значительная часть месторождений горючих полезных ископаемых (например, углеводороды) расположена в зонах формирования кольцевых тектонических структур с повышенной мощностью земной коры ( $40 \pm 5$  км).

Эти данные гистограмм (рис. 6) были использованы при расчетах значений условных плотностей распределения  $p(\Phi)$  и связанных с этим оценок нефтегазовой перспективности исследуемых территорий в пределах КТС на территории южных регионов европейской части Российской Федерации. Одномерная условная плотность распределения  $p(\Phi_i)$  случайного процесса определяет вероятность того, что значения этого процесса (например, значения  $(\Phi_i)$  реализации случайно распределенных данных по профилю) в произвольный момент ( $x$ ) расположения на профиле измерений будут заключены в определенном интервале ( $\Delta\Phi_i$ ) и при этом значения вероятности  $P(\Phi_i)$  и плотности распределения  $p(\Phi_i)$  случайного процесса (например, ряда случайных геолого-геофизических величин), в первом приближении, будут связаны следующим соотношением [19]:

$$P(\Phi_i < \Phi_i(x) < \Phi_i + \Delta\Phi_i) \approx p(\Phi_i) * \Delta\Phi_i \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует, что если считать интервал  $(\Delta\Phi_i) = 1$ , то с некоторым приближением можно считать, что вероятность  $P(\Phi_i)$  возникновения события  $(\Phi_i)$  с точностью до величины этого интервала ( $\Delta\Phi_i$ ) будет соответствовать значению плотности распределения  $p(\Phi_i)$  случайного процесса.

С использованием гистограмм (рис. 6) производился расчет по ним кривых условных плотностей распределения  $p(\Phi_i/S_1)$  для гипотезы наличия аномалии и  $p(\Phi_i/S_0)$  гипотезы ее отсутствия (функций правдоподобия) [18] этих геолого-геофизических данных ( $H_m, p_{раз}, H_l, Q$ ), где  $\Phi_i$  — определенный вид используемых геолого-геофизических данных. В данной статье были рассчитаны значения условной плотности распределения  $p(H_m/S_1)$  наличия аномалии [14] вертикальной мощности земной коры, измеренной в различных нефтегазоносных бассейнах на территории Российской Федерации. Тогда либо в соответствии с формулой из [14] (односторонний критерий), по значениям графика условной плотности распределения  $p(\Phi_i/S_1)$  мощности земной коры (которую для простоты записи обозначим как  $p(\Phi)$ ) можно было определить значение вероятности  $(P(H_m - \Delta H_m < H_m < H_m + \Delta H_m) = p(\Phi)d\Phi)$  значений мощности земной коры ( $H_m$ ) по территории всех основных нефтегазоносных бассейнов (НГБ) Российской Федерации и сопредельных стран (Западно-Сибирский, Ямало-Ненецкий, Волго-Уральский, Тимано-Печорский, Приаральский, Прикаспийский, Северо-Кавказский) (рис. 6).

Согласно расчетам по критерию Пирсона [18, 19] значения условной плотности распределения  $p(\Phi)$  мощности земной коры (рис. 6А) оказались близкими к нормальному (Гауссовому) закону распределения. Для выработки критерия о проверке гипотезы [18, 19] о наличии определенного значения (аномалии) вертикальной мощности земной коры ( $H_m = 40 \pm 5$  км) в данных условной плотности распределения (рис. 6А) необходимо было провести определенные расчеты. В конечном счете, все сводилось к нахождению значения  $h$ -порога принятия решения, разделяющего области пространства  $S_0$  и  $S_1$  на графике условной плотности распределения (рис. 6). В результате, при расчетах был определен доверительный интервал, в пределах которого возможные значения изучаемого параметра

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

(вертикальной мощности земной коры —  $H_M$ ) встречаются с наибольшей вероятностью. На основании [18, 19] можно сказать, что вероятность  $P(H_M)$  определения соответствующего наиболее вероятного значения мощности земной коры ( $H_M = 40 \pm 5$  км), характерного для нефтегазоносных областей Российской Федерации, с точностью до величины интервала ( $d = \Delta\Phi_i = \Delta H_M = \pm 5$  км) (двусторонний критерий проверки гипотез) будет соответствовать максимальному значению на графике условной плотности распределения  $p(H_M)$  (рис. 6А) этой реализации ряда случайных значений этого геолого-геофизического параметра.

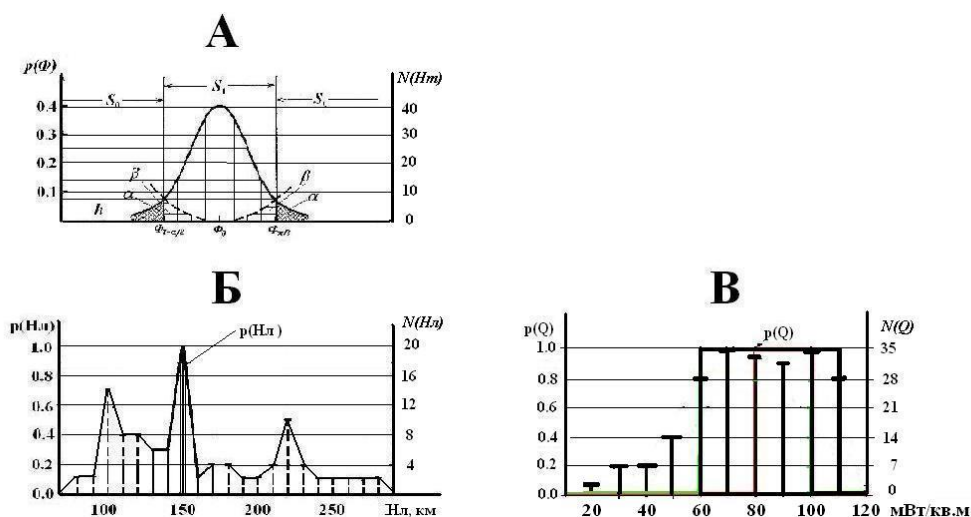


Рис. 6. А — кривая условной плотности распределения  $p(\Phi)$  соответствующая нормальному (Гауссовому) закону распределению значений вертикальной мощности земной коры ( $H_M$ ), характерных для нефтегазоносных бассейнов Российской Федерации; Б — кривая условной плотности распределения  $p(H_{л})$  значений вертикальной мощности литосферы, аппроксимированная с помощью нормального (Гауссового) закона распределения, характеризующая вероятностную связь аномалий глубины залегания нижней кромки литосферного слоя ( $H_{л}$ ) в зонах расположения основных нефтегазоносных бассейнов Российской Федерации; В — кривая рассчитанной условной плотности распределения  $p(Q)$  значений геотермальной энергии, аппроксимированная с помощью равномерного закона распределения, построенные по данным измерения на территориях расположения нефтегазоносных бассейнов Российской Федерации.

Условные обозначения:  $S_0$  — область отклонения гипотезы о наличии аномалии ( $\Phi_0 = H_M = 40$  км);  $S_1$  — область принятия гипотезы о наличии аномалии ( $\Phi_0 = H_M = 40$  км);  $\alpha$  — вероятность ошибки I рода;  $\beta$  — вероятность ошибки II рода;  $h$  — величина порога принятия решения.

Предлагается в качестве методики для оценки перспективности территорий, занимаемых КС, на наличие в них месторождений углеводородов, использовать элементы теории анализа случайных процессов и вероятностно-статистические

методы интерпретации результатов геофизических наблюдений [18, 19]. В качестве основного вероятностного параметра, который может определять объективную возможность возникновения какого-либо события  $\Phi_0$  (например, наличия месторождений углеводородов) является вероятность этого события  $P(\Phi_0)$  [18, 19]. Классическое определение вероятности события можно определить согласно [18, 19] отношением благоприятствующих событию ( $\Phi_0$ ) исходов ( $m$ ) к общему числу всех равновероятных исходов ( $n$ ) эксперимента [18, 19]:

$$P(\Phi_0) = m / n \quad (2)$$

В качестве оценки величины вероятности  $P_i(\Phi_0)$  по каждому отдельному виду ( $\Phi_0$ ) геолого-геофизических данных, в пределах каждой из ( $k = 9$ ) анализируемых концентрических структур (Сунженской (52) КТС, Ставропольской (53) КТС, Ростово-Элистинских (54) КТС, Центрально-Кавказской (55) КТС, Южно-Крымской (56) КТС, Новоселовской (57) КТС, Тарханкутской (58) КТС, Керчь-Кубанской (59) КТС), были использованы радиальные направления внутри этих КТС (север-юг, запад-восток) вдоль которых оценивались значения пяти видов различных геолого-геофизических параметров ( $H_m, H_k, Q, H_o$ ).

В результате был произведен расчет по значениям вертикальной мощности земной коры —  $H_m$  в пределах нескольких концентрических структур на территории южных регионов европейской части Российской Федерации. В пределах каждой из 9-и исследуемых концентрических структур на территории южных регионов европейской части Российской Федерации было выполнено определение количества точек со значениями вертикальной мощности коры по радиальным направлениям этих КТС. На основании проведенного вероятностного анализа данных о значениях вертикальной мощности земной коры [12, 13] (при доверительном интервале  $\Delta H_m = \pm 5$  км), зафиксированных на территории концентрических структур южных регионов европейской части Российской Федерации были рассчитаны значения вероятностей, которые составили для: Сунженской (52) КТС — 0.12, Ставропольской (53) КТС — 0.12, Ростовской (54) КТС — 0.90, Элистинских (54а) КТС — 0.30, Центрально-Кавказской (55) КТС — 0.12, Южно-Крымской (56) КТС — 0.50, Новоселовской (57) КТС — 0.40, Тарханкутской (58) КТС — 0.12, Керчь-Кубанской (59) КТС — 0.90.

Для расчета гистограммы  $N(Q)$  и плотности распределения  $p(Q)$  была проанализирована связь месторасположения нефтегазоносных областей (НГО) с месторасположением зон повышенных значений геотермальной энергии ( $Q$ ) [14]. По данным, полученным с карты геотермальной энергии (теплового потока) Российской Федерации [14] была построена гистограмма  $N(Q)$  и рассчитана кривая условной плотности распределения  $p(Q)$  значений геотермальной энергии, измеренных на территории основных нефтегазоносных районов Российской Федерации (рис. 6В).

По проведенным расчетам проверки гипотез по критерию Пирсона [18-19] оказалось, что данные гистограммы  $N(Q)$ , приведенные на рис. 6Г и данные теоретического (равномерного) закона распределения значений геотермальной энергии наиболее соответствует друг другу при значении моды (значения теплового потока), начинающейся от  $Q_1 = 50$  и до  $Q_2 = 110$  (мВт / м<sup>2</sup>). Таким образом, из рис. 6В можно видеть, что рассчитанная кривая условной плотности распределения  $p(Q)$  геотермальной энергии соответствует равномерному закону распределения

проанализированного ряда данных геотермальной энергии, измеренных на территории расположения НГБ Российской Федерации. Согласно [18, 19] закон равномерного распределения можно описать следующей формулой:

$$p(Q) = 1 / (Q_2 - Q_1); \quad \text{если } Q_1 < Q < Q_2 \\ p(Q) = 0; \quad \text{если } Q < Q_1 \text{ или } Q > Q_2 \quad (3)$$

Используя данные гистограммы  $N(Q)$  и кривой статистической плотности распределения  $p(Q)$  (рис. 6В) значений геотермальной энергии ( $Q$ ), с учетом [18, 1974, с. 32, формула 1.18] было определено значение вероятности  $P_4(Q)$  по данным значений геотермальной энергии ( $Q$ ), измеренным на территории основных НГБ Российской Федерации [14]. Затем, на основании проведенного вероятностного анализа данных о значениях геотермальной энергии [14] (рис. 5), зафиксированных на территории кольцевых тектонических структур южных регионов европейской части Российской Федерации (рис. 1) были рассчитаны по статистическим плотностям распределения [18, с. 32, формула 1.18] значения вероятностей  $P_4(\Phi/Q)$ , которые составили для ТКС значение равное 1.00.

И уже по ним оценивались вероятности определенного вида геолого-геофизических данных  $P_i(\Phi)$ , где  $i$  — номер определенного из 4-х видов используемых геолого-геофизических данных. По вероятностям отдельных видов геолого-геофизических данных  $P_i(\Phi)$  производилась оценка значения вероятности  $P_c(\Phi)$  в пределах каждой из  $k=9$  кольцевых тектонических структур.

$$P_c(\Phi) = [P_1(\Phi) + P_2(\Phi) + P_3(\Phi) + P_4(\Phi)] / 4, \quad (4)$$

где  $P_1(\Phi)$  — значения вероятности, определяемое по данным ( $H_M$ ) вертикальной мощности земной коры [12, 13] в пределах месторасположения КТС [8];  $P_2(\Phi)$  — значения вероятности, определяемое по данным ( $H_K$ ) вертикальной мощности «гранитного» слоя земной коры [12] в пределах месторасположения КТС [8];  $P_3(\Phi)$  — значения вероятности, определяемое по данным ( $H_O$ ) вертикальной мощности осадочного слоя земной коры [12] в пределах месторасположения КТС [8];  $P_4(\Phi)$  — значения вероятности, определяемое по данным значений геотермальной энергии ( $Q$ ) [14] в пределах месторасположения КТС [8]. Значения вероятности  $P(\Phi)$ , определяемые по данным о вертикальной мощности литосферы ( $H_L$ ) были исключены из конечных расчетов, поскольку во всех кольцевых тектонических структурах на территории южных регионов европейской части Российской Федерации составляют по данным [20] одинаковые значения, равные 150 км. Значения вероятности  $P(\Phi)$ , определяемое по данным ( $p_{\text{раз}}$ ) плотности тектонических разломов [15] в пределах месторасположения КС [8] предлагается исключить из расчетов из-за малости значений этого параметра, а также из-за нескольких различных видов тектонических разломов, представленных на разных геолого-геофизических картах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты применения вероятностного подхода, выполненного в соответствии с формулой (3) для анализа случайных геолого-геофизических данных (проверки гипотез) ( $H_M$ ,  $H_K$ ,  $H_O$ ,  $Q$ ), измеренных в пределах нескольких кольцевых тектонических структур на территории южных регионов европейской части

Российской Федерации, были систематизированы в виде следующей таблицы. Данные этой таблицы могут служить некоторыми статистическими критериями для прогноза новых нефтегазоносных областей на территории южных регионов европейской части Российской Федерации.

Таблица 1.

Результаты использования вероятностного подхода для прогноза нефтегазоносных территорий, занимаемых различными кольцевыми тектоническими структурами южных регионов европейской части Российской Федерации.

№ ТКС	Название КТС	$P_1(H_M)$	$P_2(H_K)$	$P_3(H_o)$	$P_4(Q)$	$P_c(\Phi)$
52	Сунженская	0.12	0.20	0.31	1.00	0.41
53	Ставропольская	0.12	<b>0.68</b>	0.31	1.00	0.53
54	Ростовская	<b>0.90</b>	0,16	0.19	1.00	0.56
54a	Элистинские	0.30	<b>0.60</b>	0.19	1.00	0.52
55	Центрально-Кавказская	0.12	0.20	0.06	1.00	0.35
56	Южно-Крымская	<b>0.50</b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	1.00	<b>0.78</b>
57	Новоселовская	<b>0.40</b>	<b>0.80</b>	0.19	1.00	<b>0.59</b>
58	Тарханкутская	0.12	<b>0.80</b>	<b>0.38</b>	1.00	<b>0.58</b>
59	Керчь-Кубанские	<b>0.90</b>	<b>0.80</b>	<b>0.50</b>	1.00	<b>0.80</b>
	Среднее	<b>0.39</b>	<b>0.56</b>	<b>0.33</b>	<b>1.00</b>	<b>0.57</b>

### Обсуждение результатов

Результаты вероятностного подхода к анализу региональных геолого-геофизических данных, полученные на территории южных регионов европейской части Российской Федерации (Крымский, Ростовской, Предкавказский регионы) показывают, что конечным информационным статистическим параметром, используемым для оценки нефтегазоносности является значение полной вероятности, определенное для каждой из 9-и кольцевых тектоническими структур (таблицы).

Поскольку исследуемая территория южных регионов европейской части Российской Федерации находится в зоне повышенных значений теплового потока, по сравнению с остальной частью Российской Федерации, то наиболее информативными (контрастными) исходными данными, используемыми для вероятностного подхода для выявления нефтеперспективных областей может быть наличие кольцевых зон на глубине расположения поверхности Мохоровичича и (рис. 2), часто связанных со структурами мантийных плюмов (рис. 5) проникающих через нее. А также при вероятностном подходе к прогнозу новых НГО использовались кольцевые неоднородности нижней границы «гранитного» и осадочного слоев



земной коры ( $H_k$ ) (рис. 3). Кроме того, на основании проведенных расчетов можно сказать, что новые нефтегазоносные области особенно на территории крупных кольцевых тектонических структур, по-видимому, могут быть связаны с более локальными кольцевыми тектоническими структурами на их территории: Южно-Крымской (56), Новоселовской (57), Тарханкутской (58), Керчь-Кубанских (59) с относительно повышенными значениями полной вероятности. Из новых регионов, которые, по результатам расчетов, можно рассматривать пока как недостаточно изученные по глубинному строению территории южных регионов европейской части РФ, но требующие дальнейшего исследования для поисков месторождений горючих полезных ископаемых (природный газ, угольный метан, нефть) можно считать Ростовскую (54), Элистинские (54а), Ставропольскую (53) кольцевые тектонические структуры.

### ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены результаты применения вероятностного подхода, разработанного для проведения прогноза углеводородной перспективности территорий в пределах кольцевых тектонических структур.

2. По данным нескольких геолого-геофизических параметров на территории 9-и кольцевых тектонических структур в южных регионах европейской части Российской Федерации были выделены четыре наиболее перспективных на наличие в них месторождений углеводородов: Южно-Крымская, Новоселовская, Тарханкутская, Керчь-Кубанские.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор искренне благодарит докторов геолого-минералогических наук Тимурзиева А. И., Сейфуль-Мулюкова Р. Б., Сывороткина В. Л., организаторов ежегодных Всероссийских научных конференций «Кудрявцевские чтения» за их огромную работу и возможность изложить результаты работы.

### Список литературы

1. Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли, геотектоника и происхождение нефти и газа (признание и развитие идей П.Н. Кропоткина) / Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений: Матер. Всерос. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина. М.: ГЕОС, 2011. С. 10–32.
2. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и происхождение углеводородов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. 1985. Т. 60. № 6. С. 3–18.
3. Кудрявцев Н.А. Генезис нефти. Ленинград: Недра, 1973. 216 с.
4. Сейфуль-Мулюков Р.Б. Нефть и газ. Глубинная природа и ее прикладное значение. М.: Торус Пресс, 2012. 216 с.
5. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. Москва: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
6. Тимурзиев А.И. Миф «энергетического голода» от Хабберта и пути воспроизводства ресурсной базы России на основе реализации проекта «Глубинная нефть» // Бурение и нефть. 2019. № 1. С. 12–20.
7. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры лика планеты. М.: Знание, 1989. 48 с.

8. Соловьев В.В. (ред.) Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1:10 000 000, (Объяснительная записка). М.: Аэрогеология, 1981. 44 с.
9. Гаврилов С.В. Проникновение теплового диапира в континентальную литосферную плиту из неньютоновской верхней мантии // Физика Земли. 1994. № 7-8. С. 18–26.
10. Кутас Р.И., Цвященко В.А. Геотермический режим и сейсмичность Крымского региона // В кн.: Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. М.: Наука, 1993. С. 15–27.
11. Смирнова М.Н. Нефтегазоносные кольцевые структуры и научно-методические аспекты их изучения // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 35–40.
12. Белоусов В.В., Балавадзе Б.К. (ред.). Геофизические поля и строение земной коры Закавказья. М.: Наука, 1985. 174 с.
13. Вольвовский И.С., Вольвовский Б.С. Разрезы земной коры территории СССР по данным глубинного сейсмического зондирования. М.: Советское радио, 1975. 267 с.
14. Смирнов Я.Б. (ред.) Карта теплового потока территории СССР и сопредельных территорий. Масштаб 1:10 000 000. М.: Изд-во ГУГК, 1980. 4 л.
15. Ананьева Е.М., Беляев И.В., Головин И.В. Схема зон глубинных разломов территории СССР, масштаб 1:10 000 000. Ленинград: ВСЕГЕИ, 1977.
16. Закиров А.Ш., Харитонов А.Л. Глубинное строение и перспективы нефтегазоносности Северного Устьурта // Электронный журнал «Глубинная нефть». 2014. Т.2. № 11. С. 1759–1771.
17. Арешев Е.Г., Гаврилов В.П., Попов О.К., Поспелов В.В. и др. Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М.: Изд-во «Нефть и газ», 1997. 288 с.
18. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974. 464 с.
19. Дмитриев В.И. (ред.) Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика. М.: Недра, 1982. 222 с.
20. Чермак В. (ред.) Геофизические поля, их природа и геологическая интерпретация // Геодинамика. 1986. Т. 5. № 2. С. 111–256.

## **METHODOLOGY FOR FORECASTING THE OIL AND GAS PROSPECTS OF THE SOUTHERN REGIONS OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

*Kharitonov A. L.*

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation  
E-mail: ahariton@izmiran.ru*

The relevance of the article lies in the use of a probabilistic approach to the analysis of various geological and geophysical data measured within several ring tectonic structures on the territory of the Scythian Plate of the Russian Federation (Crimea, the Caucasus, the North Caucasus). As a result, a probabilistic approach was used to analyze various geological and geophysical data (depth to the seismic surface of Mohorovichich, depth to the lower edge of the lithosphere, values of geothermal energy of territories) and in these regions the values of some statistical parameters (histogram, distribution density, mathematical expectation) used to predict the zones of location of hydrocarbon deposits were calculated. According to the calculated statistical parameters, four local ring tectonic structures were identified that are promising for the search for new oil and gas fields in the southern regions of the European part of the Russian Federation.

**Keywords:** probabilistic approach, ring tectonic structures, forecast of oil and gas potential, Scythian plate, Crimea, Caucasus.

### **References**

1. Valyaev B.M. Hydrocarbon degassing of the Earth, geotectonics and the origin of oil and gas (recognition and development of the ideas of P.N. Kropotkin) / Degassing of the Earth and the genesis of oil and gas fields: Mater. Vseros. conf., dedicated. to the 100th anniversary of the birth of P.N. Kropotkin. Moscow: GEOS, 2011. P. 10-32. (in Russian).

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

---

2. Kropotkin P.N. Degassing of the Earth and the origin of hydrocarbons // Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. 1985. V. 60. No. 6. P. 3-18. (in Russian).
3. Kudryavtsev N.A. Genesis of oil. Leningrad: Nedra, 1973. 216 p. (in Russian).
4. Seiful-Mulyukov R.B. Petroleum and gas: Inorganic abiogenic nature and its applicability. Moscow: Torus Press, 2012. 216 p. (in Russian).
5. Syvorotkin V.L. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow: Geoinformcenter, 2002. 250 p. (in Russian)].
6. Timurziev A.I. Myth of power hunger from Habbert and ways of the decision of the global power problem on base of "Deep Oil" project realization]. *Burennye i nef't'* [Drilling and Oil]. 2019. No. 1. P. 12-20. (in Russian).
7. Kats Ya.G., Poletaev A.I., Sulidi-Kondratiev E.D. Ring structures of the surface of the planet. Moscow: Znanie, K 62. 1989. 48 p. (in Russian).
8. Solovyov V.V. (ed.) Map of morphological structures of the central type of the territory of the USSR. Scale 1:10 000 000. (Explanatory note). Moscow: Aerogeology, 1981. 44 p. (in Russian).
9. Gavrilov S.V. The penetration of the thermal diapir into the continental lithospheric plate from the non-Newtonian upper mantle // Physics of the Earth. 1994. No. 7-8. pp. 18-26. (in Russian).
10. Kutas R.I., Tsvyashchenko V.A. Geothermal regime and seismicity of the Crimean region // In: Geothermy of seismic and aseismic zones. Moscow.: Nauka, 1993. pp. 15-27.
11. Smirnova M.N. Oil and gas ring structures and scientific and methodological aspects of their study // Geology of oil and gas. 1997. No. 9. P. 35-40. (in Russian)].
12. Belousov V.V., Balavadze B.K. (ed.). Geophysical fields and the structure of the Earth's crust of Transcaucasia. M.: Nauka, 1985. 174 p.
13. Volvovsky I.S., Volvovsky B.S. Sections of the Earth's crust of the USSR territory according to deep seismic sounding data. Moscow: Soviet Radio, 1975. 267 p. (in Russian).
14. Smirnov Ya.B. (ed.) Map of the heat flow of the territory of the USSR and adjacent territories. Scale 1:10 000 000. Moscow: GUGK Publishing House, 1980. 4 p. (in Russian).
15. Ananyeva E.M., Belyaev I.V., Golovin I.V. *Schema zon glubinnykh razlomov territorii SSSR, masshtab 1:10 000 000* (Scheme of deep fault zones of the USSR territory, scale 1:10 000 000). Leningrad: VSEGEI, 1977. 1p.
16. Zakirov A.Sh., Kharitonov A.L. Deep structure and prospects of oil and gas potential of the Northern Ustyurt // The electronic journal "Deep oil". 2014. V. 2. No. 11. P. 1759-1771. (in Russian).
17. Areshv E.G., Gavrilov V.P., Popov O.K., Pospelov V.V., et al. Geology and oil and gas potential of the foundation of the Sunda shelf. M.: Publishing house "Oil and Gas", 1997. 288 p.
18. Bendat J., Piersol A. Random data: analysis and measurement procedures. Moscow: Mir, 1974. 464 p. (translated in English).
19. Dmitriev V.I. (ed.) Computational mathematics and engineering in exploration geophysics. Handbook of geophysics. M.: Nedra, 1982. 222 p. (in Russian).
20. Chermak V. (ed.) Geophysical fields, their nature and geological interpretation // Geodynamics. 1986. V. 5. No. 2. P. 111-256. (in Russian).

*Поступила в редакцию 15.08.2023 г.*

УДК 551.24 (477.75)

## ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.

### ЧАСТЬ 2. ТЕКТОНИКА

*Юдин В. В.*

*МОО Крымская Академия наук, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация  
E-mail: yudin\_v\_v@mail.ru*

В течение 100 лет изучения, интерпретации тектоники района были противоречивые и структурно геометрически нереальные. На основании личных исследований составлены уточненные сбалансированные геологические карта, разрезы и фотопанорамы. Установлено, что кровля и верхняя часть палеовулкана была расположена на юго-востоке. Выделенные нами Карадагский и Щebetовский тектонические меланжи играют важную роль в строении района. Возраст кластолитов - от позднего триаса до раннего мела и, возможно, кайнозоя. Осадочные породы слагают олистолиты и матрикс Горнокрымской олистостромы, которые также осложнены кайнозойскими надвигами и складками. Береговой хребет является лишь третью палеовулкана. Большая его часть, находится 15 км северо-западнее в поднадвиге на глубине более 2,5 км.

**Ключевые слова:** Крым; Карадаг; геология; тектоника; геодинамика; вулканы.

#### ВВЕДЕНИЕ

Карадагом называется район в восточной части Горного Крыма между пгт. Коктебель (Планерское) и долиной р. Отузка от пос. Курортного до пос. Щebetовки [1, 2]. Он состоит из трех дугообразных хребтов, которые сложены терригенно-вулканогенными и терригенно-карбонатными комплексами мезозойского возраста. Тектоническое строение здесь очень сложное и изучается более 100 лет. История взглядов и очень разные модели строения отражены в ряде монографий [1, 3, 4, 5, 6], а также в многочисленных статьях, частично приведенных в списке литературы. Актуальность изучения Карадага заключается в том, что он является ключевым для понимания тектоники и геодинамики не только Восточного Крыма, но и всего полуострова с прилегающими районами. Кроме того, здесь 44 года расположен Карадагский природный заповедник, который должен являться эталоном для правильного понимания геологических и тектонических объектов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Тектоника Карадага** в предшествующих публикациях отражалась весьма противоречиво. Согласно фундаментальной работе [4], Судакско-Карадагская система складок относилась к “Туакскому антиклинорию”. Однако общая выделенная нами структура поп-ап [7] и созданная за 30 лет геодинамическая модель строения ничем не напоминает осложненную антиклиналь.

Разными исследователями район понимался, как Карадагский блок, ограниченный субвертикальными разломами [3, 8], как горст или «...синклиналь северо-восточного простирания, пересеченная рядом поперечных разрывов сбросового типа», в ядре которой залегают трассы Святой горы [9, стр. 76 и др.]. Считалось, что Береговой хребет представляет собой линзовидное тело

моноклинального строения и стратиграфический разрез Берегового хребта омолаживается от берега к северо-западу [1 и др.]. Кроме того, в районе выделялись: блоки (Карадагский и Святой Горы), ограниченные прямолинейными и кольцевыми субвертикальными разломами; разно-ориентированные поперечные сбросы и сдвиги; противоречиво интерпретируемые взбросы и надвиги со смещениями аллохтонов на ССЗ (или, наоборот, на ЮЮВ); разные по форме, вергентности и интенсивности складки; грабены и др.

*Общая структура Карадага* в разных авторских вариантах описана во многих статьях и книгах. Желание внести свой личный вклад в историю изучения палеовулкана привело к тому, что были предложены практически все возможные и невозможные варианты строения. Они детально описаны в публикациях, часть из которых приведена в списке литературы настоящей статьи и не требуют повторения. Отметим лишь, что циклы, фазы и этапы развития по-разному понимаемых структур лишены достаточных доказательств и лишь декларируются. Единой общепринятой модели строения до настоящего времени не существует. Подчеркнем, что все ранее выделенные варианты тектоники не допускали палинспастической реконструкции структур и противоречили современной актуалистической геодинамике, вследствие чего они весьма проблематичны.

Крупная монография «Вулканы Карадага», написанная коллективом авторов Института геологических наук Украинской ССР [1] была основана на устаревшей гипотезе фиксизма. Карадаг в ней рассматривается в нереальной «новейшей Азово-Черноморской геосинклинали» или «киммерийской геосинклинали». Как следствие, детальные, но хаотичные описания отдельных участков Карадага и выделенные проблематичные «фазы и ярусы» для понимания реальной тектоники неприемлемы. Вывод на стр. 99, что магматические образования Карадага не подвергались общему региональному сжатию и складкообразованию, и нарушены лишь блоковыми движениями с гравитационными смещениями пород, нашими фактическими данными не подтверждается [7 и др.].

Тоже касается представлений В. Ю. Хмеляра в книге [10, стр. 15-19]. Он считает, что Карадаг — это островок — микроконтинент материкового типа и «...представляет собой фрагмент океанической коры, выведенный на дневную поверхность...». Однако никаких мантийных пород на Карадаге нет. Нет и яшм, состоящих из абиссальных радиоляритов, слагавших первый слой такой коры, хотя в других районах Крыма офиолиты известны [7, 11]. Много лет назад обоснованные нами региональные тектонические меланжи интерпретируются В. Ю. Хмеляром как нормальные осадочные толщи. Это привело к привлечению им для объяснения генезиса тектонических брекчий фантастического «ледового разноса обломков», не соответствующего тропическому климату расположения вулкана в средней юре на палеошироте около 26° [7 и др.]. Например, на такой широте ныне находятся города Каир и Майямы, где льдов у берега не бывает.

Согласно нашей модели строения [7, 12, и др.], выделение в современной интенсивно сжатой структуре Берегового хребта: кольцевых и радиальных разломов, кольцевых магматических структур, характерных для ненарушенных потухших вулканов — некорректно. Это допустимо лишь после палинспастической

реконструкции. То есть после возвращения субвертикально поставленной вулканогенной толщи Берегового хребта в первоначальное субгоризонтальное положение. Сбалансированная геомодель строения района показана на рис. 1.

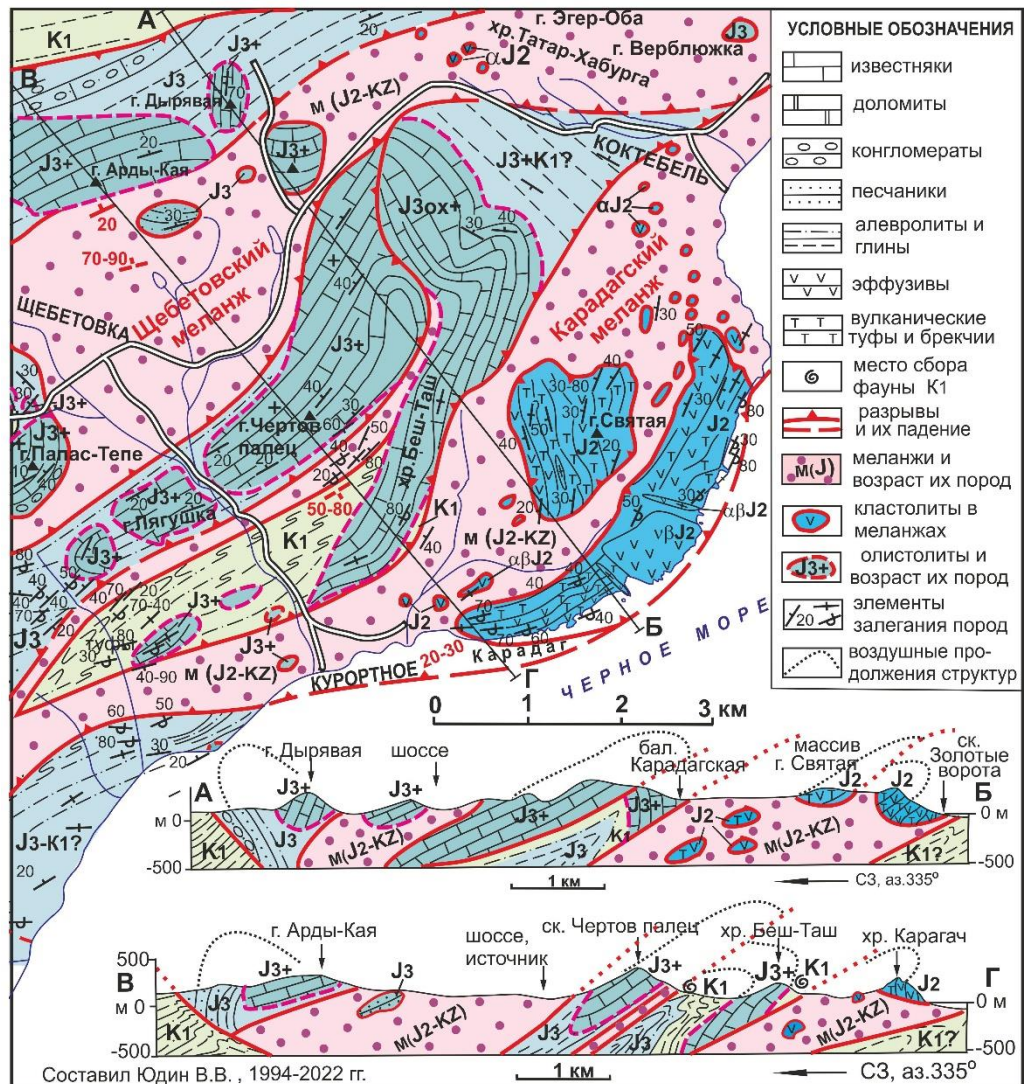


Рис. 1. Сбалансированная геологическая карта и разрезы Карадага.

**Разрывные нарушения** на первых геологических картах Карадага полностью отсутствовали [13, карта масштаба 1:10 000 Е. Н. Дьяконова-Савельева, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и др.]. Не показаны разрывы и на следующей геологической карте, изданной под редакцией К. К. Фохта [14] и даже на карте СССР 198г года [15]. Другие исследователи выделяли в районе многочисленные нереальные прямолинейные и субвертикальные разнонаправленные «разломы», формирующие

ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.  
ЧАСТЬ 2. ТЕКТНИКА

структуру «битой тарелки». Геометрически невозможными, с позиций баланса смещений, является изображенный на изданной геологической карте S-образный в плане и короткий по простиранию Карадагский надвиг [16, 17].

Анализ положения таких разрывов на картах Карадага, составленных разными исследователями, показывает их полное несоответствие друг другу (рис. 2).

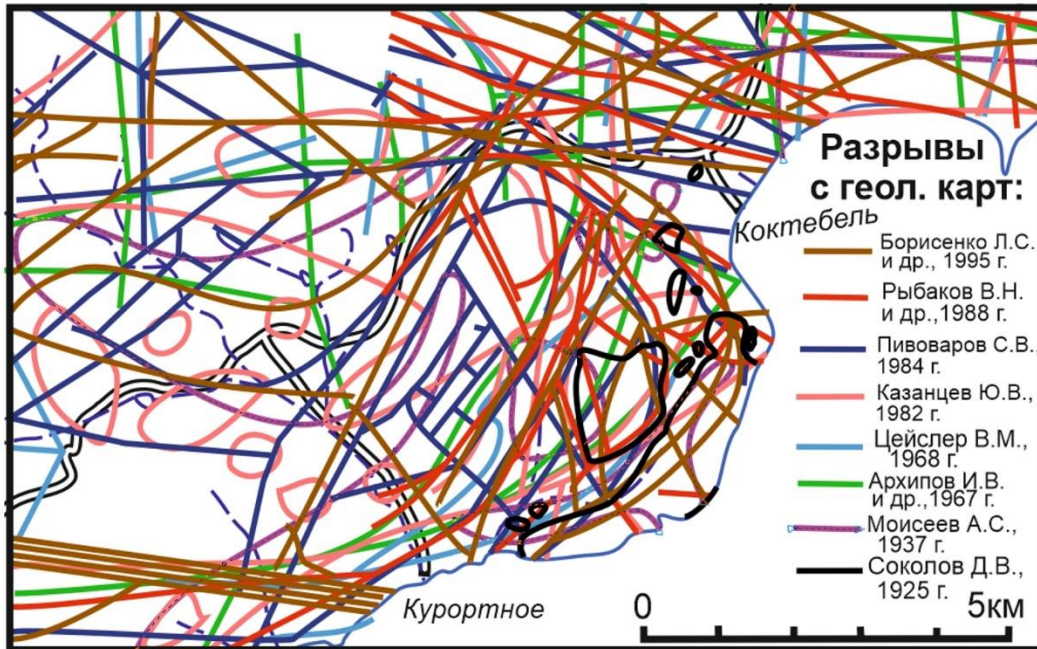


Рис. 2. Разрывы с геологических карт разных авторов и лет составления.

Такая хаотическая картина не позволяет выделить одну общую модель строения. К тому же все разрывы, показанные на рис. 2 структурно не сбалансированы. Они не допускают проведение палинспастической реконструкции и в Природе геометрически нереальны. Исключением является геологическая карта масштаба 1:50 000, [18]. На ней, изначально составленной еще в 1913 году, Д. В. Соколов впервые объективно выявил и оконтурил реально существующие разновеликие глыбы-«отломки» Карадагского вулкана, окруженные разрывами и «земляными брекчиями». К сожалению, эта модель была незаслуженно забыта более чем на 100 лет (сравните черные линии разрывов на рис. 2 с разрывами на рис. 1).

Несохожесть положения разрывов выявлена и на государственных геологических картах Украины и России, составленных коллективом исполнителей под редакторством С. В. Белецкого - в организации, в разные годы называемой «Южэкогеоцентр», «Крымгеология» и «ЦЛАТИ» (рис. 3). С этими картами можно ознакомиться в ГБУ РК «Территориальный фонд геологической информации», сайт Крымгеофонда <https://tfgikrym.ru/> и по адресу [https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/L-36\\_K-36/L-36\\_K-36\\_GKDO\\_1.pdf](https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/L-36_K-36/L-36_K-36_GKDO_1.pdf) Некоторые незначительные несовпадения линий на рисунке 3 можно объяснить разными топографическими основами геологических

карт, но подчеркнем, что все показанные разломы геометрически нереальные, поскольку не допускают палинспастическую реконструкцию.

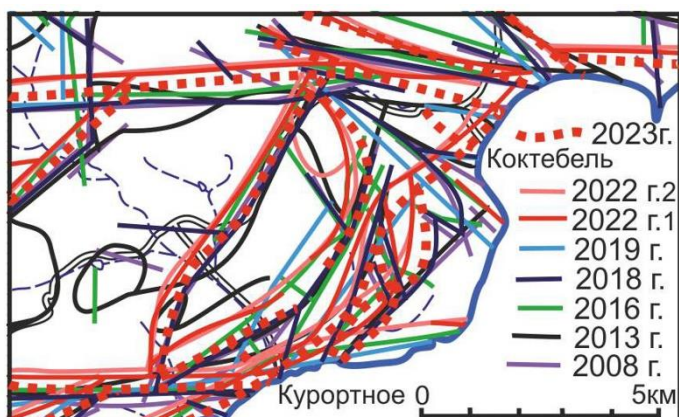


Рис. 3. Несхожесть положения разрывов на государственных геологических картах среднего и мелкого масштабов.

Нельзя не отметить, что многие исследователи района (К. К. Фохт, Д. В. Соколов, А. Д. Архангельский, Н. А. Преображенский и др.), еще в 30-х годах прошлого века отмечали на Карадаге признаки значительных надвигов. Например, Д. В. Соколов в 1925 г., указывая на аллохтонность Карадага, называл его «громдным отломком», перенесенным тектоническими силами. Подробнее история этих незаслуженно забытых исследований отражена в книге Ю. В. Казанцева [19]. После 60 лет господства представлений разломно-блоковой тектоники фиксизма, в структурно-мобилистских интерпретациях здесь выделялась аллохтонная Карадагская пластина, ограниченная «тектонитом» одноименного надвига и Планерского сдвига [20]. В тектоните были описаны глыбы пород разного состава с фауной средней и верхней юры. В последующей статье [21] Карадагский комплекс отнесен к самостоятельной сдвиговой пластине, отделенной зоной «терригенного меланжа», который был выделен нами двумя годами ранее [22].

*Строение складок* в рассматриваемом районе, интерпретировалось не менее противоречиво. Хаотическое распространение типов пород объяснялось резкой фациальной изменчивостью, ундуляцией шарниров складок или вертикальными смещениями блоков, образующих структуру типа «битой тарелки». В результате, на геологических картах и разрезах разных авторов показаны не похожие друг на друга структуры (рис. 2, 3). Создается впечатление, что каждый новый исследователь, не находя подтверждения предшествующим построениям, был вынужден создавать свою новую модель, обоснованную теми же самыми или несколько иными геологическими данными.

Такая закономерность характерна в районах распространения хаотических комплексов, которые здесь не картировались. Исключениями являются работы Ю. В. Казанцева, который описал в северном обрамлении Карадагской пластины довольно широкую полосу распространения «тектонитов» и отразил ее на схематическом



рисунке №12 [20], а также статья [21]. Все перечисленные выше модели строения Карадага не могут считаться достоверными из-за структурной несбалансированности карт и разрезов, не позволяющей выведение дислоцированных комплексов в доскладчатое положение.

*Сбалансированная модель строения.* Противоречия в разных трактовках стратиграфии и тектоники района, а также отсутствие общепринятых представлений о строении привели к необходимости применения иной методики изучения. Она заключается в детальном изучении наиболее обнаженных и представительных полос вдоль составляемых в крест простирания тектонотипических разрезов с их последующей увязкой на площади [7, 23 и др.]. В наиболее сложных и дискуссионных участках были проведены дополнительные сборы фауны и маршруты оконтуривания отдельных потенциально аллохтонных массивов. Использовались дешифрирование космоматериалов и опубликованных в интернете данных с летающих дронов. Проанализированы все объективные предшествующие построения. В результате была создана геометрически возможная модель, допускающая палинспастическую реконструкцию и не противоречащая строению и общей геодинамике Горного Крыма. Ранее такие разрезы здесь не составлялись или имели характер схематических рисунков, отражающих субъективные представления авторов.

Умозрительная моноклинально-синклинальная структура Карадагского вулкана была принята большой группой геологов СССР под редакцией М. В. Муратова [4, 8], а затем и всеми геологами-съемщиками Украины и России [15, 16, 17 и др.]. Выделенная М. В. Муратовым в 1937 году карадагская свита не соответствовала требованиям выделения стратона. Тем не менее, она картируется до сих пор на основе представлений о нормальном стратотипическом разрезе снизу вверх - с юга на север. Все выводы о возрасте фрагментов свиты по обнаруженной фауне подгонялись под такую модель. На ее основе представлялась геологическая история всего Крыма и Карадагского вулкана в частности. Однако, как показали наши исследования, такое строение не соответствует геологическим данным, что было опубликовано в статьях, монографиях и картах [7, 12, 23, 24, 25, 26 и др.].

Нельзя не упомянуть статью сотрудников МГУ во главе с В. С. Милеевым 2004 года [27]. В этой публикации на стр. 69 со ссылками на статьи [12], нам было ошибочно приписана неправильная модель Ю. В. Казанцева [19] о перемещении крымских аллохтонов на север. Хотя в 300 наших публикациях доказано надвигание не на север, а на юг. Исключение составляют лишь Мраморный ретронадвиг, а также олистолиты Горнокрымской олистостромы, которые не надвинуты, а по сбросам сползли с юга.

Недопустимым нарушением научной этики является и декларация соавторов из МГУ в статье [33, стр. 77], что «В. В. Юдин и А. А. Клочко предполагают, что Карадаг является олистоплаком, который в раннем мелу гравитационно сполз в северном направлении». Неграмотность этого предложения и полное несоответствие с нашими научными выводами показывает, что четыре известных соавтора из МГУ при написании статьи совсем не читали наши публикации и с неясной целью вводили читателей в заблуждение, руководствуясь лишь своим воображением.

Вывод соавторов статьи [27], что Карадаг является «...моноклинально построенным крылом Судакского синклиория, сложенного среднеюрскими южновергентными дигитациями покровов, ... которые были нарушены продольными листрическими сбросами...в направлении акватории... » является ничем не обоснованной предположением. Оно не соответствует ни реальным структурам, ни их же схематичному разрезу в статье [27] на рисунке №2-Д, на котором Карадагский палеовулкан отсутствует.

«Традиционная» и геометрически нереальная структура Берегового хребта осталась в представлениях большинства исследователей без изменений до настоящего времени [2, 28 и др.]. Это относится и к последней Государственной геологической карте Крыма в РФ 2019 года ([https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/L-36\\_K-36/L-36\\_K-36\\_GKDO\\_1.pdf](https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/L-36_K-36/L-36_K-36_GKDO_1.pdf)) и др. Поэтому далее обоснуем строение Карадага на основе сбалансированной тектоники и актуалистической геодинамики.

Иная методика изучения структур позволила автору статьи создать существенно иную, геометрически реальную геологическую карту и разрезы (рис. 1). Их первый вариант был опубликован в статье [12]. После 10-летних дополнений и уточнений, строение Карадага было описано с шестью рисунками в разделе 5 фундаментальной монографии «Геодинамика Крыма» [7]. Еще через 6 лет уточненная модель была приведена в книге «Геология Крыма Фотоатлас» [25, стр. 91-99], а также во втором издании Геологической карты и разрезов Крыма [26].

Последний уточненный вариант сбалансированной модели Карадага в плане и в разрезах показан на рисунке 1. Разрез А-Б проходит от Золотых Ворот через Береговой хребет (Карагач), через юго-западный край массива Святой горы, пересекает сложные чешуи, складки и олистолиты из верхнеюрских известняков (рис. 1, верхний разрез). На юге он показывает срез Карадагской антиклинали, нарушенной одноименным надвиговым меланжем [7 и др.].

Разрез В - Г (рис. 1) показывает параллельный срез Карадагского района от края хр. Берегового (Карагач) до горы Арды-Кая. Вулканогенная часть структуры с утыканием толщ в Карадагский меланж трактуется нами, как крупный кластолит, сорванный с основания и окруженный тектоническим микститом. Мелкие глыбы-кластолиты из вулканогенных пород присутствуют в его обрамлении на западе и северо-востоке (рис. 1). Более детально тектоника района показана ниже на конкретных примерах геологических объектов, доказывающих принципиально иное строение.

**Массив Святой горы** (ранее называемый г. Карадаг) представляет собой отдельный крупный кластолит в Карадагском тектоническом меланже с размерами 1500X1800 м (рис. 1). Он сложен вулканогенными породами, среди которых разными авторами выделялись очень разные магматиты. К ним относятся андезиты, трахиандезиты, кератофиры среднего состава, липариты, риолиты, дациты кислого состава, а также их туфы (трассы), вулканические брекчии и другие пирокластические образования [1, 4, , 29, 30 и мн. др.].

На геологических картах разных авторов структуры, названия пород и их контуры существенно отличаются. Выделить среди них одну правильную модель строения и эволюции массива невозможно, хотя многие исследователей отмечали

ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.  
 ЧАСТЬ 2. ТЕКТНИКА

очень сложную тектонику массива и допускали бескорневую его природу с незначительным смещением [6, 13, 18, 21]. Также как и в Береговом хребте, здесь описывались дайки андезитов, дацитов и кератофиров, наиболее крупная из которых известна как скала Большая Стена (рис. 4-А, Г).

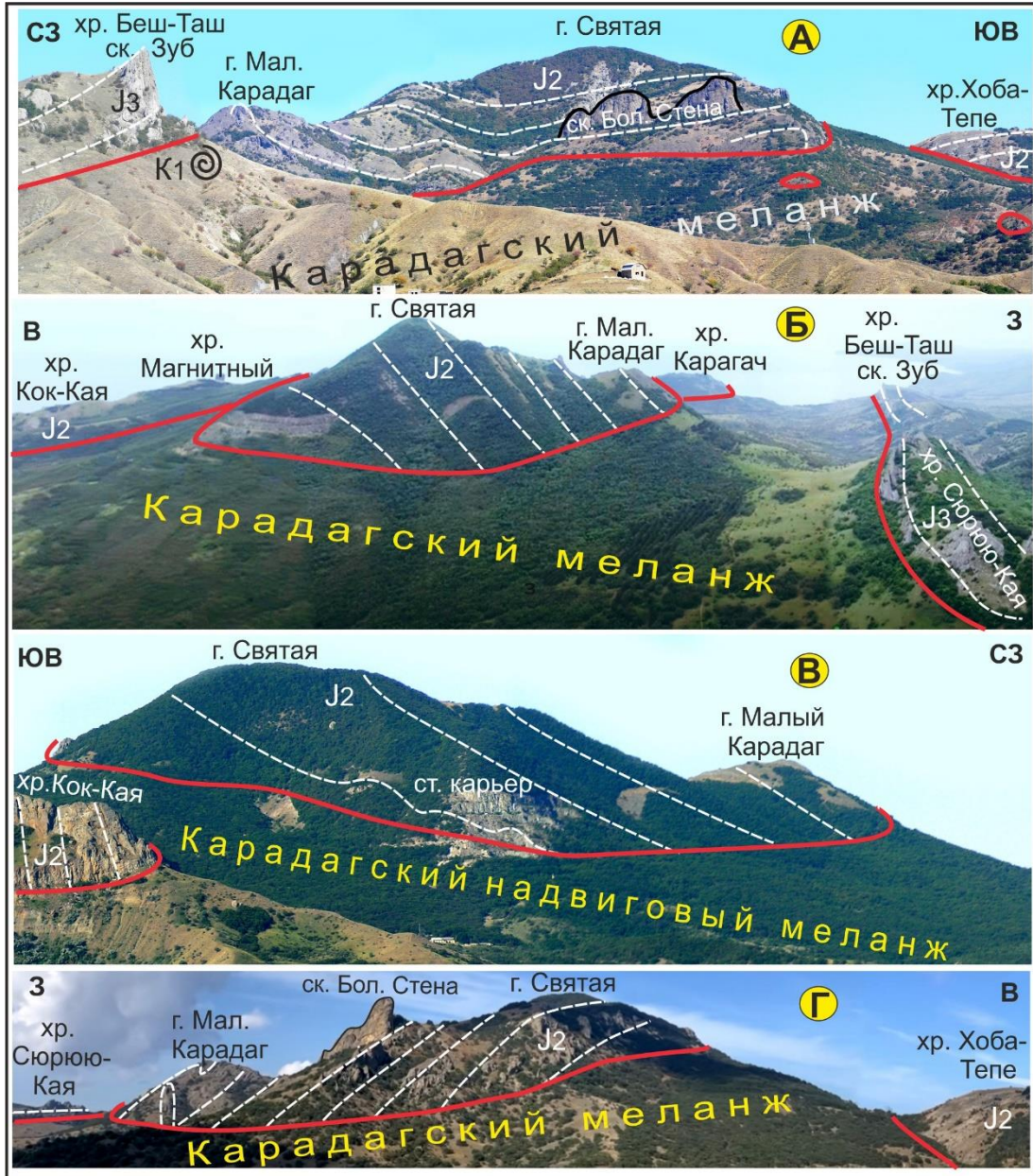


Рис. 4. Строение массива Святой горы и его окружения с четырех сторон:  
 А — с юго-запада, Б — с севера, В — с северо-запада и Г — с юга.

Оснований для выделения здесь умозрительных «дуговых и радиальных разломов», у вершины г. Святой «общей куполовидной антиклинальной структуры» или «кольцевой структуры более высокого ранга» по [1, стр. 91, 92, 93] — нами не обнаружено. Нет здесь также блоков и синклинальной складки типа мульды в трассах с крутыми крыльями по данным Е. П. Черепановой, А.К. Маркова и др. в работе [3].

Вследствие меньшей обнаженности и значительной залесенности, представления о тектонике этого района очень противоречивые. Единственным геологом, объективно отразившим на карте контур массива-«отломка» Святой горы, был Д. В. Соколов [18]. Остальные исследователи лишь произвольно нарезали объект субъективными, несбалансированными и геометрически нереальными разнонаправленными субвертикальными «разломами» на блоки (рис. 2, 3), хотя иногда частично соглашались с незначительным смещением этого массива.

Логичное объективное внутреннее тектоническое строение г. Святой на геологических картах и разрезах не отражалось. Рисовались лишь противоречивые контуры выходов разных пород. Тем не менее, большинство исследователей, начиная с первых представлений А. Ф. Слудского 100-летней давности, и поныне считают массив «потухшим вулканом». Как показано в нашей статье [24], такое мнение не соответствует пониманию термина из-за древности пород и полного тектонического срыва этого бескорневого фрагмента палеовулкана. Кроме того, субмеридиональные и северо-западные простирания пород в массиве г. Святой не совпадают с широтными и северо-восточными простираниями в Береговом хребте, что подчеркивает автономность их структур (рис. 1). Добавим, что над всем этим вулканогенным массивом расположена отрицательная магнитная аномалия.

Первая геометрически реальная сбалансированная модель строения Святой горы была опубликована в работах [12] и детализирована в монографиях [7, 25]. Тектоника этого объекта становится понятной лишь при рассмотрении фотопанорам со всех сторон и дешифрирования не всегда стратифицированных вулканогенных отложений (рис. 4). Как видно на фотопанорамах рисунка и на геологической карте (рис. 1), горы Святая и Малый Карадаг слагают отдельный массив, состоящий из вулканогенных пород. В целом, они образуют моноклираль, падающую на запад-северо-запад под углами 20-50°. Местами моноклираль осложнена принадвиговыми складками с наклоном крыльев до 80°. В плане небольшая присдвиговая складка с размерами 50 м и крутым шарниром наблюдается по дешифрированию космоматериалов на вершине г. Малый Карадаг.

Важно отметить, что породы массива сильно нарушены не только юрско-меловыми, но и наложенными кайнозойскими дислокациями. Например, в старом карьере по добыче трасса на северо-восточном склоне горы Святой (рис. 4), азимуты падения в трассах изменяются в значительном диапазоне 240-350°, а углы наклона от 30° до 80°. Прочные и сильно уплотненные туфы нарушены хаотично расположенными трещинами. Среди них присутствуют мощные, до 1 метра крутопадающие зоны, заполненные рыхлыми брекчиями и пластичной глиной. Такое выполнение не литифицированными породами не соответствует значительному метаморфизму юрских трассов. Поэтому можно предполагать молодой,

кайнозойский возраст таких раздвигов в основании аллохтонной пластины. Ниже уровня старого карьера обнажен хаотический комплекс из мелких беспорядочно расположенных обломков разных пород (рис. 4).

Как видно на рис. 1 и 4, массив Святой горы со всех сторон окружен эндогенным хаотическим комплексом Карадагского надвигового полимиктового меланжа. Рисовка в этом микстите разных и противоречивых свит не соответствует критериям выделения стратонов согласно действующему Стратиграфическому кодексу.

**Меланжи на Карадаге** развиты широко и играют важную роль в строении района. В гораздо меньшем масштабе распространения они были выделены много лет назад [13, 18, 20]. Раньше при описании передробленных пород использовались термины - «земляные брекчии», «тектониты» и др., которые не отвечают современной терминологии микститов [7, 22, 23, 31]. Однако это не меняет природы развитых здесь тектонических образований (тектонов) в отличие от выделяемых на их месте слоистых осадочных образований (стратонов). На государственных геологических картах всех масштабов которые составлены в СССР, на Украине и в России меланжи игнорируются до настоящего времени, а на их месте рисуются противоречивые свиты (стратоны) с «разломами» [15, 16, 17 и мн. др.], (рис. 2, 3).

В структурно сбалансированной модели строения Крыма 25 лет назад нами были выделены и оконтурены на геологических картах региональные Карадагский и Щебетовский меланжи [22]. Впоследствии их контуры и внутреннее строение были уточнены и детализированы в публикациях [7, 12, 22, 23, 24, 25, 26, и др.]. В настоящей статье микститы показаны уточненно в плане и в разрезах (рис. 1, 4).

*Карадагский меланж* состоит из разных тектонически передробленных пород. Он слагает извилистую полосу, длиной около 40 км и шириной 1--3 км от Судака до мыса Киик-Атлама. В районе Карадага микстит имеет наибольшую ширину за счет двух наиболее крупных глыб-кластолитов из вулканогенных пород с тектоническими контактами по периферии (рис. 1).

На карте, на разрезе А – Б рисунка 1 и на фотопанорамах (рис. 4) видно, что со всех сторон под «тектоническим отломком» г. Святой расположены относительно слабо уплотненные передробленные породы матрикса меланжа. Прочные моноклинально залегающие вулканогенные породы, слагающие горы Святая и Малый Карадаг, не прослеживаются по простиранию и повсеместно оборваны тектоническими контактами. Весь этот массив аллохтонный и не может интерпретироваться как корневой «потухший вулкан». В плане вокруг него среди передробленных пород матрикса присутствуют относительно небольшие глыбы-кластолиты из магматических и осадочных пород (рис. 1 и 4-А).

Массив Берегового хребта также окружен полностью передробленными породами матрикса Карадагского меланжа. Вулканогенные толщи поставлены «на голову» и частично запрокинуты к юго-востоку. На юго-западном крае в плане они тупо утыкаются в мощную зону хаотического комплекса (рис. 1). В разрезе хорошо видно, что меланж расположен гипсометрически ниже и явно перекрыт по ныряющему надвигу вулканитами хр. Карагач (рис. 5).



Рис. 5. Карадагский меланж из перетертых алевролитов и обломков песчаников под юго-западной частью вулканогенного комплекса Берегового хребта.

Матрикс меланжа хорошо обнажен в береговых обрывах и в многочисленных искусственных подрезках склонов в пос. Курортное. Он состоит из перетертых серых алевролитов дистального флиша типа таврического (Т3--J1). Породы разбиты на листочки в 0,1–2 см и пронизаны многочисленными блестящими зеркалами скольжения. Местами в матриксе отмечаются мелкие округлые тектонические закатыши из желтых глин. Последние не соответствуют литификации алевролитов и, по-видимому, имеют более молодой мел-кайнозойский возраст. Ориентировка хаотических зеркал скольжения, местами напоминающих кливаж, имеет преимущественное падение на СЗ  $320^\circ \angle 10\text{--}30^\circ$ , что позволяет судить о падении сместителя шарьяжного меланжа. В обломках слоев песчаников и редких эффузивов, размерами 0,1–0,5 м закономерная ориентировка отсутствует.

В других участках западнее, матрикс Карадагского меланжа сложен менее литифицированными зелено-серыми алевролитами, характерными для среднеюрских и меловых пород Крыма. В них встречены кристаллы и примазки гипса. Нижнемеловой возраст передробленных глинисто-карбонатных пород доказан определениями фауны в поднадвиге хр. Беш-Таш [12]. Отметим, что в северо-западной части полосы меланжа незакономерными пятнами присутствуют светло-серые, пластичные глины, сходные с майкопскими (олигоцен-неогенового возраста). То есть, матрикс состоит из разных пород весьма значительного диапазона возраста - от триас до кайнозоя.

У основания юго-западного обрыва г. Карагач, в 300 м севернее берега, среди

ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.  
ЧАСТЬ 2. ТЕКТОНИКА

перетертых и передробленных пород наблюдались обрывки мелких хаотично расположенных складок, в том числе и с крутым до 70-90° падением шарниров. Это может свидетельствовать о сдвиговой составляющей при надвигообразовании или о хаотическом смятии толщ в тектонической тени кластолита.

Западнее вулканогенного массива, в матриксе фиксируются два небольших изометричных кластолита из эффузивов, размерами 50x50 м и 5x8 м с зеркалами скольжения по их периметру (рис. 1, 5). На правом борту бал. Карадагской среди бесструктурного матрикса обнажены глыбы до 1–3 x 2–10 м из серых известняков, туфопесчаников и кварцевых песчаников. Падение расланцевания там 290–320°∠20–50°. Все это свидетельствует о бескорневой природе хр. Карагач.

Северо-восточное ограничение Берегового хребта имеет аналогичное и еще более сложное строение (рис. 6). Вокруг контура массива вулканогенных пород хр. Кок-Кая среди глинистого матрикса меланжа обнажены многочисленные бескорневые глыбы из таких же пород, размерами от метра до первых десятков метров (рис. 1). Некоторые из них полностью выработаны карьерами для строительных нужд. Ярким примером тому является высокая скала Севри-Кая в западной окрестности пгт. Коктебель. За 100 лет она была полностью до корня выработана при добыче бутового камня для строительства поселка.

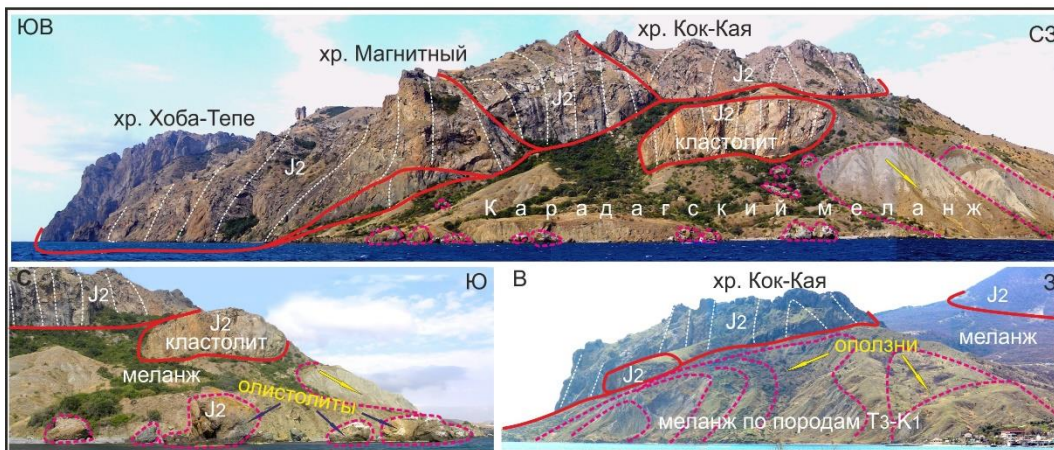


Рис. 6. Карадагский меланж на северо-востоке Берегового хребта с крупным кластолитом из вулканогенных пород, оползнями и мелкими олистолитами.

Наиболее крупный кластолит (150X300 м) сохранился у северо-восточного края аллохтонного массива. Ранее мы считали его олистолитом, сползшим с хр. Кок-Кая [25]. Однако меланжирование алевролитов и песчаников в основании этой глыбы имеет признаки эндогенного происхождения (значительная плотность матрикса, его не окисленный темно-серый цвет и др.). Олистолитами здесь можно считать лишь мелкие обломки среднеюрских пород у берега моря, показанные на рис. 6. Они являются следствием гравитационного разрушения обрывистого края кластолита.

Отдешифрированные фотографии с разных сторон показывают, что северо-восточный край хр. Кок-Кая в основании сорван ныряющим надвигом, падающим к

юго-востоку. Оперяющие разрывы существенно осложняют внутреннюю структуру Карадагской антиклинали (рис. 6). Тектонический контакт в основании массива из среднеюрских вулканогенных пород и его внутренние структуры сжатия свидетельствуют, что он бескорневой и расположен далеко от места своего формирования. В ином случае мы не сможем вернуть породы в исходное при извержении положение до смятия. Никаких оснований для выделения «потухшего вулкана» и здесь нет [24].

Подстилающий матрикс меланжа сложен бесструктурными, пластичными глинами, формирующими прибрежный бедленд. Многочисленные оползни позволяют на крутых высоких склонах наблюдать полное отсутствие в них складок и разрывов. Лишь в отдельных участках фиксируются хаотично расположенные глыбы-кластолиты, состоящие из слоистых алевропесчаников, размерами до нескольких метров.

Северо-восточнее Карадагский меланж прослеживается до мыса Киик-Атлама, где он детально описан в статье [32]. В составе многочисленных, по-разному ориентированных кластолитов, размерами до сотен метров до километра, там присутствуют не только магматические породы, но также песчаники и конгломераты. По определению фауны они датированы от верхнего триаса до верхней юры включительно. Так же, как в Береговом хребте, падения пород в кластолитах там часто субвертикальные и запрокинуты к морю.

*Щебетовский меланж* был выделен и прослежен нами в почти параллельной полосе в 2-3 км северо-западнее от Карадагского микстита (рис. 1). К северо-западу от Балалыкайского олистолита расположена 2,5-километровая полоса слабо обнаженных глин с сидеритами и песчаников. Ранее здесь выделялась Щебетовская синклиналь, выполненная среднеюрскими отложениями. Однако изучение естественных и искусственных обнажений позволило выделить здесь широкую зону меланжа. Матрикс его представлен серыми размокающими глинами с бесструктурным смятием и обилием хаотичных зеркал скольжения. Лишь у подножия г. Арды-Кая отмечаются фрагменты мелких лежащих складок и зеркала скольжения из белого кальцита. Возраст глин матрикса в свете новых данных, возможно, раннемеловой и даже кайнозойский, но фаунистически достоверно не обоснован (впрочем, как и предшествующий среднеюрский). Глыбы-кластолиты в южной части меланжа сложены изометричными обломками песчаников и мраморовидных известняков, размерами до 0,1–0,5, реже 1–2 м. В северной части размеры кластолитов увеличиваются до 2–5 м. Наиболее крупный из них 300x700 м сложен песчаниками, наклоненными на С и СВ под углом 30° (рис. 1). Он тупо утыкается в перетертый глинистый матрикс. В двух километрах восточнее в этой же зоне расположен крупный кластолит из ремобилизованного известнякового олистолита. Еще восточнее, на склонах гор Татар-Хабурга и Эгер-Оба, в меланже среди хаотически перетертого матрикса обнажены глыбы из магматитов и известняков (рис. 1). По периферии эти кластолиты окружены зонами брекчий и зеркалами скольжения с гидротермальными минералами.

На северо-востоке Щебетовский меланж в районе пос. Коктебель соединяется с Карадагским и прослеживается до мыса Киик-Атлама. [7, 25, 26, 32]. На западе он



погружается под мощную толщу жестких конгломератов, слагающих изоклинальную принадвиговую антиклиналь Суук-Су, и через 15 км выходит на поверхность в виде регионального Подгорного меланжа, длиной более 130 км.

Таким образом, региональные Карадагский и Щебетовский шарьяжные меланжи определяют строение Карадага и по площади занимают почти половину его поверхности (рис. 1). В сбалансированной модели строения находки нижнемеловой и даже кайнозойской фауны в этой зоне вполне логичны и объяснимы. Например, в 7-10 км к ССВ на Планерской площади скважинами под верхнеюрско-нижнемеловыми отложениями была вскрыта такая же мощная зона дробления, под которой выявлены молодые олигоценые глины майкопской серии [19, рис. 13]. При переизучении керна скважин № 1, 2 и 3 на Планерской площади под юрскими отложениями на глубинах 1,2–1,6 км среди глин с обломками кварцевых песчаников, алевролитов, известняков и кремней, Н. М. Жабиной и Л. Г. Минтузовой была определена фауна нижнего мела и олигоцен-миоцена [33, 34]. Все это подтверждает значительную амплитуду неогеновых надвиговых меланжей, и возможность нахождения в нем обломков, висячего и лежащего крыльев из юрских, меловых и кайнозойских пород.

**Тектоника осадочного комплекса** между меланжами интерпретируется в новой сбалансированной модели [7, 25, 26]. Северо-западнее зоны Карадагского микстита под вертикально залегающими оксфорд-кимериджскими известняками хр. Беш-Таш, в глинах со смятыми зеркалами скольжения из белого кальцита и редкими кристаллами гипса нами были собраны кораллы и криноидеи берриас-валанжинского возраста (рис. 1, 7). Определения были сделаны палеонтологами Московского государственного университета, список фауны приведен в статье [12]. Ранее эти породы считались нижне-среднеюрскими в нормальном стратиграфическом разрезе, что отражено на всех геологических картах до настоящего времени.

*Хребет Беш-Таш* в рассматриваемой зоне сложен массивными известняками, местами с конглобрекциями и зеркалами из белого кальцита на ЮВ контакте. Породы слабо запрокинуты на ЮВ и падают по аз  $300^\circ \angle 80^\circ$ . С северо-запада, в подошве олистолита развита широкая зона известняковой дресвы в глинистом матриксе с редкими изометричными глыбами известняков, размерами до 1-5 метров. Севернее дресва сменяется полностью перетертыми серыми алевролитами с мелкими обломками кварцевых песчаников (0,1–0,5 м) и фрагментами нормальных и запрокинутых крыльев складок (рис. 1). Северо-западнее следует полоса с хаотической структурой небольшого безымянного меланжа по породам флишоидной толщи, в которой намечается в целом северо-восточное простирание кластолитов и юго-восточная вергентность фрагментов складок (рис. 1).

Строение участка юго-западнее хр. Беш-Таш интерпретируется как поставленные на голову ремобилизованные олистолиты из верхнеюрских известняков среди нижнемелового матрикса Горнокрымской олистоформы [7, 25, 35]. Сам хребет представляет собой слабо запрокинутое на ЮВ крыло крупной антиклинали, периклиналь которой отчетливо прослеживается севернее по дешифрированию космоматериалов в районе ск. Илма-Кая (рис. 1, 7).



Рис. 7. Строение Карадага с юго-запада, с востока и с юга. Цифрами обозначены нечки скал: 1 — Иван разбойник, 2 — Золотые Ворота, 3 и 4 — Безымянные, 5 — Чертов Камин, 6 — Хоба-Тепе, 7 — Слон, 8 — Лагорио, 9 — Слоичатый, 10 — Тупой.

На нижней части склона г. Балалы-Кая (рис. 7 верхнее фото) обнажены гривки песчаников, переходящие в 50-метровую послойно потертую толщу переслаивания

карбонатных конгломератов с глауконитом и глин с кристаллами гипса. Толща четко прослеживается по простиранию и падает  $320^{\circ}\angle 40-50^{\circ}$ . Ранее породы здесь относились по литологическому сходству к келловей-оксфорду, к ранней юре или к поздне триас-раннеюрскому диапазону. Однако, в карбонатном цементе 1,5-метрового пласта конгломерато-песчаника с обильной фауной белемнитов, ежей, брахиопод, кораллов и гастропод, нами была собрана и в МГУ палеонтологами определена фауна берриаса (берриаса-готерива) [12]. Над нижнемеловой толщей обнажены более древние верхнеюрские известняками с аналогичным падением  $320^{\circ}\angle 20-40$  (рис. 7 верхнее фото). Контакт – тектонический.

Изложенное выше позволяет интерпретировать тектонику этого участка как надвиг келловей-оксфордских известняков на нижнемеловую толщу или как северо-западное крыло антиклинали из нижнемеловой олистостромы с Балалыкайским олистолитом из верхнеюрских известняков. Дешифрирование структур с учетом ранее выделенной региональной нижнемеловой Горнокрымской олистостромы [7, 35] позволяет считать более правильным второй вариант. Периклиналь структуры хорошо дешифрируется и расположена на простирании крупной Тарахташской антиклинали, являясь ее продолжением (рис. 1).

История формирования этого объекта следующая. В конце нижнего мела с юга произошло оползание в бассейн олистолитов из верхнеюрских известняков. В неоген-четвертичное время весь комплекс при смещении по Карадагскому надвиговому меланжу был смят в крупную асимметричную Тарахташскую антиклиналь с меланжированием толщ ядра и частичным срывом свода.

Выделение в районе г. Балалы-Кая (Чертов палец) Балалыкайской антиклинали [1] или Легенерской синклинали [4] представляется некорректным. В северо-западном и южном обрамлении олистолита под полого падающими известняками выходит бесструктурная толща с обломками песчаников аналогичных нижнемеловым и крупные глыбы известняков. Этот микстит явно гравитационного происхождения переработан последующими неотектоническими движениями, что наблюдается у шоссе Щебетовка — Курортное.

Аллохтонная природа эндогенных принадвиговых складок в структуре поп-ап и поставленных на голову вулканогенных пород Берегового хребта ставит вопрос о балансе перемещений и палинспастической реконструкции структуры всего Карадага. Только после распрямления складок и возвращения крыльев надвигов в исходное положение можно судить о реальной форме и размерах Карадагского вулкана.

**Проблема корней и продолжения Карадагского палеовулкана** обсуждается более 90 лет. Традиционно считалось и большинством геологов до сих пор декларируется, что его южная половина опущена по сбросу и расположена в акватории Черного моря [4, стр. 314; 27, 29 и др.]. Однако, по результатам морских исследований, в непосредственной близости от берега под четвертичными отложениями магматические породы обнаружены не были. Там вскрыты глыбы коренных кварц-полевошпатовых песчаников, сходных с раннемеловыми [1, стр. 61]. Здесь же у берега резко обрывается связанная с базальтами Берегового хребта Карадагская магнитная аномалия, размерами 2х6 км, которая совпадает с контуром

массива.

Магнитную аномалию на Карадаге впервые обнаружил более 100 лет назад горный инженер А. И. Спасо-Кукоцкий. После этого А. В. Вознесенский, А. А. Турцев и др. провели здесь детальную магнитометрическую съемку и выделили на карте отдельные аномалии. Наиболее крупная из них была связана со скалой «Магнитный камень» на одноименном хребте. Скала эта сложена лавами с шаровой отдельностью и значительным содержанием магнетита

В 1974–1976 годах на всей территории Карадага и прилегающих областей З. А. Бойко и В. И. Литвинов составили карты аномального магнитного поля, масштаба 1:50000. Несмотря на небольшие различия, в них вдоль Берегового хребта четко выделялась удлиненная положительная Карадагская аномалия, с интенсивностью 75–200 нТл и размерами 1–2х8 км (рис. 8, карта).

Парадоксально, но северо-западнее, над горами Святая и Малый Карадаг, также сложенными из похожих вулканогенных пород, была выявлена обширная отрицательная аномалия, интенсивностью до -50–100 нТл. Она имеет размеры 5х10 км, и северо-восточное удлинение вдоль хребта (рис. 8, карта, красный цвет). Теми же авторами на фоне отрицательного магнитного поля в северной части массива Святой горы были выявлены мелкие локальные положительные аномалии, которые связывались с бескорневыми дайками.

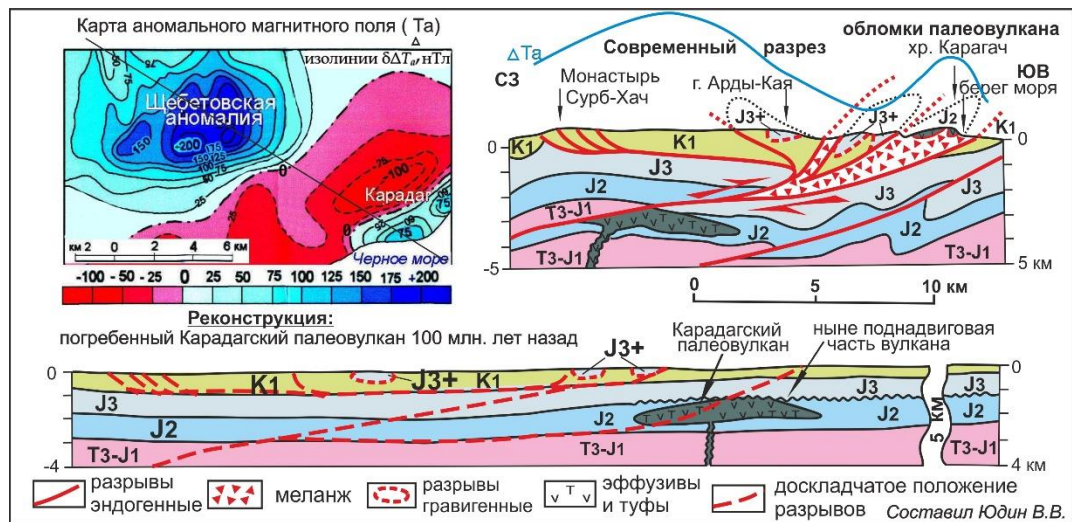


Рис. 8. Сбалансированный геологический разрез Карадага и его реконструкция и его палинспастическая реконструкция с учетом магнитного поля.

Еще северо-западнее была выявлена крупная (8х10 км), изометричная положительная Щebetовская аномалия интенсивностью до 150–200 нТл. Важно подчеркнуть, что её размеры и интенсивность в 2–3 раза больше, чем над Береговым хребтом Карадага. Других аналогичных аномалий поблизости нет.

Нельзя не отметить, что на более поздних обобщающих картах магнитного поля изображено явное несоответствие положения аномалий с более детальными

предшествующими построениями. Так, на карте аномального магнитного поля Украины масштаба 1:500000 Щебетовская положительная аномалия была показана с меньшей интенсивностью (до 50 нТл), а на месте Карадагской аномалии вдоль Берегового хребта нарисовано нереальное линейно вытянутое на северо-восток отрицательное магнитное поле. Оно явно не соответствует ни геологическим данным, ни детальным предшествующим магнитометрическим съемкам. Интенсивная линейная положительная аномалия на этой карте нелогично нарисована в прилегающей к Карадагу акватории Черного моря. Это можно объяснить либо смещением береговой линии из-за использования разных топографических основ, либо геологически не обоснованной подгонкой под традиционное предположение концепции фиксизма о погружении юго-восточной части Карадагского вулкана по сбросам в Черное море. Такие гипотезы выдвигались А. Ф. Слудским [13], Д. В. Соколовым, [18], М. В. Муратовым [3] и др. Однако, как отмечено выше, морские исследования дна в акватории восточнее Карадага магматитов не обнаружили. Драгированием и пробоботборными трубками там выявлены фрагменты немагнитных осадочных пород.

Тем не менее, в обобщающих публикациях украинских геофизиков, на карте аномального магнитного поля Крыма, над Береговым хребтом Карадага была нарисована нереальная отрицательная линейная аномалия. При этом более интенсивная и большая по площади (3x10км) положительная аномалия была изображена в прибрежной зоне Черного моря [36].

Еще более удивили в 2019 году геологи из ГУП РК «Крымгеология» («ГАУ РК ЦЛАТИ»). В отчете по государственной геологической съемке РФ масштаба 1:20000, лист L-36-XXX (Феодосия) ответственный исполнитель Л. А. Фиколина привела карту магнитного поля масштаба 1:500000. На ней Щебетовская аномалия в тех же контурах, но вопреки всем картам за 100 лет изучения, была нарисована отрицательной, с интенсивностью в 40–50 нТл. Причем к юго-востоку от Карадага в море под уже другую идею наивного мобилизма была пририсована линейная отрицательная аномалия. Сама Карадагская же в плане из линейной превратилась в изометричную. Подобные явно ошибочные построения противоречат 100-летним геофизическим исследованиям, реальному геологическому строению и на государственных картах РФ недопустимы.

Еще более необоснованные взгляды были опубликованы в статьях украинских и французских соавторов после 2014 года. Они нарисовали на карте несуществующие магматические породы по всему району Карадага, а юрские породы и меланжи огульно отнесли к нижнему мелу [37, стр. 38]. Критика этих и других их статьей опубликована коллективом соавторов в центральных журналах.

Согласно нашей геодинамической модели [7, 12], срезанная надвигом половина Карадагского палеовулкана, должна располагаться в автохтоне на северо-западе в соответствии с направлением неотектонического поддвигания коры Черного моря под Крым [7]. Именно там, в 7–18 км в поле выходов на поверхность меланжа и толщ нижнего мела — верхней юры, расположена наиболее крупная и интенсивная Щебетовская магнитная аномалия (рис. 8 верхние карта и разрез). При совмещении удлиненной Карадагской аномалии с северо-западной частью полукруглой

Щебетовской, реставрируется изометричная аномалия, отражающая палеовулкан до его срыва шарьяжем. Реконструкция Карадагского вулкана показана внизу рис. 8.

При создании геодинамической модели Карадага 22 года назад, по нашей просьбе сотрудники объединения ГПП «Укргеофизика» В. В. Левченко и А. И. Котляр на основании детальной карты магнитного поля рассчитали глубину залегания верхней кромки магнитовозмущающих масс Щебетовской аномалии. Условием расчетов было, что этот объект субвертикальный и бесконечный в глубину (то есть корневой). Согласно трем способам определения, расстояние от поверхности земли до кровли тела магматических пород было определено в 2422, 2550 и 2740 м (в среднем 2571 м).

Это хорошо укладывается в надвиговую модель и позволяет оценить относительное смещение Карадагского массива на расстояние около 15 км (рис. 8). Такая же амплитуда получена автором настоящей статьи при палинспастической реконструкции с распрямлением изоклинальных дивергентных складок из верхнеюрских конгломератов, расположенных по простиранию западнее [7]. Реконструкция складок не оставляет сомнений в значительном смещении карадагских магматических пород в кайнозое не говоря об их гигантских перемещениях по палеомагнитным данным в мезозое на 1–2 тыс. км [7, 22 и др.].

В заключение добавим, что аналогичное аллохтонное залегание имеет крупнейший в Крыму среднеюрский интрузивный массив Аю-Даг. По комплексу геологических данных и по анализу аномалий магнитного поля было обосновано, что массив расположен в сходном с Карадагским Южнобережном меланже и является крупным кластолитом. Он находится в опрокинутом залегании и также оторван левым сдвиго-надвигом от более крупного массива с Горнокрымской аномалией на расстояние в 15–20 км [38]. По структурному балансу второго рода это подтверждает модель строения и реконструкции Карадага [7, 22]. В целом, обоснованная в настоящей статье тектоника Карадага и ее элементы полностью соответствуют ранее разработанной геодинамической модели строения и развития всего Горного Крыма [7, 22, 23, 25 и др.].

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования, с учетом статьи №1 [24], позволили существенно изменить представления о тектонике Карадага. На основе современной структурной геологии и теории актуалистической геодинамики, создана сбалансированная геологическая карта и разрезы с принципиально новыми геологическими объектами. Основные результаты исследования заключаются в следующем.

1. Анализ выделенных ранее тектонических структур показал, что все разломно-блоковые и надвиговые модели строения Карадага следует считать некорректными из-за недостаточной обоснованности, противоречивости их пониманий разными авторами и геометрической нереальности несбалансированных построений, которые не допускают приведение пород в первоначальное положение. Называть Карадаг «потухшим вулканом» недопустимо, по четырем критериям определения термина [24]. В действительности это дислоцированные тектонические обломки древнего среднеюрского палеовулкана.

2. Детальное рассмотрение положения в Береговом хребте ныне запрокинутых на юго-восток 10-и фрагментов подушечных лав и 10-и вулканических жерловин, позволило доказать, что разрез вулканогенных толщ удревняется от моря к суше. Весь вулканогенный комплекс пород Берегового хребта залегает субвертикально и представляет собой юго-восточное крыло запрокинутой на юго-восток принадвиговой Карадагской антиклинали.

3. Массив г. Святая представляет собой крупный, сорванный в основании, фрагмент палеовулкана. В целом он образует моноклираль, падающую на запад-северо-запад под углами 20–50°. Местами его структура осложнена принадвиговыми складками с крутыми крыльями и наложенными кайнозойскими дислокациями

4. Меланжи на Карадаге до настоящего времени игнорируются, хотя развиты широко и играют важную роль в строении района, занимая почти половину его площади. Возраст вулканогенных и осадочных пород кластолитов — триас-раннеюрский, среднеюрский, верхнеюрский, раннемеловой и, возможно, кайнозойский. Региональные Карадагский и Щебетовский меланжи уточненно показаны в статье на картах, разрезах и фотопанорамах. Картирование на их месте нереальных свит и крупных синклиналей — недопустимо.

5. Осадочные породы между меланжами слагают региональную Горнокрымскую олистоформу. Она состоит из сползших в раннем мелу с юга олистолитов, сложенных верхнеюрскими известняками и конгломератами, а также из матрикса (брекчированных пород и нижнемеловых карбонатных глин). Весь оползневой комплекс осложнен при кайнозойском шарьировании. Эндогенные структуры представлены надвигами с северным наклоном сместителей, чешуями и крупными принадвиговыми складками. В отличие от всех предшествующих интерпретаций, новая модель структурно сбалансирована и геометрически реальна. Палинспастическая реконструкция складчато-надвиговых структур из осадочных пород свидетельствует о кайнозойском сокращении здесь зоны мезозойского осадконакопления при тангенциальном сжатии на 15–20 км.

6. Выходящие на поверхность в Береговом хребте вулканогенные породы представляют собой северную часть палеовулкана, выведенную на поверхность в крупном кластолите Карадагского меланжа. Согласно палинспастической реконструкции, вторая (в 3 раза большая) часть вулкана, находится 15 км северо-западнее к поднадвиге на глубине более 2,5 км. Традиционное мнение о том, что юго-восточная часть Карадагского вулкана погружена по сбросам в Черное море противоречит геологическим и геофизическим данным, а также геодинамической эволюции Крыма.

#### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Автор выражает свою искреннюю признательность Д. Н. Ремизову, А. В. Ене, Е. А. Шибяеву и другим коллегам за многолетние продуктивные обсуждения геологии Карадага и ценные замечания при написании статьи.

Список литературы

1. Довгаль Ю. М., Радзивил В. Я., Токовенко В. С. и др. Вулканы Карадага. Киев: Наукова думка, 1991. 104 с.
2. Заповедный Карадаг. Очерк-путеводитель. Серия: Новый крымский путеводитель. Симферополь: СОНАТ, 2007. 320 с.
3. З. Муратов М. В. Геологический очерк Восточной оконечности Крымских гор// Тр. Московского геолого-развед. института. 1937. Т. VII. С. 21–122
4. Геология СССР, том VIII. Крым. Часть I. Геологическое описание. М.: Недра. 1969. 576 с.
5. Бескаравайный М. М., Костенко Н. С., Миронова Л. П. и др. Природа Карадага. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
6. Природа Карадага / Бескаравайный М. М., Костенко Н. С., Миронова Л. П. и др.; Под ред. Морозовой А. Л. и Вронского А. А.; АН УССР. Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. Киев: Наук, думка, 1989. 288 с.
7. Юдин В. В. Геодинамика Крыма. Монография. Симферополь, ДИАЙПИ, 2011. 336 с.
8. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М., Гос. научно-технич. из-во, 1960. 207 с.
9. Лебединский В. И., Макаров Н. М. Вулканизм Горного Крыма. Киев, АН УССР, 1962. 208 с.
10. Карадаг заповедный: научно-популярные очерки/ Под. ред. А. Л. Морозовой. Симферополь, Н. Ореанда, 2011. 256 с.
11. Юдин В. В. Мантийные породы у поверхности Крыма / Труды Крымской Академии наук, Симферополь, ИТ «Ариал», 2022. С. 29–43.
12. Юдин В. В., Клочко А.А. Тектоника Восточного Крыма (Карадаг). В кн.: “Сырьевые ресурсы Крыма и прилегающих акваторий (нефть и газ)”. Материалы конф. “Тектоника и нефтегазоносность Азово-Черноморского региона в связи с нефтегазоносностью пассивных окраин континентов”. Симферополь, “Таврия-Плюс”, 2001. С. 169–178.
13. Слудский А. Ф. Гора Карадаг в Крыму и ее геологическое прошлое / Записки Крымского общества естествоиспытателей и любителей Природы, 1911, т. 1. Тип. Таврич. Губернского Земства, 1912. 10 с.
14. Геологическая карта Крыма. М-б 1:400000 Редактор К. К. Фохт, (составлена в 1910 г. по материалам Андрусова Н. И., Борисяка А. А., Фохта К. К. и др.) Ленинград, Геол. комитет, 1926.
15. Геологическая карта СССР. Нов. Серия. М-б 1:1000000. L-36-37. Симферополь. Ред. Володин Д. Ф. (Авторы по Крыму Пасечный Г. В., Пивоваров С. В.). М., 1983.
16. Геологическая карта Горного Крыма. Масштаб 1:200 000. / Составители Пивоваров С. В., Борисенко Л. С., Чуба Б. С. и др. (Объяснительная записка). Киев, 1984. 134 с.
17. Геологическая карта Горного Крыма. М-б 1:200000. Гл. ред. Н. Е. Деренюк. Мингео УССР, Киев, Составитель С. В. Пивоваров, 1984.
18. Соколов Д. В. Отчет о работах по исследованию вулканизма и тектоники Карадагской горной группы в Крыму в 1921 г. Отчет о состоянии и деятельности Геологического Комитета в 1924 г. /Изв. Геолкома, т. XIV, № 2, 1925, 100 с.
19. Казанцев Ю. В. Тектоника Крыма. М. Наука, 1982. 112 с.
20. Казанцев Ю. В., Казанцева Т.Т., Аржавитина М.Ю. и др. Структурная геология Крыма. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 152 с.
21. Вознесенский А. И., Книппер А. Л., Перфильев А. С. и др. История восточной части террейна Горного Крыма в средней-поздней юре // Геотектоника, 1998. № 1. С. 27–44.
22. Юдин В. В. Микститы Горного Крыма // Доклады АН. М. 1998. Т 363, № 5. С. 666-669.
23. Юдин В. В. Надвиговые и хаотические комплексы. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2013. 252 с.
24. Юдин В. В. Геология Карадага в Крыму. Статья 1. Общее строение // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского. География. Геология, 2023, Том 9 (75). №3. С130–151.
25. Юдин В. В. Геология Крыма. Фотоатлас. Симферополь. ИТ «Ариал», 2017. 160 с.
26. Юдин В. В. Геологическая карта и разрезы Горного, Предгорного Крыма. Масштаб 1:200000. Издание второе, дополненное. Санкт-Петербург, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018.
27. Милеев В. С., Барабошкин Е. Ю., Розанов С. Б, Рогов М. А. Положение палеовулкана Карадаг в структуре Горного Крыма. В кн.: Карадаг. История, геология, ботаника, зоология (сборник



**ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.  
ЧАСТЬ 2. ТЕКТОНИКА**

---

- научных трудов, посвященный 90-летию Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского и 25-летию Карадагского природного заповедника). Книга 1-я, Симферополь: СОНАТ, 2004. С. 68-93.
28. Клюкин А. А. Экзогеодинамика Крыма. Симферополь, «Таврия», 2007. 320 с.
  29. Лебединский В. И., Кириченко Л. П. Геологическое строение. Раздел на стр. 19-33 в кн.: Заповедный Карадаг. Очерк-путеводитель. Серия: Новый крымский путеводитель. Симферополь: СОНАТ, 2007. 320 с.
  30. Лебединский В. И., Кириченко Л. П. Крым — музей под открытым небом. Симферополь, СОНАТ. 2002. 184 с.
  31. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О. В. Петров. СПб., ВСЕГЕИ, 2010. Т. 1 - А-Й, 432 с., т. 2 - К-П, 2011, 480 с., т. 3 - Р-Я, 2012, 440 с.
  32. Юдин В. В. Геология района Киик-Атлама в Крыму. / Труды Крымской Академии наук. Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2019. С. 35-57.
  33. Жабіна Н. М. Про алохтонне залягання титон-беріаських викладів в південно-східному Криму// Доповіді НАНУ, 1998, №8, С.129-134.
  34. Жабіна Н. М., Мінтузова Л. Г. Виклади мезозою в південно-східному Криму виявилися майкопськими. В кн.: Нові дані з геології та нафтогазоносності України. Сб. наукових праць УкрДГРІ. Львів, 1999, С. 137-155.
  35. Юдин В. В. О положении верхнеюрских массивов Горного Крыма //Доповіді НАНУ. 1999, № 2. С. 139-144.
  36. Ентин В. А., Гинтов О. Б., Гуськов С. И. Еще раз о природе Крымской гравитационной аномалии // Геофизический журнал, 2010, т. 32, №6, С. 119-134.
  37. Шерemet Е., Соссон М., Гинтов О. и др. Ключевые проблемы стратиграфии восточной части Горного Крыма. Новые микропалеонтологические данные датирования флишевых пород //Геофизический журнал. Т. 36. № 2. Киев. 2014. С. 35-56.
  38. Юдин В. В., Юдин С. В. Структурное положение массива Аю-Даг в Крыму / Труды Крымской Академии наук. Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2015. С. 31-40.

**GEOLOGY OF KARADAG IN THE CRIMEA.**

**ARTICLE 2. TECTONICS**

*Yudin V. V.*

*Interregional Public Organization Crimean Academy of Sciences, Simferopol, Russian Federation.  
E-mail: yudin\_v\_v@mail.ru*

Karadag is a unique region of Crimea between the river. Otuzka and settlement. Koktebel with a very complex geological structure. An analysis of the previously distinguished structures showed that over a 100-year study, all interpretations of tectonics were contradictory and geometrically unrealistic. The aim of the work was to refine and idealization the structurally balanced model of the Karadag, compiled 20 years ago on the basis of the theory of actualistic geodynamics and modern structural geology. Based on additional geological data and methodological methods of study, an updated balanced geological map, sections and photo panoramas have been compiled.

According to the position of 10 areas of pillow lavas and 10 now overturned volcanic vents in the Coastal Range, it was established that the roof and upper part of the paleovolcano is located in the southeast. Therefore, the generally accepted idea of the rejuvenation of the stratotype section of the Karadag Formation from the coast to the northwest was erroneous. The regional melanges of Karadagsky and Shchebetovsky identified by us are still ignored, although they are widely developed and play an important role in the structure of the region, occupying almost half of its area. The age of clastoliths of various rocks ranges from the

Late Triassic and Jurassic to the Early Cretaceous and, possibly, the Cenozoic. Mapping of unreal formations in place of mixtites is unacceptable.

The tectonics of the Karadag in sedimentary rocks is represented by olistoliths and the matrix of the Gornokrymsky olistostrome, complicated by Cenozoic folds and thrusts. The palinspastic reconstruction of structures from sedimentary rocks indicates a reduction in the Mesozoic sedimentation zone by 15–20 km. Volcanogenic rocks in the Coast Range represent only the northern third of the paleovolcano. Most of it is located 15 km northwest of the subthrust at a depth of more than 2.5 km.

**Keywords:** Crimea; Karadag; geology; tectonics; geodynamics; volcanoes.

### References

1. Dovgal' Ju. M., Radzivil V. Ja., Tokovenko V. S. i dr. Vulkany Karadaga. Kiev: Naukova dumka, 1991. 104 s.
2. Zapovednyj Karadag. Oчерk-putevoditel'. Serija: Novyj krymskij putevoditel'. Simferopol': SONAT, 2007. 320 s.
3. Muratov M. V. Geologicheskij oчерk Vostochnoj okonechnosti Krymskih gor// Tr. Moskovskogo geologo-razved. instituta. 1937. T. VII. S. 21-122
4. Geologija SSSR, tom VIII. Krym. Chast' 1. Geologicheskoe opisanie. M.: Nedra. 1969. 576 s.
5. Beskaravajnyj M. M., Kostenko N. S., Mironova L. P. i dr. Priroda Karadaga. Kiev: Naukova dumka, 1989. 288 s.
6. Priroda Karadaga / Beskaravajpyj M. M., Kostenko N. S., Mironova L. P. i dr.; Pod red. Morozovoj A. L. i Vronskogo A. A.; AN USSR. Institut biologii juzhnyh morej im. A. O. Kovalevskogo. Kiev: Nauk, dumka, 1989. 288 s.
7. Yudin V. V. Geodinamika Kryma. Monografija. Simferopol', DIAJPI, 2011. 336 s.
8. Muratov M. V. Kratkij oчерk geologicheskogo stroenija Krymskogo poluostrova. M., Gos. nauchno-tehnhich. iz-vo, 1960. 207 s.
9. Lebedinskij V. I., Makarov N. M. Vulkanizm Gornogo Kryma. Kiev, AN USSR, 1962. 208 s.
10. Karadag zapovednyj: nauchno-populjarnye oчерki/ Pod. red. A.L. Morozovoj. Simferopol', N. Oreanda, 2011. 256 c.
11. Yudin V. V. Mantijnye porody u poverhnosti Kryma / Trudy Krymskoj Akademii nauk, Simferopol', IT «Ariall», 2022. S. 29-43.
12. Yudin V. V., Klochko A. A. Tektonika Vostochnogo Kryma (Karadag). V kn.: "Syr'evye resursy Kryma i priliegajushhijh akvatorij (neft' i gaz)". Materialy konf. "Tektonika i neftegazonosnost' Azovo-Chernomorskogo regiona v svjazi s neftegazonosnost'ju passivnyh okrain kontinentov". Simferopol', "Tavrija-Pljus", 2001. S. 169-178.
13. Sludskij A. F. Gora Karadag v Krymu i ee geologicheskoe proshloe / Zapiski Krymskogo obshhestva estestvoispytatelej i ljubitelej Prirody, 1911, t. 1. Tip. Tavrich. Gubernskogo Zemstva, 1912. 10 s.
14. Geologicheskaja karta Kryma. M-b 1:400000 Redaktor K. K. Foht, (sostavlena v 1910 g. po materialam Andrusova N. I., Borisjaka A. A., Fohta K. K. i dr.) Leningrad, Geol. komitet, 1926.
15. Geologicheskaja karta SSSR. Nov. Serija. M-b 1:1000000. L-36-37. Simferopol'. Red. Volodin D. F. (Avtory po Krymu Pasechnyj G. V., Pivovarov S. V.). M., 1983.
16. Geologicheskaja karta Gornogo Kryma. Masshtab 1:200 000. / Sostaviteli Pivovarov S. V., Borisenko L. S., Chuba B. S. i dr. (Ob#jasnitel'naja zapiska). Kiev, 1984. 134 s.
17. Geologicheskaja karta Gornogo Kryma. M-b 1:200000. Gl. red. N. E. Derenjuk. Mingeo USSR, Kiev, Sostavitel' S. V. Pivovarov, 1984.
18. Sokolov D. V. Otchet o rabotah po issledovaniju vulkanizma i tektoniki Karadagskoj gornoj gruppy v Krymu v 1921 g. Otchet o sostojanii i dejatel'nosti Geologicheskogo Komiteta v 1924 g. /Izv. Geolkoma, t. XIV, № 2, 1925, 100 s.
19. Kazancev Ju. V. Tektonika Kryma. M. Nauka, 1982. 112 s.
20. Kazancev Ju. V., Kazanceva T. T., Arzhavitina M. Ju. i dr. Strukturnaja geologija Kryma. Ufa: BNC UrO AN SSSR, 1989. 152 s.

ГЕОЛОГИЯ КАРАДАГА В КРЫМУ.  
ЧАСТЬ 2. ТЕКТОНИКА

---

21. Voznesenskij A. I., Knipper A. L., Perfil'ev A. S. i dr. Istorija vostochnoj chasti terrejna Gornogo Kryma v srednej-pozdnej jure // Geotektonika, 1998. № 1. S. 27-44.
22. Yudin V. V. Mikstity Gornogo Kryma // Doklady AN. M. 1998. T 363, № 5. S. 666-669.
23. Yudin V. V. Nadvigovye i haoticheskie komplekсы. Simferopol': IT «ARIAL», 2013. 252 s.
24. Yudin V. V. Geologija Karadaga v Krymu. Stat'ja 1, Obshhee stroenie // Uchenye zapiski KFU im. V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija, 2023, Tom 9 (75). №4. S. 130–151.
25. Yudin V. V. Geologija Kryma. Fotoatlas. Simferopol'. IT «Arial», 2017. 160 s.
26. Yudin V. V. Geologicheskaja karta i razrezy Gornogo, Predgornogo Kryma. Masshtab 1:200000. Izdanie vtoroje, dopolnennoe. Sankt-Peterburg, Kartograficheskaja fabrika VSEGEI, 2018.
27. Mileev V. S., Baraboshkin E. Yu., Rozanov S. B., Rogov M. A. Polozhenie paleovulkana Karadag v strukture Gornogo Kryma. V kn.: Karadag. Istorija, geologija, botanika, zoologija (sbornik nauchnyh trudov, posvjashhennyj 90-letiju Karadagskoj nauchnoj stancii im. T. I. Vjazemskogo i 25-letiju Karadagskogo prirodного zapovednika). Kniga 1-ja, Simferopol': SONAT, 2004. S. 68-93.
28. Kljukin A. A. Jekzogeodinamika Kryma. Simferopol', «Tavrija», 2007. 320 s.
29. Lebedinskij V. I., Kirichenko L. P. Geologicheskoe stroenie. Razdel na str. 19-33 v kn.: Zapovednyj Karadag. Oчерk-putevoditel'. Serija: Novyj krymskij putevoditel'. Simferopol': SONAT, 2007. 320 s.
30. Lebedinskij V. I., Kirichenko L. P. Krym — muzej pod otkryтым небом. Simferopol', SONAT. 2002. 184 s.
31. Geologicheskij slovar'. V treh tomah. Izdanie tret'e, pererab. i dop. / Gl. red. O. V. Petrov. SPb., VSEGEI, 2010. T. 1 A-J, 432 s., t. 2 K-P, 2011, 480 s., t. 3 R-Ja, 2012, 440 s.
32. Yudin V. V. Geologija rajona Kiik-Atlama v Krymu. / Trudy Krymskoj Akademii nauk. Simferopol', IT «ARIAL», 2019. S. 35-57.
33. Zhabina N. M. Pro alohtonne zaljagannja titon-berias'kih vikladiv v pivdenno-shidnomu Krimu// Dopovidi NANU, 1998, №8, S.129-134.
34. Zhabina N. M., Mintuzova L.G. Vikladi mezozozju v pivdenno-shidnomu Krimu vijavilisja majkops'kimi. V kn.: Novi dani z geologii ta naftogazonosnosti Ukraїni. Sb. naukovih prac' UkrDGRI. L'viv, 1999, S. 137-155.
35. Yudin V. V. O polozhenii verhnjejurskih massivov Gornogo Kryma //Dopovidi NANU. 1999, № 2. S. 139-144.
36. Entin V. A., Gintov O. B., Gus'kov S. I. Eshhe raz o prirode Krymskoj gravitacionnoj anomalii// Geofizicheskij zhurnal, №6, 2010
37. Sheremet E., Sosson M., Gintov O. i dr. Kljuचेvye problemy stratigrafii vostochnoj chasti Gornogo Kryma. Novye mikropaleontologicheskie dannje datirovanija flishevych porod //Geofizicheskij zhurnal. T. 36. № 2. Kiev. 2014. S. 35-56.
38. Yudin V. V., Yudin S. V. Strukturnoe polozhenie massiva Aju-Dag v Krymu / Trudy Krymskoj Akademii nauk. Simferopol', IT «ARIAL», 2015. S. 31-40.

*Поступила в редакцию 22.09.2023 г.*

## РАЗДЕЛ 4. ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 550.348.435

### СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

*Калинюк И. В.<sup>1</sup>, Свидлова В. А.<sup>1</sup>, Бондарь М. Н.<sup>1,2</sup>, Бойко В. А.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Российская Федерация.*

*<sup>2</sup>ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Российская Федерация.*

*E-mail: <sup>1</sup>epicrimea@mail.ru*

Сейсмические наблюдения в Крыму выполнялись сетью из 10 станций. На основе материалов наблюдений описаны особенности сейсмичности Крымско-Черноморского региона в 2022 г. Приведены: карты представительной регистрации землетрясений и эпицентров; каталог, таблицы и графики распределения числа землетрясений и энергетических параметров по годам и районам, классам, глубинам региона. В 2022 г. наблюдалась активизация сейсмических процессов региона. Всего за год локализовано 73 землетрясения. Суммарная выделенная сейсмическая энергия  $\Sigma E = 1236.1641 \cdot 10^9$  Дж возросла в 25.5 раз относительно подобной в 2021 г. Два землетрясения с  $K_{II} = 10.6$  и с  $K_{II} = 11.3$  вызвали сотрясения в населенных пунктах Кавказского побережья интенсивностью  $I_{max} \sim 3-4$  балла по шкале MSK64. Очаг самого сильного землетрясения с  $K_{II} = 12.0$  – в Черноморской впадине.

**Ключевые слова:** сейсмичность, сейсмическая станция, эпицентр, гипоцентр, энергетический класс.

### ВВЕДЕНИЕ

Инструментальный мониторинг сейсмических процессов в сейсмоопасном Крымско-Черноморском регионе осуществляется с 1928 года. В 2022 году инструментальные наблюдения выполнялись сетью из десяти сейсмических станций. Из них семь – это станции геофизической обсерватории Института сейсмологии и геодинамики КФУ: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Судак» (SUDU), «Феодосия» (FEO), «Керчь» (KERU).

Три удаленных пункта: «TARU», «DNZ2», «OPUK» принадлежат ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»). Наблюдения на пункте «Тарханкут» (TARU) прекращены 6 мая 2022 года в связи с неисправностью регистратора.

В рамках соглашения, действовавшего до 1 октября, техническое обслуживание и первичная обработка материалов наблюдения на станциях ГАУ «КРЦ» проводилось совместно с Институтом сейсмологии и геодинамики КФУ имени В.И. Вернадского.

### 1. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ

Расположение сейсмических станций показано на рис. 1. Общие сведения о станциях приведены в таблице 1.

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

Параметры регистрирующей аппаратуры сейсмических станций региона представлены в таблицах 2 и 3.

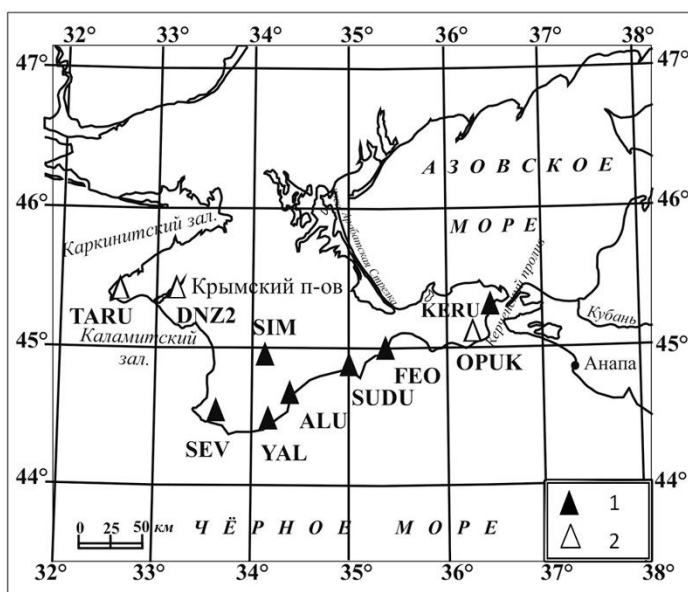


Рис. 1. Сейсмические станции Крыма в 2022 г.  
1 – станция обсерватории «КФУ», 2 – станция ГАУ «КРЦ».

Таблица 1.

Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2022 г.

№	Станция		Дата открытия	Начало цифровой регистрации	Координаты			Подпочва
	Название	Код межд. рег.			φ°, N	λ°, E	h <sub>y</sub> , м	
1	«Феодосия»	FEO Фдс	11.10.1927	13.09.2006	45.02	35.39	40.0	мергелистая глина
2	«Ялта»	YAL Ялт	13.03.1928	05.07.2000	44.48946	34.15337	23.6	шиферные сланцы
3	«Симферополь»	SIM Смф	14.05.1928	25.06.2000	44.9494	34.1161	275.0	нуммулитовый известняк
4	«Севастополь»	SEV Свс	28.06.1928	20.08.2006	44.54499	33.6792	42.0	суглинки
5	«Алушта»	ALU Алш	03.10.1951	12.07.2006	44.68	34.40	61	глинистые сланцы
6	«Судак»	SUDU Суд	18.10.1988	15.10.2006	44.8883	34.9967	108.0	глинистые сланцы
7	«Керчь»	KERU Кер	19.05.1997	07.03.2007	45.3051	36.4532	70.2	мшанковый известняк
8	«Тарханкут»	TARU TARU	11.07.2012	11.07.2012	45.3678	32.5321	10	известняк
9	«Донузлав»	DNZ2 Днз2	26.07.2019	26.07.2018	45.3747	33.2144	56	известняк
10	«Опук»	OPUK OPUK	19.05.2021	19.05.2021	45.1159	26.243	80	мшанковый известняк

Все сейсмические станции Крыма оборудованы цифровой регистрирующей аппаратурой с различными техническими характеристиками.

На региональных станциях «Севастополь» – SEV, «Алушта» – ALU, «Судак» – SUDU, «Феодосия» – FEO продолжают регистрацию 12-разрядные ЦСС MSP (табл. 2).

Таблица 2.

Основные параметры ЦСС MSP КФУ (сеть CFUSG) в 2022 г.

Станция	Тип Датчика	Группа каналов (каналы)	Частотный диапазон, Гц	Частота квантования, Гц	Разрядность АЦП	Амплитудный динамический диапазон	Дата начала регистрации
«Севастополь»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	20.08.2006 г.
«Судак»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	15.10.2006 г.
«Алушта»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	12.07.2006 г.
«Феодосия»	ВЭГИК СКМ-3	(N, E) (Z)	0.2–10 0.2–10	64 64	12 12	70 70	03.09.2006 г.

Семь станций Крыма оборудованы широкополосной аппаратурой с большим динамическим диапазоном – ЦСС «Байкал-8» [1], параметры которых приведены в табл. 3, 4. Эксплуатация этих станций позволяет выполнять сбор сейсмических данных в режиме онлайн. Соответственно срочная сводная обработка землетрясений региона осуществляется в режиме, близком к реальному времени.

Таблица 3.

Основные параметры цифровых сейсмических станций «БАЙКАЛ-8» КФУ (сеть CFUSG) в 2022 г.

Станция/код межд./код рег.	Тип датчика	Каналы	Частотный диапазон, Гц/ Частота квантования, Гц	Динамический диапазон, дБ/ Разрядность АЦП, бит	Чувствительность, 10 <sup>6</sup> отсч. *с/м	Дата начала регистрации
1	2	3	4	5	6	7
«Севастополь» / SEV/ SE1	CX	EHZ	1.0 – 20/100	132/24	8623	21.06. 2016
		EHN			8680	
		EHE			11594	
«Симферополь» / SIM / SIM	CM-3	EHZ	0.6 – 30/100		17547	1.04. 2016
		EHN			19894	
		EHE			19085	
«Ялта» /YAL/YAL	CX	EHZ	1.0 – 20/100		7778	13.04. 2016
		EHN			6090	
		EHE			5877	
«Керчь» /KERU/KERU	CM-3	EHZ	0.6 – 30/100		11779	22.05. 2019
		EHN		11140		
		EHE		10565		

Таблица 4.

Основные параметры цифровых сейсмических станций «БАЙКАЛ-8»  
ГАОУ «КРЦ» в 2022 г.

Станция/код межд./код рег.	Тип датчика	Каналы	Частотный диапазон, Гц/ Частота квантования, Гц	Динамический диапазон, дБ/ Разрядность АЦП, бит	Чувстви- тельность, 10 <sup>6</sup> отсч. *с/м	Дата начала регистрации
1	2	3	4	5	6	7
«Тарханкут» /TARU/TARU	СМ-3	ЕНЗ	0.6 – 30/100	132/24	3572	21.06. 2016
		ЕНН			5314	
		ЕНЕ			6373	
«Донузлав» /DNZ2/DNZ2	СМ-3	ЕНЗ	0.6– 30/100		7291	26.07. 2018
		ЕНН			6252	
		ЕНЕ			7230	
«Опук» /OPUK/OPUK	СМ-3	ЕНН	0.6 – 30/100		16766	19.05. 2021
		ЕНЕ			17787	
		ЕНЕ			23234	

## 2. АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Чувствительность сети Крыма в целом не изменилась. На рисунке 2 показаны контуры представительной регистрации от  $K_{\min}=6$  до  $K_{\min}=9$  на территории региона.

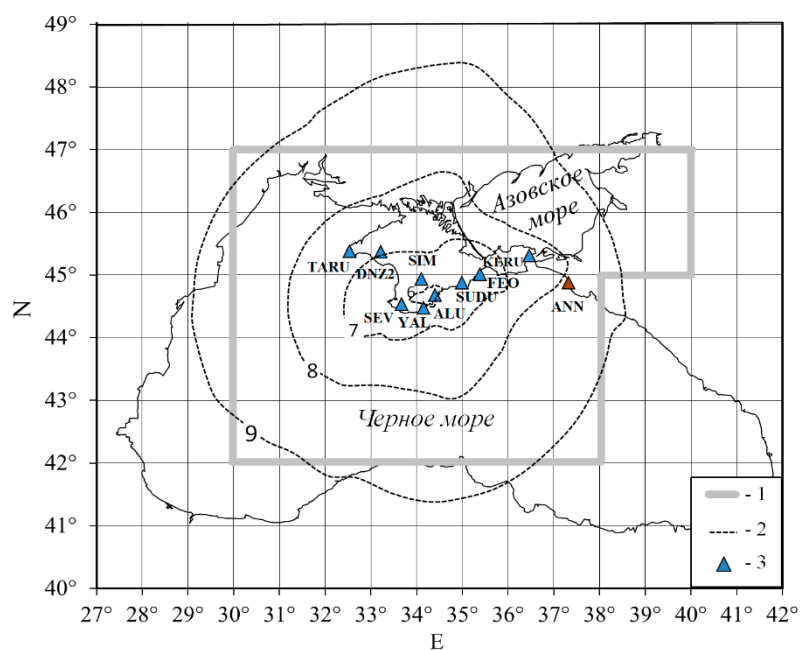


Рис. 2. Карта энергетической представительности землетрясений в изолиниях  $K_{\min}$ : 1 — граница региона; 2 — изолинии  $K_{\min}$ ; 3 — сейсмическая станция.

Конфигурация изолиний такая же, как и в 2021 году [2]. По-прежнему практически для всего региона возможна регистрация без пропусков землетрясений с  $K_{II}=9.0$  (по региональной классификации [3]). Изолиния  $K_{min}=8$  покрывает всю территорию Крымского п-ова и Таманский п-ов. На локальном участке территории региона сеть Крыма регистрирует без пропуска землетрясения на уровне  $K_{II}=6$ .

В расчеты изолиний пока не входят данные станции «Опук». К сожалению, из двадцати одного зарегистрированных крымских землетрясений на станции «Опук» за 2021–2022 годы, только пять с записью полной волновой картины, которые можно использовать для уточнения границ надежной регистрации.

На рисунке 3 представлена гистограмма, отражающая вклад каждой станции в результаты инструментальных сейсмических наблюдений, обусловленный не только аппаратурными регистрационными возможностями, но и расположением станции относительно очаговых зон региона, сейсмоактивных в описываемом году.

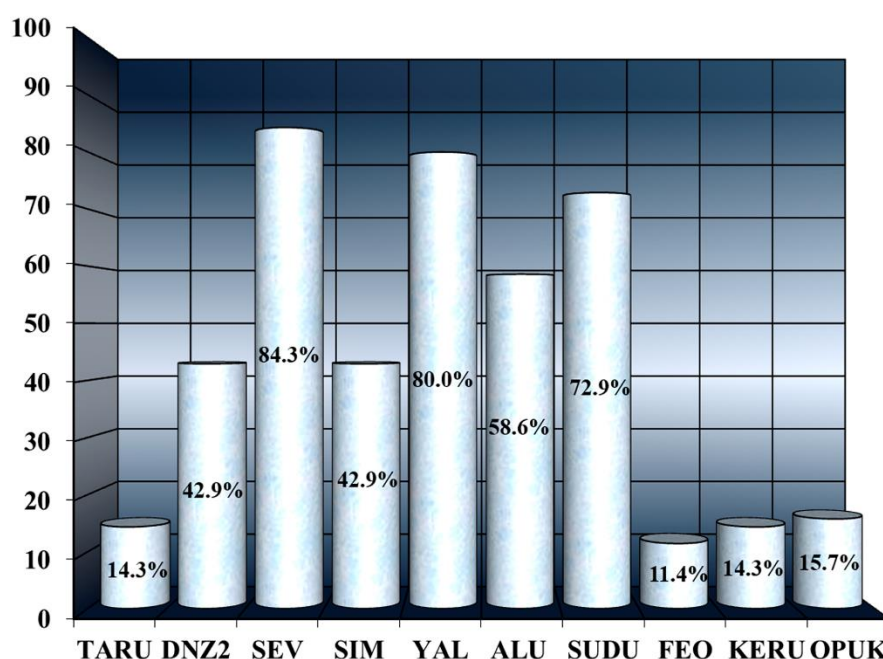


Рис. 3. Количество землетрясений (в %), зарегистрированных станциями от общего числа землетрясений Крыма за 2022 г.

Наиболее эффективными станциями были в 2022 году стационарные станции «Севастополь», «Ялта», «Судак». Относительный коэффициент участия станции «Тарханкут» снизился из-за прекращения регистрации на пункте 6 мая 2022 года вследствие выхода из строя регистратора «Байкал».

**Методика.** Первичная интерпретация полученных цифровых материалов наблюдений по-прежнему выполняется с использованием программного комплекса



WSG [4] на всех сейсмических станциях. При сводной обработке, расчеты основных кинематических параметров выполняются в региональной программе GIPO последней версии [5, 6].

Оценка динамических параметров сейсмических волн землетрясений дана по материалам регистрации каждой цифровой станции. Методика их определения в основном не изменилась [3, 7, 8, 9].

Как обычно, при расчетах гипоцентров использованы данные из бюллетеня станции «Анапа» (ANN). Отдельные цифровые записи землетрясений станциями Северного Кавказа скачивались через удаленный доступ и обрабатывались самостоятельно.

Дополнительно привлекались времена вступлений сейсмических волн, взятых из электронного оперативного каталога EMSC [10], из них на станциях России: GLDR, GOYR, SUKR, TMNR, SPGR, SOC — для некоторых землетрясений Керченско-Анапского района; на станциях Северной Турции: KDZE, BTIN, ISK, ERBA, HAVZ, SAMS, KURC — для землетрясений Черноморской впадины; на станциях Румынии: TIRR — для землетрясения Северо-Западного района региона.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В 2022 году в Крымско-Черноморском регионе в пределах условных границ ( $\varphi=42^{\circ}-47^{\circ}N$ ,  $\lambda=30^{\circ}-40^{\circ}E$ ) (см. рис. 5) зарегистрировано 73 землетрясения, для которых определены координаты гипоцентров.

По материалам сводной обработки полученной сейсмологической информации составлен региональный каталог, приведенный в таблице 5. Подробные данные о всех сейсмических событиях могут быть представлены заинтересованным организациям по запросу.

Таблица 5.

Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2022 г.

З. Н. Сыкчина, Н. М. Козиненко, М. Н. Бондарь (отв. составители), Г. П. Антонюк, В. А. Антонюк, И. В. Курьянова, Ж. В. Лукьянова, В. А. Подвинцев

Время возникновения землетрясения, $t_0$						Координаты эпицентра			Глубина очага		Энергетический класс					Район	Магнитуда		
месяц	число	час	мин	сек	$\delta t_0$	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}N$	$\delta\varphi, \delta\lambda$	$h, км$	$\delta h, км$	$K_T [2]$	$\delta K$	$n$	$KD$	$n$		$M_c [8]$	$MSH$	$MD$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	9	16	55	40.5	0.5	44.26	34.30	0.04	23	12	5.8	0.4	4	6.6	2	2		1.8	
	16	11	11	48.8	0.2	44.55	36.65	0.05	5	1	7.3	0.2	4	7.6	1	5		1.8	
	17	3	31	8.3	0.2	44.25	34.30	0.01	24	1	7.4	0.5	6	7.5	3	2			
	19	11	52	5.1	0.5	44.34	34.02	0.02	24	1	6.5	0.1	3	6.5	2	2		1.5	
	20	20	48	32.3	0.2	42.12	30.69	0.05	41	3	7.5	0.3	4	8.3	1	9		2.2	
	21	18	11	30.7	0.1	44.67	37.52	0.04	31	3	8.0	0.4	5	8.6	2	5		2.5	
	23	15	19	28.7	0.2	44.66	37.45	0.03	30	3	7.4	0.4	5	7.4	1	5		2.0	

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	5	20	12	28.1	0.6	44.78	34.32	0.05	18	3	5.4	0.1	5	5.5	4	3			
	6	1	6	40.3	0.5	46.39	35.91	0.05	5	3	7.2	0.4	6	7.7	3	7		2.1	
	8	5	16	55.1	0.2	44.63	37.06	0.03	36	2	8.2	0.5	6	8.3	2	5		2.4	
	12	22	33	54.5	0.2	44.63	37.29	0.01	40	5	7.5	0.2	6	7.9	6	5		2.1	
	25	19	30	18.4	0.2	45.01	31.59	0.07	7	6	7.4	0.3	6	8.2	6	8		2.0	
3	2	13	9	27.7	0.3	44.38	34.35	0.05	29	5	8.3	0.3	8	7.4	8	2		2.4	
	7	3	20	11.2	0.5	44.61	36.83	0.05	5	3	6.9	0.2	8			5			
	8	5	29	38.4	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	6.7	0.2	7	6.7	5	3			
	8	6	27	4.7	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	5.8	0.5	1	4.9	1	3			
	8	6	43	56.5	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	5.5	0.5	1	4.9	1	3			
	8	13	33	15.3	0.3	44.65	34.49	0.04	9	5	6.1	0.4	4	5.8	2	3			
	8	13	36	51.3	0.3	44.60	34.51	0.02	8	3	7.1	0.2	8	7.2	5	3			
	9	8	2	16.7	0.4	44.76	34.34	0.02	19	2	6.4	0.2	4	5.4	4	3			
	9	18	15	53.0	0.2	43.63	34.36	0.05	25	5	6.2	0.2	3	6.9	1	2			
	13	12	0.7	46.9	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	6.0	0.1	2			2			
	13	12	0.7	47.9	0.1	44.53	34.19	0.02	13	1	7.6	0.4	7	7.9	7	2		1.8	
	13	12	34	6.4	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	4.6	0.3	2	5.1	2	2			
	13	13	42	14.6	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	4.3	0.5	1	4.3	1	2			
	14	22	12	15.2	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	3.9	0.5	1			2			
	28	19	9	11.8	0.2	44.71	36.79	0.04	6	3	7.3	0.1	6	8.2	2	5		1.9	
	31	17	51	53.5	0.2	42.47	35.71	0.03	11	3	7.7	0.6	5	8.5	1	9		2.2	
4	5	6	56	7.2	0.5	44.62	37.47	0.05	28	5	7.1	0.2	4			5			
	11	17	38	42.7	0.5	42.25	31.35	0.10	23	5	12.0	0.5	9			9	3.8	4.6	4.5
	15	17	3	13.2	0.2	44.64	34.58	0.02	6	2	6.5	0.2	5			3			
	20	2	46	55.5	0.6	44.49	34.08	0.07	14	4	6.3	0.6	3	6.0	2	2			
	20	2	47	8.9	0.6	44.49	34.08	0.07	14	4	4.7	0.1	2	4.3	1	2			
	20	21	51	18.5	0.6	44.45	34.05	0.04	6	5	4.7	0.4	3	4.9	2	2			
	24	4	28	12.8	0.5	44.55	34.55	0.06	10	10	3.7	0.5	1	4.4	1	3			
5	5	21	50	17.8	0.5	44.21	34.23	0.02	12	8	5.2	0.2	3	5.7	3	2			
	12	1	37	6.5	0.2	44.24	34.14	0.01	23	1	5.6	0.3	4			2			
	14	15	43	15.0	0.1	44.25	33.14	0.01	36	1	7.4	0.7	6	7.2	5	1			
	22	16	53	15.9	0.2	44.58	36.27	0.03	11	3	7.2	0.3	6	7.6	5	5			
	28	1	8	35.3	0.6	44.38	34.07	0.04	10	5	5.5	0.3	2	5.5	2	2			
6	3	23	58	2.3	0.1	44.33	34.25	0.01	16	2	6.3	0.5	6	6.6	2	2			
	5	13	21	51.8	0.3	44.52	34.57	0.02	18	2	5.9	0.2	5	6.3	1	3			
	16	3	50	25.9	0.2	44.65	37.00	0.07	17	6	10.5	0.2	9	10.1	7	5		3.6	3.2
	16	12	22	43.0	0.2	44.64	37.01	0.04	19	1	9.1	0.3	7	9.0	4	5		2.9	2.9
	16	16	28	39.9	0.2	44.66	37.02	0.03	21	2	7.7	0.2	7	7.6	1	5		2.1	
	27	2	19	46.0	0.5	44.32	33.91	0.06	32	5	5.4	0.5	4	6.6	2	1			
7	4	4	20	39.6	0.2	44.78	36.47	0.04	21	3	8.5	0.3	9	8.7	4	5		2.6	2.7
	17	3	43	33.9	0.5	44.58	36.71	0.05	9	5	6.4	0.3	3			5			
	18	14	55	0.2	0.2	44.59	36.87	0.04	28	3	7.8	0.3	8	7.9	1	5		2.2	
	21	7	13	41.0	0.2	44.64	36.75	0.04	21	4	8.2	0.3	9	8.6	3	5		2.3	2.7
8	1	18	28	18.2	0.2	43.95	33.30	0.02	6	1	6.9	0.4	4	7.5	1	1			
	15	14	44	33.2	0.2	44.29	34.10	0.02	10	1	5.7	0.1	2	5.1	2	2			
	22	23	16	14.7	0.1	44.65	37.42	0.02	29	1	7.0	0.4	5	8.0	1	5			
	27	21	54	31.3	0.2	44.52	32.34	0.02	9	1	7.6	0.3	6	7.8	6	1		2.1	
9	1	5	14	17.7	0.2	45.20	38.11	0.07	38	6	8.2	0.5	4	8.2	3	7		2.6	
	2	10	11	33.9	0.2	44.55	34.53	0.05	16	1	6.7	0.4	2			3			
	2	10	11	35.0	0.2	44.58	34.56	0.03	20	3	8.4	0.3	6	8.3	5	3		2.4	
	10	15	12	33.0	0.2	44.38	37.56	0.04	5	3	8.4	0.3	7	8.0	1	5		2.6	
10	1	23	55	12.6	0.5	44.75	34.44	0.02	24	2	5.3	0.5	1			3			

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	9	39	58.6	0.1	44.75	34.44	0.02	24	2	6.7	0.3	5	6.6	5	3		1.5	
	2	9	45	11.1	0.2	44.75	34.40	0.01	22	1	6.7	0.2	5	6.5	5	3		1.6	
	2	12	35	27.6	0.2	44.75	34.38	0.01	19	1	5.7	0.2	5	5.9	2	3		1.6	
	10	22	57	13.6	0.3	44.36	34.39	0.03	28	2	9.0	0.5	6	8.6	5	2	2.4	2.7	2.7
	20	11	5	7.0	1.0	44.17	35.38	0.10	20	10	6.9	0.1	2	7.4	1	4			
11	8	0	35	30.4	0.2	44.18	32.88	0.03	34	1	7.0	0.8	5	7.5	4	1		1.7	
	18	6	18	18.1	0.2	44.40	34.58	0.02	39	1	6.7	0.2	3	6.0	2	3			
	21	5	20	34.5	0.2	44.72	32.54	0.02	8	1	8.0	0.4	6	8.2	3	1		2.1	
	25	21	35	49.7	0.5	44.47	34.20	0.03	17	2	5.6	0.3	3	5.5	2	2			
12	6	4	16	2.6	0.1	44.47	37.78	0.04	27	3	8.4	0.2	6	8.5	2	5		2.6	
	18	16	46	33.0	0.4	42.90	35.43	0.10	15	15	7.8	0.3	6	8.6	4	9		2.3	
	26	17	14	32.1	0.2	44.64	34.54	0.02	16	1	7.5	0.3	5	7.4	6	3			
	31	5	0	18.5	1.0	44.66	37.01	0.06	25	5	11.3	0.3	10	11.0	9	5	3.4	4.1	3.6
	31	10	7	6.4	0.2	44.62	37.04	0.03	20	2	7.8	0.3	7	8.6	2	5		2.1	

Примечание:  $n$  – число стационарных определений

Классификация землетрясений в основном каталоге выполнена по следующим энергетическим параметрам: энергетический класс  $K_{\Pi}$  [3], класс по длительности колебаний  $KD$  [7], магнитуда по коду  $M_c$  [8],  $MSH$  ( $ML_{WSG}$ ), магнитуда по длительности  $MD$  [9].

Магнитуда  $MSH$  рассчитана в программе  $WSG$  [4] как локальная по максимальной амплитуде поперечной волны  $S$ . Диапазон энергетических классов равен  $K_{\Pi}=3.7-12.0$ , диапазон магнитуд —  $M_c=2.4-3.8$ ,  $MD=2.7-4.5$ ,  $MSH=1.5-4.6$ , соответственно.

Ощутимых землетрясений в 2022 году – два, в Керченско-Анапском районе № 5. Сотрясения от ощутимых землетрясений были зафиксированы в населенных пунктах Кавказского побережья Черного моря.

В таблице 6 приведены: число землетрясений за год  $N_{\Sigma}$  и суммарная, выделившаяся в очагах этих землетрясений сейсмическая энергия  $\Sigma E$ , а также энергетический уровень самого сильного землетрясения года  $K_{\max}$

Таблица 6.

Распределение числа землетрясений и суммарной сейсмической энергии по годам за 2012–2022 гг.

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Сред- нее	2022
$K_{\max}$	12	10	11	11	13	11	11	10	11	10		12
$N_{\Sigma}$	53	64	119	58	59	89	100	85	88	96	<b>81</b>	73
$\Sigma E, 10^9$ <i>Дж</i>	1288	53	191	149	13104	131	364	49	248	49	<b>1563</b>	1236

Общее число локализованных в 2022 г. землетрясений  $N_{\Sigma}=73$ . Это ниже, чем в предыдущем году [2],  $N_{\Sigma}=96$  и меньше среднего значения,  $N_{\text{ср}}=81$  за десятилетний период наблюдений (табл. 6). Но объем высвободившейся энергии в очагах этих землетрясений значительно возрос.

Суммарный объем сейсмической энергии составляет  $\Sigma E=1236.1641 \cdot 10^9$  Дж — это в 25.5 раз больше годовой сейсмической энергии 2021 года ( $\Sigma E=48.3975 \cdot 10^9$  Дж)

и приблизился к среднему уровню за предыдущие 10 лет –  $\Sigma E_{\text{ср.}} = 1563 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ .

Временной ряд наблюдений за активностью сейсмических процессов в течение последних 11 лет проиллюстрирован на рисунке 4.

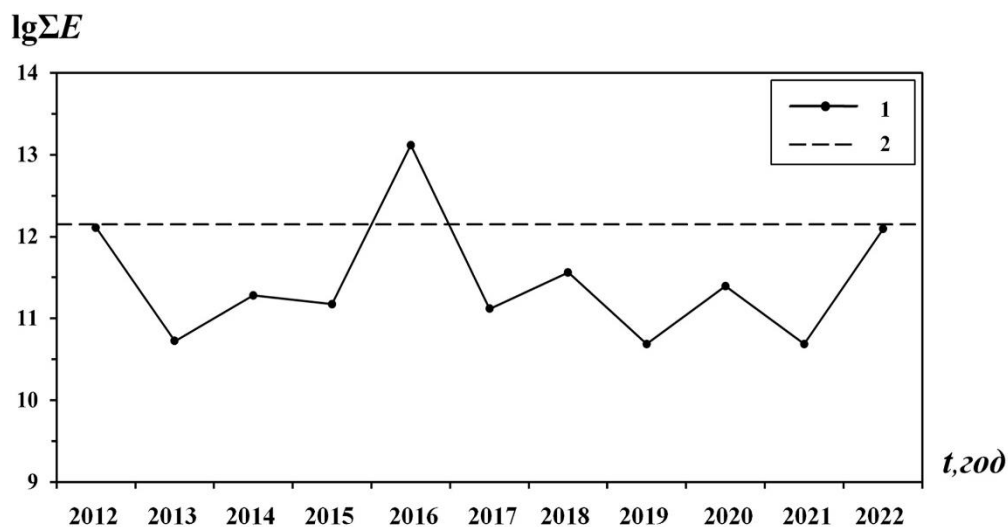


Рис. 4. Распределение суммарной выделенной энергии  $\Sigma E$  (1) в Крымско-Черноморском регионе за 2012–2022 годы. Среднее значение  $\Sigma E$  за исследуемый период — (2).

Как видно из рисунка, снижение сейсмической активности в течение пяти лет, после всплеска в 2016 г., сменилось на значительное повышение в 2022 г.

Пространственное распределение землетрясений (рис. 5), как и в предыдущем году, традиционно: наибольшая плотность эпицентров просматривается в центре региона — в Ялтинском (№2) и Алуштинском (№3) районах и в Керченско-Анапском районе (№5). Как обычно, преобладающее число эпицентров землетрясений сосредоточено в пределах морской акватории.

Распределение глубин залегания очагов землетрясений, как свойственно региону, – неравномерное (рис. 5). В районах с наибольшим числом толчков: Ялтинском, Алуштинском, Керченско-Анапском помимо землетрясений на средней глубине  $h = 11–25 \text{ км}$ , также присутствуют либо поверхностные землетрясения с  $h \leq 10 \text{ км}$ , либо относительно заглубленные с  $h > 25 \text{ км}$ .

В 2022 г. наибольшая сейсмическая активность наблюдалась в **Черноморской впадине** (район № 9). Максимум годовой сейсмической энергии  $\Sigma E$ , в основном обеспечен реализацией 11 апреля в 17 ч 38 мин землетрясения с  $K_{\text{П}} = 12.0$  (табл. 5).

Явных форшоков и афтершоков нет. Помимо упомянутого землетрясения, в районе № 9 зарегистрировано еще три с  $K_{\text{П}} = 7.5–7.8$  на глубинах  $h = 11–41 \text{ км}$ .

Как обычно, повышенной сейсмической активностью относительно других районов характеризуется **Керченско-Анапский район (№ 5)**, где зарегистрировано 21 землетрясение с  $K_{\text{П}} = 6.5 – 11.3$ . Количество высвободившейся энергии в очагах этих землетрясений  $\Sigma E = 233.966 \text{ Дж}$ , возросло на порядок относительно подобной в

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

2021 г. Это пятая часть от общего количества годовой сейсмической энергии. Очаги большинства землетрясений расположены в земной коре акватории Черного моря на глубинах в пределах от  $h=5$  км до  $h=40$  км.

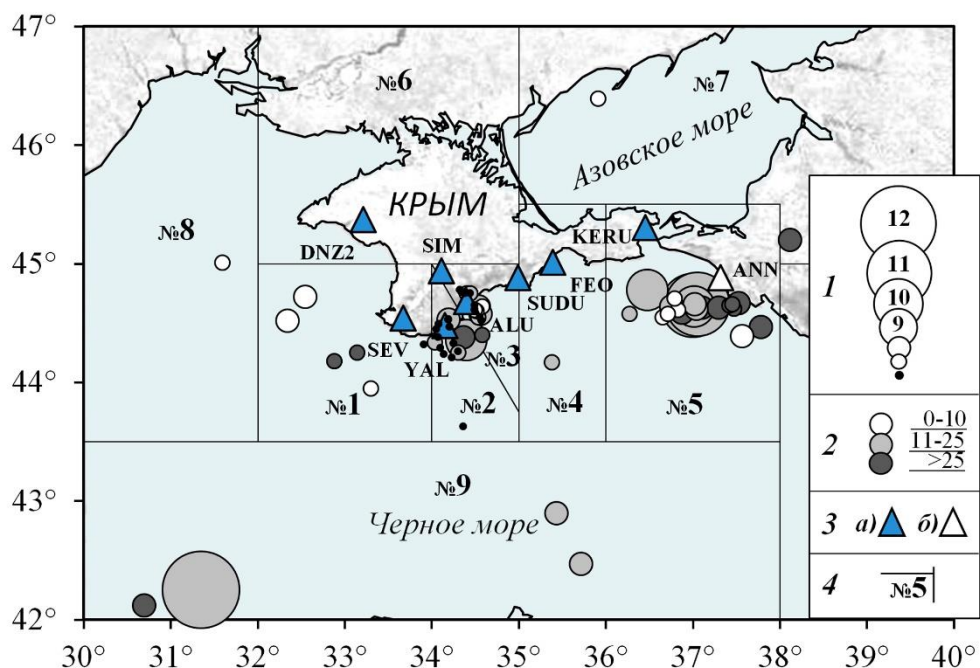


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2022 г. 1 — энергетический класс  $K_{II}$ ; 2 — глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 — сейсмическая станция, а) Крымская сеть, б) сеть Северного Кавказа; 4 — граница и номер района соответственно.

Два землетрясения из одного очага в Черном море – ощутимые. Первое произошло 16 июня в 03 ч 50 мин 25.9 сек и второе — 31 декабря в 05 ч 00 мин 18.5 сек. Июньский толчок с  $K_{II}=10.5$  и  $MSH=3.6$  ощущался с интенсивностью сотрясений  $I=2-3$  балла по шкале MSK64 [11] в городе Анапа и станице Анапская. Декабрьское землетрясение с  $K_{II}=11.3$  и  $MSH=4.1$  ощущалось с максимальной интенсивностью сотрясений  $I=3-4$  балла в Анапе и селе Сукко, а интенсивностью  $I=2-3$  балла – в Новороссийске, станице Анапская. Макросейсмические сведения переданы дежурными сейсмостанции «Анапа».

В Севастопольском районе (№ 1) в течение 2022 года зарегистрировано только шесть землетрясений с классами от  $K_{II}=5.4$  до  $K_{II}=8.0$ . Суммарная выделившаяся энергия почти в сто раз меньше энергии 2021 г. [2]. Очаги всех землетрясений находятся в море. Половина из них – поверхностные на глубинах  $h=6-9$  км, половина – относительно заглубленные с  $h=32-36$  км. Эпицентры рассредоточены по всей площади района на расстояниях  $\Delta =31-106$  км от станции «Севастополь».

В **Ялтинском** районе (№ 2) суммарная выделившаяся сейсмическая энергия и число землетрясений сохранились на уровне 2021 года. Здесь зарегистрировано 20 землетрясений с классами от  $K_{II}=3.9$  до  $K_{II}=9.0$ . С 13 марта по 20 апреля отмечена серия землетрясений с эпицентрами на побережье вблизи сейсмостанции «Ялта»:  $\Delta=6-10$  км,  $K_{II}=3.9-7.6$ ,  $h=6-14$  км. Затем в мае эпицентры землетрясений сместились на юго-восток в пограничную зону с Алуштинским районом (№ 3). Землетрясение максимального класса  $K_{II}=9.0$  – не ощутимое, произошло 10 октября в 22 часа 57 мин. Его очаг располагался в 23 км юго-восточнее сейсмостанции «Ялта» на глубине  $h=2$  км.

Небольшая сейсмическая активность наблюдалась в **Алуштинском** районе (№ 3), хотя и несколько выше, чем в предыдущем году,  $\Sigma E=0.398469 \cdot 10^9$  Дж против  $\Sigma E=0.078 \cdot 10^9$  Дж.[2]. Это энергия 18 землетрясений с  $K_{II}=3.7-8.0$ . Третья часть их эпицентров расположена на суше северо-восточнее станции «Алушта», на расстояниях  $\Delta=8-13$  км. Очаги этих землетрясений – на средних глубинах  $h=18-24$  км.

Минимальный уровень сейсмической энергии приходится на **Судакско-Феодосийский** район (№ 4), где зафиксировано одно землетрясение с  $K_{II}=6.9$ .

Также районы: **Азово-Кубанский** (№ 7) и **Северо-Западный** (№ 8) характеризуются слабой сейсмичностью. В восьмом районе отмечено одно землетрясение с  $K_{II}=7.4$  при небольшой глубине  $h=7$  км. Несколько больше энергия двух землетрясений седьмого района. Первое с  $K_{II}=7.2$  и  $h=5$  км произошло в западной части Азовского моря. Эпицентр второго с  $K_{II}=8.2$  и  $h=38$  км – в Нижней Кубани.

**В районе Степной Крым** (№ 6) — полное затишье.

Распределение числа землетрясений региона по районам и энергетическим классам в 2022 г. дано в табл. 7

Таблица 7.

Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{II}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам в 2022 г.

Район		Число землетрясений										$\Sigma N$	$\Sigma E$ , $10^9$ Дж
		Энергетический класс											
№	Наименование	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Севастопольский	-	1	-	3	2	-	-	-	-	-	6	0.183124
2	Ялтинский	2	4	9	2	2	1	-	-	-	-	20	1.264235
3	Алуштинский	1	2	6	7	2	-	-	-	-	-	18	0.330092
4	Судакско-Феодосийский	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	0.007943
5	Керченско-Анапский	-	-	-	8	9	2	-	2	-	-	21	233.9660
6	Степной Крым	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.0
7	Азово-Кубанский	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2	0.174338
8	Северо-Западный	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	0.025119
9	Черноморская впадина	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	4	1000.145
	<b>Всего</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	-	<b>2</b>	<b>1</b>	-	<b>73</b>	<b>1236.096</b>
	Всего в 2021 году	-	12	19	37	11	14	3	-	-	-	96	48.61906

Ниже приведены рисунки, отражающие особенности сейсмичности всего региона в целом. Рисунок 6 иллюстрирует, что максимальный объем сейсмической энергии  $\Sigma E$  приходится на Черноморскую впадину (район № 9). На втором месте и по сумме энергии и по числу землетрясений  $N$  – Керченско-Анапский (№ 5) район.

Глубина очагов меняется в интервале от  $h=5$  км до  $h=41$  км. 49.3% всех землетрясений имеют среднюю глубину от  $h=11$  км до  $h=25$  км, а 13.7% – с глубиной от  $h>25$  км до  $h=35$  км (рис. 7). К зоне перехода кора-мантия,  $h>35$  км можно отнести 8.2% числа толчков, что согласуется с выводами о глубинах залегания очагов в регионе по результатам многолетних наблюдений [12].

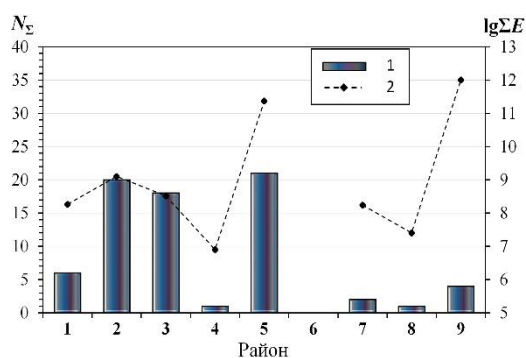


Рис. 6. Распределение числа  $N_{\Sigma}$  (1) землетрясений и суммарной выделенной энергии  $\Sigma E$  (2) по районам за 2022 г.

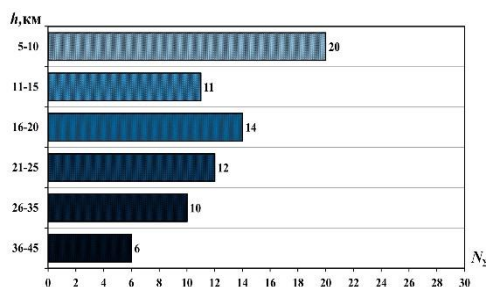


Рис. 7. Распределение по глубинам числа землетрясений  $N_{\Sigma}$  за 2022 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученной информации в ходе мониторинга сейсмичности Крымско-Черноморского региона, составлен каталог, проведен анализ и обрисованы особенности сейсмичности отдельных районов региона.

2022 год характеризуется повышенной активностью сейсмических процессов региона относительно ситуации в предыдущем году — суммарный объем сейсмической энергии возрос в 25.5 раз.

Региональный каталог за 2022 г. содержит сведения о 73 сейсмических событиях, для которых определены координаты гипоцентров. Землетрясение максимального класса  $K_{II}=12.0$ ;  $MSH=4.6$ ,  $mb=4.5$  произошло в Черноморской впадине.

Еще два наиболее сильных землетрясения с  $K_{II}=10.5$ ;  $MSH=3.6$  и  $K_{II}=11.3$ ;  $MSH=4.1$  из одного очага в Керченско-Анапском районе вызвали сотрясения в населенных пунктах Кавказского побережья Черного моря. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений —  $I_{\max} \sim 3-4$  балла.

### Список литературы

1. Байкал-8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.expas-sib.com> (дата обращения 17.08.2022).
2. Свидлова В. А., Бондарь М. Н., Бойко В. А. Сейсмичность Крыма в 2021 году // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Том 8(74). № 4. С. 7–79.
3. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. С. 113–125.
4. Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.
5. Кульчицкий В. Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (GPO-08). Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. С. 28–33.
6. 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.
7. Пустовитенко Б. Г. Определение энергии землетрясений Крыма по длительности колебаний. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты) в 1970–1974 гг. Киев: Наукова думка, 1980. С. 34–39.
8. Пустовитенко Б. Г., Раутиан Т. Г., Свидлова В. А. Определение магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крымском регионе. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты за 1978–1979). Киев: Наукова думка, 1983. С. 126–138.
9. Маламуд А. С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений. Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. С. 180–192.
10. European-Mediterranean Seismological Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (дата обращения: 31.12.2022).
11. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
12. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Боборыкина О. В., Кульчицкий В. Е., Можжерина А. В., Насонкин В. А., Панков Ф. Н., Поречнова Е. И., Пустовитенко А. А., Тихоненков Э. П., Швырло Н. И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. 264 с.

### SEISMICITY OF THE CRIMEA IN 2022

*Kalinyuk I. V.<sup>1</sup>, Svidlova V. A.<sup>1</sup>, Bondar M. N.<sup>1,2</sup>, Boyko V. A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of seismology and geodynamics FSAEI HE, V. I. Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol, Russian Federation.*

<sup>2</sup>*GAU "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, technical inspection of construction objects", Simferopol, Russia Federation.*

*E-mail: <sup>1</sup>epicrimea@mail.ru*



In 2022 the monitoring of the seismic situation in the Crimean-Black Sea region was carried out by a network of ten seismic stations: «Simferopol» (SIM), «Sevastopol» (SEV), «Yalta» (YAL), «Alushta» (ALU), «Sudak» (SUDU), «Feodosia» (FEO), «Tarkhankut» (TARU), «Donuzlav 2» (DNZ 2), «Kerch» (KERU), «ОПУК» (ОПУК), located on the Crimean Peninsula.

The existing network of stations provides, without gaps, registration of earthquakes with a magnitude of  $M \geq 4.0$ , and for the main seismically hazardous zones: Sevastopol, Yalta, Alushta, Sudak, Kerch Peninsula – with a magnitude of  $M \geq 3.0$ .

On the basis of the information obtained, a catalog of earthquakes with the main kinematic and dynamic parameters was compiled, an analysis was carried out and the features of seismicity of individual regions of the region were indicated.

The following parameters are given: basic information about seismic stations; map of representative earthquake registration, map of epicenters; tables and graphs of the distribution of the number of earthquakes and energy parameters by years and districts of the region.

It is shown that 2022 is characterized by increased activity of seismic processes in the region compared to the situation in the previous year – the total volume of seismic energy increased by 25.5 times.

The highest seismic activity was observed in the Black Sea depression. The maximum of the annual seismic energy  $\Sigma E$  is mainly provided by the realization on April 11 of an earthquake with magnitude  $MSH=4.6$ ,  $mb=4.5$ ,  $I_0=4.5$ .

Two more perceptible earthquakes with  $MSH=3.6$  and  $MSH=4.1$  with sources in the Kerch-Anapa region caused shaking in the settlements of the Caucasian coast of the Black Sea. Maximum observed shaking intensity  $\sim I_{max} \sim 3-4$  points on the MSK64 scale.

**Keywords:** seismicity, the seismic station, epicenter, hypocenter, energy class.

#### References

1. Bajkal-8 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.expas-sib.com/> (data obrashcheniya 17.08.2022)
2. Svidlova V. A., Bondar' M. N., Boyko V.A. Sejsmichnost' Kryma v 2021 godu (Seismicity of Crimea 2021). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2021, Vol. 8(74), no. 4, pp. 7–79 (in Russian).
3. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob energeticheskoy 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).
4. Krasilov S. A., Kolomic M. V., Akimov A. P. Organizaciya processa obrabotki cifrovyyh sejsmicheskikh dannyh s ispol'zovaniem programmnoy kompleksa WSG (Organization of digital seismic data processing using the WSG software package. Modern methods of processing and interpretation of seismological data). Materials of the international seismological school dedicated to the 100-th anniversary of the opening of the «Pulkovo» and «Yekaterinburg» seismic stations. Obninsk: GS RAN, 2006, pp. 77–83 (in Russian).
5. Kul'chickij V. E. Programma rascheta koordinat gipocentrov zemletryasenij (GIPO-08) (Program for calculating the coordinates of earthquake hypocenters (GIPO-08)). Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2008 god. Sevastopol': NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 2010, pp. 28–33 (in Russian).
6. 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. Geografiya. Geologiya. 2018. V. 4(70), no. 4, pp. 164–173 (in Russian).

7. Pustovitenko B. G. Opredelenie energii zemletryasenij Kryma po dlitel'nosti kolebanij (Determination of the energy of earthquakes in Crimea by the duration of oscillations). Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty) v 1970–1974 gg. Kiev: Naukova dumka, 1980, pp. 34–39 (in Russian).
8. Pustovitenko B. G., Rautian T. G., Svidlova V. A. Opredelenie magnitud i ehnergeticheskikh klassov zemletryasenij po nablyudenyam v Krymskom regione (Determination of the magnitudes and energy classes of earthquakes from observations in the Crimean region). Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty za 1978–1979). Kiev: Naukova dumka, 1983, pp. 126–138 (in Russian).
9. Malamud A. S. Ispol'zovanie dlitel'nosti kolebanij dlya energeticheskoy klassifikacii zemletryasenij. Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij. T. 2. Moscow: IFZ AN SSSR, 1974, pp. 180–192 (in Russian).
10. European-Mediterranean Seismological Center. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (data obrashcheniya: 31.12.2022).
11. Medvedev S. V., Shponhojer V., Karnik V. Shkala seismicheskoy intensivnosti MSK-64 (Seismic intensity scale MSK-64). Moscow: MGK AN SSSR, 1965, 11 p. (in Russian).
12. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Boborykina O. V., Kul'chickij V. E., Mozhzherina A. V., Nasonkin V. A., Pankov F. N., Porechnova E. I., Pustovitenko A. A., Tihonenkov E. P., Shvyrlo V. G. Monitoring seismicheskikh processov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean Black Sea region). Sevastopol': NPC «EKOSI-Gidrofizika», 2014, 264 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 22.10.2023 г.*

УДК 550.348.435

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

### ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

*Пустовитенко Б. Г.<sup>1</sup>, Эреджепов Э. Э.<sup>1</sup>, Бондарь М. Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>ГАОУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Российская Федерация.

<sup>2</sup>Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Российская Федерация.

E-mail: <sup>1</sup>bpustovitenko@mail.ru

Представлены результаты исследования спектральных, кинематических, динамических и энергетических характеристик очагов 14 землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2022 год в диапазоне энергетических классов  $K_{II}=5.4-12$ . Для 12 землетрясений по 89 амплитудным спектрам объемных сейсмических волн, зарегистрированных на 8 региональных цифровых станциях Крыма, восстановлены динамические параметры очагов ( $M_0$ ,  $r_0$ ,  $\Delta\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $\eta\sigma$ ,  $\Delta\sigma_r$ ,  $\dot{u}$ ,  $Eu$  и  $Mw$ ) с использованием теоретической дислокационной модели Бруна ( $\omega^{-2}$ ). Для наиболее сильного землетрясения с  $K_{II}=12$  получено решение механизма очага в рамках двойного диполя. Спектральные свойства сейсмических волн 9 землетрясений рассмотрены также по 24 энергетическим спектрам с использованием сейсмограмм станции «Алушта».

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

## ВВЕДЕНИЕ

Для сложного и неоднородного в сеймотектоническом плане Крымско-Черноморского региона ежегодное пополнение банка данных об очаговых параметрах местных землетрясений является крайне необходимой и актуальной задачей для изучения и общего познания протекающих геодинамических процессов в глубинной среде, где зарождаются очаги землетрясений, и возможного прогноза параметров сильных сейсмических воздействий на поверхности Земли.

В 2022 году сетью станций Крыма зарегистрировано 73 землетрясения в диапазоне энергетических классов  $K_{II}=3.7-12.0$ , из которых только для 14 с  $K_{II}\geq 5.0$  определены спектральные, динамические и энергетические характеристики очагов. Такое ограничение в выборе землетрясений для анализа связано с жесткостью критериев отбора исходных данных (сейсмограмм) для расчета спектров и сложностью, а иногда неоднозначностью интерпретации получаемых спектров в рамках выбранной теоретической модели.

Для оценки динамических параметров очагов землетрясений отобраны записи четырех представительных для всего региона сейсмических событий в диапазоне  $K_{II}=9-12$  и восемь сравнительно слабых толчков с  $K_{II}=6.3-8.4$ , представляющих научный интерес с позиции их пространственного расположения. Три из них произошли непосредственно вблизи побережья Южного берега Крыма и одно вблизи новой сеймостанции «Опук». Для наиболее сильного землетрясения 2 июня 2021 г. получено решение механизма очага. Как и в предыдущие годы [1, 2] спектральные

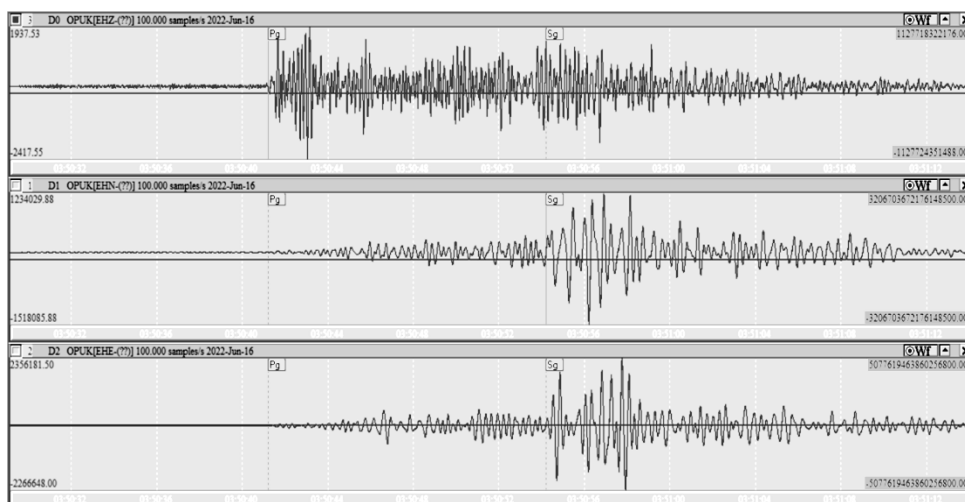
свойства 9 землетрясений рассмотрены также по энергетическим спектрам объемных сейсмических волн.

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для определения динамических параметров очагов землетрясений использованы амплитудные спектры объемных 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), а также открытой в 2021 году новой станции «Опук» (OPUK). Частотный состав сейсмических колебаний, несущих на себе максимальную энергию исследован по энергетическим спектрам записей на сейсмической станции «Алушта».

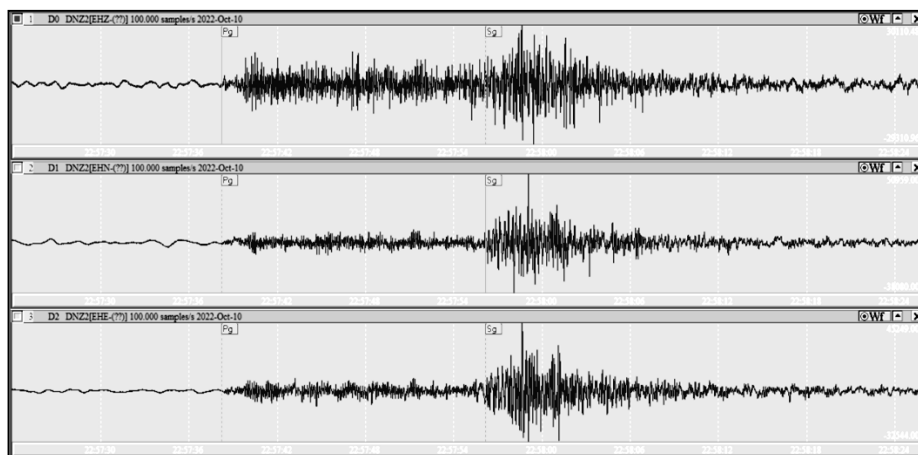
Предварительно были проанализированы все станционные сейсмограммы и отобраны только те волновые формы, которые отвечают критериям высокого качества: четкие (*i*) моменты вступления объемных волн, амплитуды полезного сигнала превышают фон помех в 2 и более раза. Примеры двух отобранных и использованных в работе сейсмограмм даны на рис. 1.

Основные параметры землетрясений 2022 г., для которых исследованы спектральные и динамические параметры очагов приведены в таблице 1, а их пространственное расположение показано на рис. 2.



*a*

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА



**б**

Рис. 1. Примеры записей землетрясений 2022 г. на сейсмических станциях ГАУ «КРЦ»: *a* — «Опук» 16 июня  $K_{П}=10.5$ ,  $\Delta=79$  км; *б* — «Донузлав» 10 октября,  $K_{П}=9.0$ ,  $\Delta=146$  км

Таблица 1.

Основные параметры землетрясений Крыма за 2022 год, для которых изучены  
очаговые параметры

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	Магнитуда			$K_{П}$	Район
			$\varphi^{\circ}$ , N	$\lambda^{\circ}$ , E		Ms	$M_w/h$ , табл. 4	$ML$ wsg		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 <sup>^</sup>	17.01	03 31 08.3	44.25	34.30	24		2.4/2		7.1	ЯЛТИНСКИЙ (№ 2)
2 <sup>^</sup>	05.02	20 12 28.1	44.78	34.32	18				5.4	АЛУШТИНСКИЙ (№ 3)
3 <sup>^</sup>	08.03	13 33 15.3	44.65	34.49	9				6.1	АЛУШТИНСКИЙ (№ 3)
4 <sup>^</sup>	08.03	13 36 51.3	44.60	34.51	8		2.5/4		7.1	АЛУШТИНСКИЙ (№ 3)
5 <sup>^</sup>	13.03	12 07 47.9	44.53	34.19	13		2.6/1	1.8	7.6	ЯЛТИНСКИЙ (№ 2)
6* <sup>^</sup>	11.04	17 38 42.7	42.25	31.35	23	3.8	4.6/7	4.6	12.0	ЧЕРНОМОРСКАЯ ВПАДИНА (№ 9)
7	20.04	02 46 55.5	44.49	34.08	14		1.9/2		6.3	ЯЛТИНСКИЙ (№ 2)
8	22.05	16 53 15.9	44.58	36.27	11		2.8/1		7.2	КЕРЧЕНСКО-АНАПСКИЙ (№ 5)

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	03.06	23 58 02.3	44.33	34.25	16		2.2/2		6.3	ЯЛТИНСКИЙ (№ 2)
10 <sup>^</sup>	16.06	03 50 25.9	44.65	37.00	17		3,5/12	3.6	10.5	КЕРЧЕНСКО-АНАПСКИЙ (№ 5)
11	16.06	12 22 43.0	44.64	37.01	19		3.1/2	2.9	9.1	КЕРЧЕНСКО-АНАПСКИЙ (№ 5)
12	02.09	10 11 35.0	44.58	34.56	20		2.9/8	2.4	8.4	АЛУШТИНСКИЙ (№ 3)
13 <sup>^</sup>	10.10	22 57 13.6	44.36	34.39	28	2.4	3.0/10	2.7	9.0	ЯЛТИНСКИЙ (№ 2)
14 <sup>^</sup>	26.12	17 14 32.1	44.64	34.54	16		2.5/5		7.5	АЛУШТИНСКИЙ (№ 3)

Примечание. Параметры землетрясений в графах 2–7, 9–11 даны по данным сводной обработки в Крыму, значения  $M_w$  — из табл. 3,  $n$  — число индивидуальных определений, участвовавших в осреднении, <sup>^</sup>, \* — землетрясения, для которых рассчитаны также энергетические спектры и получено решение механизма очага, соответственно.

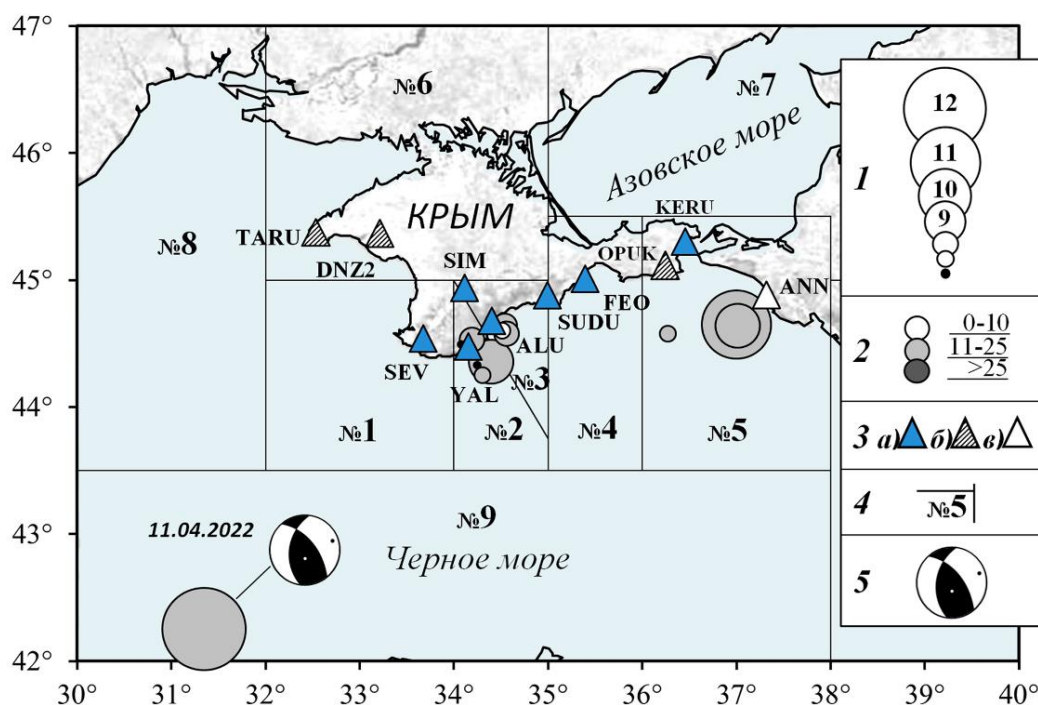


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2022 г., для которых восстановлены очаговые параметры: 1 — энергетический класс  $K_{II}$  [3]; 2 — глубина очага; 3 — сейсмическая станции: а — ИГиС КФУ, б — ГАУ «КРЦ», в — Северного Кавказа; 4 — граница районов; 5 — диаграмма механизма очага.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

---

Все изученные землетрясения произошли в пределах земной коры региона на глубинах от 8 км до 28 км (табл. 1, рис. 2), основная часть из которых относится к центральной зоне региона (Алуштинский и Ялтинский районы), а также восточной (Керченско-Анапский район). Наиболее сильное землетрясение 11 апреля с  $K_{\Pi}=12.0$  произошло в западной части Черноморской впадины (рис. 2).

Всего рассчитано 89 стационарных амплитудных спектров: 23 для продольных ( $P$ ) и 66 — поперечных ( $S$ ) волн и 25 энергетических спектров по данным станции «Алушта». Диапазон эпицентральных расстояний от очагов до станций регистрации составил  $\Delta=6\div 416$  км с преобладанием  $\Delta\leq 100$  км.

Для решения механизма очага наиболее сильного землетрясения 11 апреля с  $K_{\Pi}=12$  использованы знаки первых вступлений объемных сейсмических волн, опубликованные в [4] по данным Международной сети станций, а также дополнительно собранные по региональным бюллетеням Турции и Северного Кавказа. В результате получен статистически представительный материал по 131 станции, окружающих очаг в широком азимутальном окружении для надежного решения механизма очага.

### 2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Решение механизма очага получено на основе теории дислокации [5] по методике, подробно описанной в работе [6].

Методика расчета и интерпретации амплитудных и энергетических спектров не изменились по сравнению с предыдущими годами [1, 2 и др.]. Для поперечных волн ( $S$ ) амплитудные спектры рассчитывались по двум горизонтальным составляющим ( $N-S$ ) и ( $E-W$ ) и спектральная плотность вычислялась, как полный вектор колебаний ( $N+E$ ), а продольных ( $P$ ) — по вертикальной ( $Z$ ). Использована длительность  $\tau$  участка записи от вступления  $S$ - и  $P$ -волн до времени спада их амплитуд  $A_{\max}$  на уровень  $1/3 A_{\max}$  [7]. Интерпретация амплитудных спектров выполнена в рамках теоретической дислокационной модели Бруна ( $\omega^{-2}$ ) [8], а энергетических — по методике [9].

Рассчитанные амплитудные спектры землетрясений 2022 года удовлетворительно аппроксимируются параметрами модели ( $\omega^{-2}$ ): спектральной плотностью  $\Omega_0(x, f)$  при  $f\rightarrow 0$ , угловой частотой  $f_0$  ( $\omega_0$ ) и углом наклона  $\gamma\sim$  — 2 (рис.3). Для энергетических спектров получена характерная резонансная форма с максимумом спектральной плотности в ограниченном диапазоне частот (см. рис. 6).

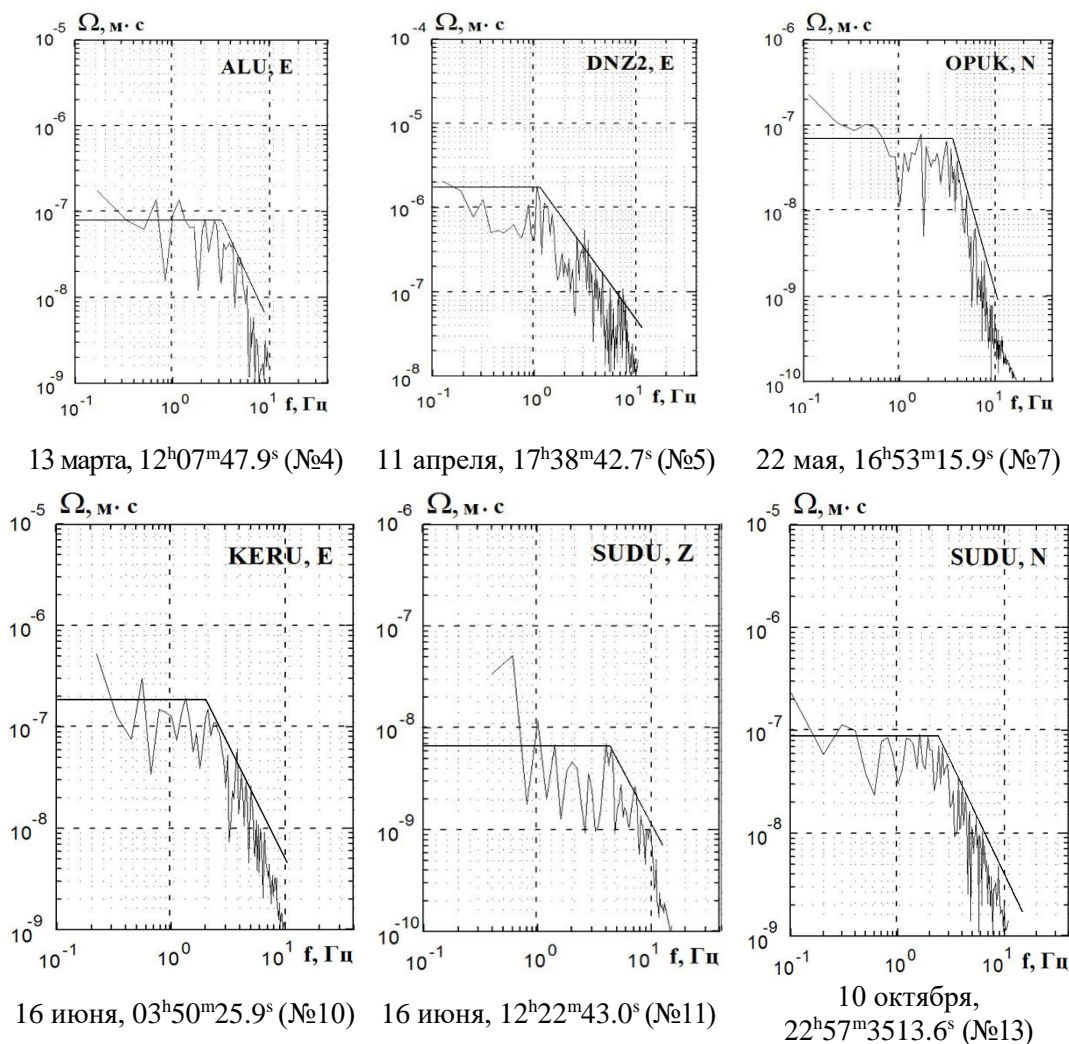


Рис. 3. Примеры амплитудных спектров  $P$ - и  $S$ -волн землетрясений Крыма 2022 г. и их аппроксимация (прямые линии) в рамках модели  $\omega^{-2}$ .

Пересчет спектральной плотности амплитудного спектра в плотность энергии  $q$  сейсмических волн и интерпретация энергетических спектров осуществлялись в соответствии с работами [7, 9] по формуле, приведенной в [2].

### 3. ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**Кинематические параметры очага землетрясения 11 апреля 2022 г.:** ориентация нодальных плоскостей разрыва и направления тектонических сил, под действием которых произошло землетрясение, восстановлены с использованием



СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

дислокационной модели в рамках двойного диполя [5,6]. По данным решения механизма очага (табл. 2, рис. 4) землетрясение произошло под действием горизонтальных сил сжатия близширотного направления.

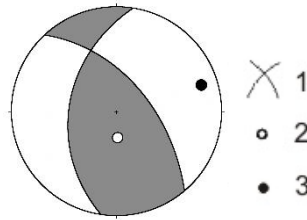


Рис. 4. Диаграммы механизма очага землетрясения 11 апреля 2022 г. (№ 5 — по таблице 1): 1 — нодальные линии; 2, 3 — оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

В очаге произошел взбросо-сдвиг активного крыла разрыва. При этом взбросовая составляющая подвижки преобладала над сдвиговой. Нодальная плоскость NP1 северо-восточного простирания, наклонная к северо-востоку, плоскость NP2 — близмеридианального простирания, наклонная с падением на запад.

Таблица 2.

Параметры механизма очага землетрясения 11 апреля 2022 г.

Дата г м д	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$M_w$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$		
				$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$
2022.11.04	17 38 42.7	23	4.6	64	178	25	337	8	71	320	58	60	187	43	128

С использованием параметров механизма очага (табл. 2) определена направленность излучения из источника на станции регистрации для учета соответствующей поправки  $R_{\theta\phi}$  при расчете динамических параметров очага данного сейсмического события.

**Динамические параметры очага:** сейсмический момент  $M_0$ , радиус круговой дислокации  $r_0$ , сброшенное напряжение  $\Delta\sigma$ , величина деформации сдвига  $\epsilon$ , кажущееся напряжение  $\eta\bar{\sigma}$ , величина радиационного трения  $\Delta\sigma_r$ , средняя подвижка по разрыву  $\bar{U}$ , энергия образования дислокации в очаге  $E_U$  и моментная магнитуда  $M_w$  рассчитаны по формулам, приведенным в [1] на основе работ [7, 8, 10–12].

Основными параметрами для расчетов явились две главные характеристики амплитудных спектров (рис. 3): спектральная плотность  $\Omega_0$ , которая пропорциональна скалярному сейсмическому моменту  $M_0$  и угловая частота  $f_0$ , прямо связанная с размером радиуса круговой дислокации  $r_0$ . Другие исходные данные, такие как параметры среды в окрестности очаговой зоны, условия под станциями регистрации и на

пути распространения сейсмических волн, подбирались в соответствии с местом расположения гипоцентра каждого землетрясения [7]. Для наиболее сильного землетрясения 11 апреля в расчеты введена реальная поправка  $R_{\theta\phi}$  за направленность излучения на каждую станцию регистрации, для остальных при неизвестном механизме очага – принято среднее значение  $R_{\theta\phi}=0.4$  [7] и одинаковое для всех станций. Вычисление средних значений параметров ( $S$ ) и стандартных отклонений ( $\delta S$ ) выполнено, как и прежде, по станционным определениям с учетом логнормального закона распределения величин [7]. Средние значения радиационного трения  $\Delta\sigma$ , вычислялись по среднегеометрическим для данного очага напряжениям  $\Delta\sigma$  и  $\eta\bar{\sigma}$  без вычисления  $\delta S$ , поскольку станционные значения получились знакопеременными. Среднее значение моментной магнитуды  $M_w$  определено как среднее арифметическое с соответствующей погрешностью.

Для половины землетрясений динамические параметры получены по группе независимых станционных определений ( $N \geq 4$ ), для четырех – по записям одной станции, но с использованием разных типов волн (Табл. 3). Только для двух относительно слабых сейсмических толчков (№ 4 и № 7), с энергетическим классом  $K_{II} = 7.1-7.2$ , динамические параметры рассчитаны по спектрам записей только  $S$ -волн на одной из ближайших к очагу станций «Алушта» и «Опук», расположенных, соответственно, на эпицентральных расстояниях  $\Delta = 24$  км и  $\Delta = 59$  км.

Таблица 3.

Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма за 2022 год

Станция	Волна	Составляющая	$\Delta$ , км	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$ , М·с	$\Sigma \Omega_0 \cdot 10^{-6}$ , М·с	$f_0$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$r_0$ , км	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$\bar{\eta} \cdot 10^{-2}$ , м	$\eta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$E_w \cdot 10^8$ , Дж	$M_w^*$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>№ 1. 17 января, <math>t_0=03</math> ч 31 мин 08.3 с; <math>\phi = 44.25^\circ</math>, <math>\lambda = 34.30^\circ</math>; <math>h = 24</math> км; <math>K_{II} = 7.1</math></b>															
ALU	P	Z	49	0.002		6.5	0.22	0.35	0.22	0.75	0.02	2.13	-2.02	0.08	2.17
ALU	S	N+E	49		0.09	4.1	1.14	0.33	1.42	4.74	0.11	0.42	0.29	0.27	2.64
S - среднее значение							<b>0.5</b>	<b>0.34</b>	<b>0.56</b>	<b>1.88</b>	<b>0.05</b>	<b>0.94</b>	<b>-0.66</b>	<b>0.15</b>	<b>2.4</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\delta S$ - стандартное отклонение							<b>0.36</b>	<b>0.01</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.37</b>	<b>0.35</b>		<b>0.26</b>	<b>0.24</b>
<b>№ 3. 08 марта, <math>t_0=13</math> ч 36 мин 51.3 с; <math>\phi = 44.60^\circ</math>, <math>\lambda = 34.51^\circ</math>; <math>h = 8</math> км; <math>K_{II} = 7.1</math></b>															
ALU	P	Z	12	0.006		6.8	0.21	0.31	0.32	1.08	0.02	2.23	-2.07	0.011	2.16
ALU	S	N+E	12		0.35	4	1.39	0.3	2.3	7.67	0.16	0.34	0.8	0.53	2.7
SUDU	P	Z	50	0.004		6.5	0.43	0.32	0.57	1.9	0.04	1.1	-0.8	0.04	2.36
SUDU	S	N+E	50		0.06	3.4	1.05	0.35	1.07	3.57	0.09	0.45	0.08	0.19	2.62
S - среднее значение							<b>0.6</b>	<b>0.32</b>	<b>0.82</b>	<b>2.74</b>	<b>0.06</b>	<b>0.78</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.08</b>	<b>2.45</b>

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<b>№ 4. 13 марта, <math>t_0=12</math> ч 07 мин 47.9 с; <math>\varphi = 44.53^\circ</math>, <math>\lambda = 34.19^\circ</math>; <math>h = 13</math> км; <math>K_{\Pi} = 7.6</math></b>																
ALU	S	N+E	24		0.1	4.1	1.08	0.31	1.6	5.34	0.12	1.24	-0.44	0.29	2.63	
<b>№ 5. 11 апреля, <math>t_0=17</math> ч 38 мин 42.7 с; <math>\varphi = 42.25^\circ</math>, <math>\lambda = 31.35^\circ</math>; <math>h = 23</math> км; <math>K_{\Pi} = 12.0</math></b>																
YAL	S	N+E	337		0.8	1.25	428	1.07	15.2	50	3.94	12.5	-4.89	1080	4.36	
ALU	P	Z	366	0.1		2.3	598	1.01	25.2	84.1	6.19	8.93	3.69	2510	4.45	
ALU	S	N+E	366		4.2	1.2	979	1.12	30.7	102	8.32	5.45	9.91	5010	4.6	
SIM	S	N+E	374		3.0	1.18	987	1.14	29.4	98.1	8.11	5.41	9.31	4840	4.6	
DNZ2	S	N+E	379		2.5	1.15	1040	1.17	28.8	96	8.14	5.12	6.28	5010	4.61	
SUDU	P	Z	416	0.5		2.2	1060	1.06	39.3	131	10.1	5.02	14.6	6960	4.62	
SUDU	S	N+E	416		3.5	1.2	1100	1.12	34.4	115	9.32	4.86	12.3	6290	4.63	
S - среднее значение							<b>842</b>	<b>1.1</b>	<b>28</b>	<b>93.1</b>	<b>7.44</b>	<b>6.34</b>	<b>7.66</b>	<b>3928</b>	<b>4.55</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение							<b>0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>		<b>0.1</b>	<b>0.09</b>
<b>№ 6. 20 апреля, <math>t_0=02</math> ч 46 мин 55.5 с; <math>\varphi = 44.49^\circ</math>, <math>\lambda = 34.08^\circ</math>; <math>h = 14</math> км; <math>K_{\Pi} = 6.3</math></b>																
YAL	P	Z	6	0.01		9	0.05	0.26	0.13	0.45	0.008	2.25	-2.18	0.001	1.75	
YAL	S	N+E	6		0.022	5.2	0.16	0.26	0.4	1.34	0.025	0.76	-0.56	0.01	2.07	
S - среднее значение							<b>0.09</b>	<b>0.26</b>	<b>0.23</b>	<b>0.78</b>	<b>0.014</b>	<b>1.3</b>	<b>-1.19</b>	<b>0.003</b>	<b>1.91</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение							<b>0.25</b>	<b>0</b>	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>	<b>0.25</b>	<b>0.24</b>		<b>0.5</b>	<b>0.16</b>	
<b>№ 7. 22 мая, <math>t_0=16</math> ч 53 мин 15.9 с; <math>\varphi = 44.58^\circ</math>, <math>\lambda = 36.27^\circ</math>; <math>h = 11</math> км; <math>K_{\Pi} = 7.2</math></b>																
OPUK	S	N+E	59		0.1	3.8	1.65	0.31	2.34	7.81	0.18	0.41	0.76	0.65	2.75	
<b>№ 9. 3 июня, <math>t_0=23</math> ч 58 мин 02.3 с; <math>\varphi = 44.33^\circ</math>, <math>\lambda = 34.25^\circ</math>; <math>h = 16</math> км; <math>K_{\Pi} = 6.3</math></b>																
YAL	P	Z	19	0.003		8.0	0.22	0.29	0.38	1.27	0.03	0.56	-0.36	0.014	2.16	
YAL	S	N+E	19		0.03	5.0	0.36	0.27	0.81	2.72	0.05	0.33	0.07	0.05	2.31	
S - среднее значение							<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>0.55</b>	<b>1.86</b>	<b>0.04</b>	<b>0.43</b>	<b>-0.16</b>	<b>0.026</b>	<b>2.24</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение							<b>0.1</b>	<b>0.01</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>		<b>0.28</b>	<b>0.08</b>	
<b>№ 10. 16 июня, <math>t_0=03</math> ч 50 мин 25.9 с; <math>\varphi = 44.65^\circ</math>, <math>\lambda = 37.00^\circ</math>; <math>h = 17</math> км; <math>K_{\Pi} = 10.5</math></b>																
OPUK	S	N+E	78		2.0	2.15	47.6	0.62	8.58	28.6	1.3	7.08	-2.79	68	3.72	
KERU	P	Z	84	0.17		3.9	30.2	0.6	6.22	20.7	0.9	11.1	-8.04	31.3	3.59	
KERU	S	N+E	84		0.65	2.3	22.1	0.58	4.87	16.2	0.69	15.3	-12.8	17.9	3.5	
SUDU	P	Z	159	0.065		3.8	26.8	0.61	5.11	17.0	0.76	12.5	-10	22.9	3.56	
SUDU	S	N+E	159		0.6	2.25	47.3	0.6	9.8	32.6	1.4	7.11	-2.2	77.2	3.72	
ALU	P	Z	205	0.01		3.8	5.32	0.61	1.01	3.38	0.15	63.2	-62.7	0.9	3.09	
ALU	S	N+E	205		0.6	2.3	48.8	0.58	10.8	36	1.53	6.9	-1.5	87.8	3.73	
YAL	S	N+E	225		0.3	2.3	33.5	0.58	7.39	24.6	1.04	10.1	-6.36	41.2	3.62	
SIM	P	Z	229	0.04		3.5	37.9	0.67	5.64	18.8	0.91	8.9	-6.06	35.6	3.66	
SIM	S	N+E	229		0.1	2.35	18.1	0.57	4.27	14.2	0.6	18.6	-16.5	12.9	3.44	
SEV	P	Z	262	0.008		3.9	10.8	0.6	2.23	7.44	0.32	31	-29.9	4.03	3.29	
SEV	S	N+E	262		0.1	2.4	20.7	0.56	5.2	17.3	0.7	16.2	-13.6	18	3.48	
S - среднее значение							<b>24.78</b>	<b>0.6</b>	<b>5.1</b>	<b>16.9</b>	<b>0.74</b>	<b>13.57</b>	<b>-11</b>	<b>20.1</b>	<b>3.53</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение							<b>0.08</b>	<b>0.006</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>		<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	

Продолжение таблицы 3.

<b>№ 11. 16 июня, <math>t_0=12</math> ч 22 мин 43.0 с; <math>\varphi = 44.64^\circ</math>, <math>\lambda = 37.01^\circ</math>; <math>h = 19</math> км; <math>K_{II} = 9.1</math></b>															
SUDU	P	Z	162	0.07		4.2	4.69	0.55	1.2	4.02	0.16	4.53	-3.93	0.94	3.05
SUDU	S	N+E	162		0.09	2.7	7.2	0.5	2.57	8.57	0.31	2.95	-1.66	3.09	3.17
S - среднее значение						<b>5.8</b>	<b>0.52</b>	<b>1.76</b>	<b>5.9</b>	<b>0.22</b>	<b>3.65</b>	<b>-2.77</b>	<b>1.7</b>	<b>3.11</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение						<b>0.09</b>	<b>0.02</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.09</b>		<b>0.26</b>	<b>0.06</b>	
<b>№ 12. 02 сентября, <math>t_0=10</math> ч 11 мин 35.0 с; <math>\varphi = 44.58^\circ</math>, <math>\lambda = 34.56^\circ</math>; <math>h = 20</math> км; <math>K_{II} = 8.4</math></b>															
YAL	P	Z	34	0.012		5.3	1.64	0.44	0.85	2.82	0.09	3.49	-3.06	0.23	2.75
YAL	S	N+E	34		0.12	3.3	2.69	0.41	1.75	5.84	0.17	2.13	-1.25	0.79	2.89
SUDU	P	Z	49	0.013		5.4	2.85	0.43	1.56	5.19	0.16	2.01	-1.23	0.74	2.91
SUDU	S	N+E	49		0.15	3.2	4.16	0.42	2.48	8.25	0.25	1.37	-0.13	1.72	3.02
SIM	P	Z	54	0.03		5.2	5.08	0.45	2.48	8.25	0.27	1.13	0.11	2.1	3.07
SIM	S	N+E	54		0.15	3.1	4.21	0.43	2.3	7.65	0.24	1.35	-0.2	1.62	3.02
SEV	P	Z	70	0.003		5.5	0.88	0.42	0.5	1.68	0.05	6.53	-6.28	0.07	2.56
SEV	S	N+E	70		0.045	3.35	1.79	0.40	1.22	4.07	0.12	3.2	-2.58	0.37	2.77
S - среднее значение						<b>2.54</b>	<b>0.42</b>	<b>1.45</b>	<b>4.85</b>	<b>0.15</b>	<b>2.25</b>	<b>-1.53</b>	<b>0.61</b>	<b>2.9</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение						<b>0.09</b>	<b>0.01</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>		<b>0.18</b>	<b>0.09</b>	
<b>№ 13. 10 октября, <math>t_0=22</math> ч 57 мин 13.6 с; <math>\varphi = 44.36^\circ</math>, <math>\lambda = 34.39^\circ</math>; <math>h = 28</math> км; <math>K_{II} = 9.0</math></b>															
YAL	P	Z	23	0.04		5.2	5.01	0.45	2.44	8.15	0.26	4.24	-3.02	2.04	3.07
YAL	S	N+E	23		0.1	3.3	2.39	0.41	1.56	5.21	0.15	8.87	-8.09	0.62	2.86
ALU	P	Z	36	0.01		5.0	1.56	0.47	0.68	2.25	0.08	13.6	-13.3	0.17	2.73
ALU	S	N+E	36		0.6	3.0	10.7	0.45	5.25	17.5	0.6	1.98	0.6	9.37	3.29
SEV	P	Z	60	0.006		5.1	1.37	0.46	0.63	2.1	0.07	15.5	-15.2	0.14	2.69
SEV	S	N+E	60		0.075	3.25	3.26	0.41	2.03	6.78	0.2	6.5	-5.49	1.11	2.95
SUDU	P	Z	76	0.06		4.3	9.98	0.54	2.75	9.17	0.36	2.13	-0.75	4.58	3.27
SUDU	S	N+E	76		0.15	2.9	4.77	0.46	2.11	7.03	0.24	4.46	-3.4	1.68	3.06
DNZ2	P	Z	146	0.004		5.2	2.03	0.45	0.99	3.31	0.11	10.4	-9.94	0.34	2.81
DNZ2	S	N+E	146		0.09	3.2	8.75	0.42	5.21	17.4	0.53	2.43	0.17	7.59	3.23
S - среднее значение						<b>3.87</b>	<b>0.45</b>	<b>1.87</b>	<b>6.23</b>	<b>0.2</b>	<b>5.48</b>	<b>-4.55</b>	<b>1.2</b>	<b>3.0</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение						<b>0.1</b>	<b>0.01</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>		<b>0.2</b>	<b>0.17</b>	
<b>№ 14. 26 декабря, <math>t_0=17</math> ч 14 мин 32.1 с; <math>\varphi = 44.64^\circ</math>, <math>\lambda = 34.54^\circ</math>; <math>h = 16</math> км; <math>K_{II} = 7.5</math></b>															
ALU	P	Z	11	0.025		6.0	0.86	0.34	0.73	2.42	0.07	1.11	-0.75	0.1	2.56
ALU	S	N+E	11		0.2	4.0	1.25	0.32	1.72	5.73	0.13	0.76	0.01	0.36	2.67
YAL	S	N+E	35		0.03	4.1	0.55	0.31	0.82	2.72	0.06	1.72	-1.32	0.07	2.42
Продолжение таблицы 3.															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SIM	S	N+E	48		0.015	4.2	0.42	0.3	0.67	2.24	0.05	2.25	-1.91	0.05	2.35
SEV	S	N+E	69		0.01	4.3	0.39	0.29	0.67	2.23	0.05	2.43	-2.09	0.04	2.33
S - среднее значение						<b>0.63</b>	<b>0.3</b>	<b>0.86</b>	<b>2.85</b>	<b>0.07</b>	<b>1.51</b>	<b>-1.08</b>	<b>0.09</b>	<b>2.46</b>	
$\delta S$ - стандартное отклонение						<b>0.09</b>	<b>0.01</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.1</b>		<b>0.17</b>	<b>0.12</b>	
<i>Примечание: <math>\Sigma\Omega_0 \cdot 10^{-6}</math>, мс – спектральная плотность по полному вектору колебаний поперечной волны (N+E). Номера землетрясений соответствуют табл. 1.</i>															

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

Наибольшие значения динамических параметров ( $M_0$ ,  $r_0$ ,  $\Delta\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $\eta\sigma$ ,  $\bar{u}$ ,  $E_u$  и  $M_w$ ) получены для землетрясения 11 апреля с  $K_{II} = 12.0$ , произошедшего в западной части Черного моря (район 9), а наименьшие — для 2 слабых толчков 20 апреля и 3 июня с  $K_{II} = 6.3$  (№ 6 и № 9). В целом, с ростом энергетического уровня землетрясений количественные значения динамических параметров очагов увеличивались в пределах разброса измеряемых величин. Радиационное трение  $\Delta\sigma_r$  для исследованных землетрясений в основном имело отрицательное значение, что в соответствии с [11] 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  $\Delta\sigma = 28 \cdot 10^5$  Па (28 бар), а кажущихся напряжений  $\eta\sigma < 13.6 \cdot 10^5$  Па (13 бар).

Как и в предыдущие годы [1, 2] наилучшая сходимость станционных определений (табл. 3), получена для радиуса круговой дислокации преимущественно при стандартном отклонении  $\delta r_0 \leq 0.01$ . Наибольший разброс данных по станционным определениям отмечен для величины энергии дислокации  $E_u$ , достигающий иногда более одного порядка. Значения моментных магнитуд  $M_w$  для большинства землетрясений определены с погрешностью не выше  $\pm 0.1$ .

Наименьшие различия всех индивидуальных станционных определений динамических параметров очагов и, соответственно, малые величины  $\delta S$  получены для землетрясения 11 апреля, для которого очаговые параметры восстановлены по группе независимых определений ( $N=7$ ) и с учетом направленности излучения сейсмической энергии из источника на станции регистрации ( $R_{\theta\phi}$ ), рассчитанной из решения механизма очага. В то же время, даже в этом случае невозможно добиться полной сходимости результатов, т. к. есть трудности корректного учета индивидуальных станционных особенностей записей сейсмических колебаний на станциях регистрации, расположенных в разных инженерно-геологических условиях и оснащенных различающейся сейсмической аппаратурой [13]. В связи с этим, чтобы нивелировать станционные различия и получить более надежные оценки очаговых параметров в данной работе привлекались для анализа записи максимально возможного числа сейсмических станций.

В целом, полученные средние значения основных очаговых параметров:  $M_0$ ,  $r_0$  и  $\Delta\sigma$  землетрясений за 2022 год соответствуют долговременным  $M_0(K_{II})$ ,  $r_0(K_{II})$  [14, 15], попадая в диапазон доверительного интервала (рис. 5).

Исключение составляет только завышенное значение сброшенного напряжения  $\Delta\sigma$  для относительно слабого землетрясения 22 мая (№ 7) с  $K_{II} = 7.2$  из Керченско-Анапского района, очаговые параметры которого восстановлены по записи поперечных  $S$ -волн на одной новой станции ОРУК.

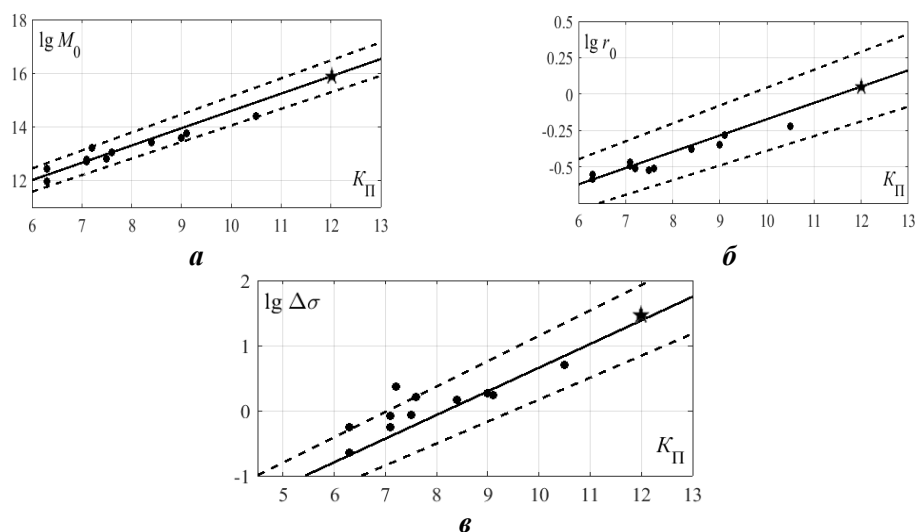


Рис. 5. Сравнение динамических параметров очагов землетрясений Крыма за 2022 г.: *a* — сейсмического момента  $M_0$ , *б* — радиуса круговой дислокации  $r_0$  и *в* — сброшенного напряжения  $\Delta\sigma$  с долговременными зависимостями  $M_0(K_{II})$ ,  $r_0(K_{II})$  и  $\Delta\sigma(K_{II})$  из [14, 15]. Пунктир — пределы погрешностей долговременных зависимостей, звездочка – значения для землетрясения с учетом направленности излучения из очага.

## 5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Большинство энергетических спектров землетрясений 2022 года имело характерную резонансную форму с одним выраженным максимумом частот  $f_{qmax}$ , на которые приходится наибольшая доля плотности сейсмической энергии  $q_{max}$  (рис. 6).

Полученные главные характеристики спектров энергии: частота  $f_{qmax}$ , с максимальной плотностью энергии  $q_{max}$  и логарифмическая ширина максимума спектра  $\delta f_q$  на уровне 0.75 от максимального значения  $q_{max}$  в высокочастотной ( $f_{q1}$ ) и низкочастотной ( $f_{q2}$ ) части спектра  $\delta f_q = (f_1 - f_2)$ , приведены в табл. 4.

Результаты расчета  $f_{qmax}$  и  $\delta f_q$  даны по разным типам волн и составляющим записи: продольные волны по вертикальной составляющей Z, поперечные – по горизонтальным север-юг (N) и восток-запад (E).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

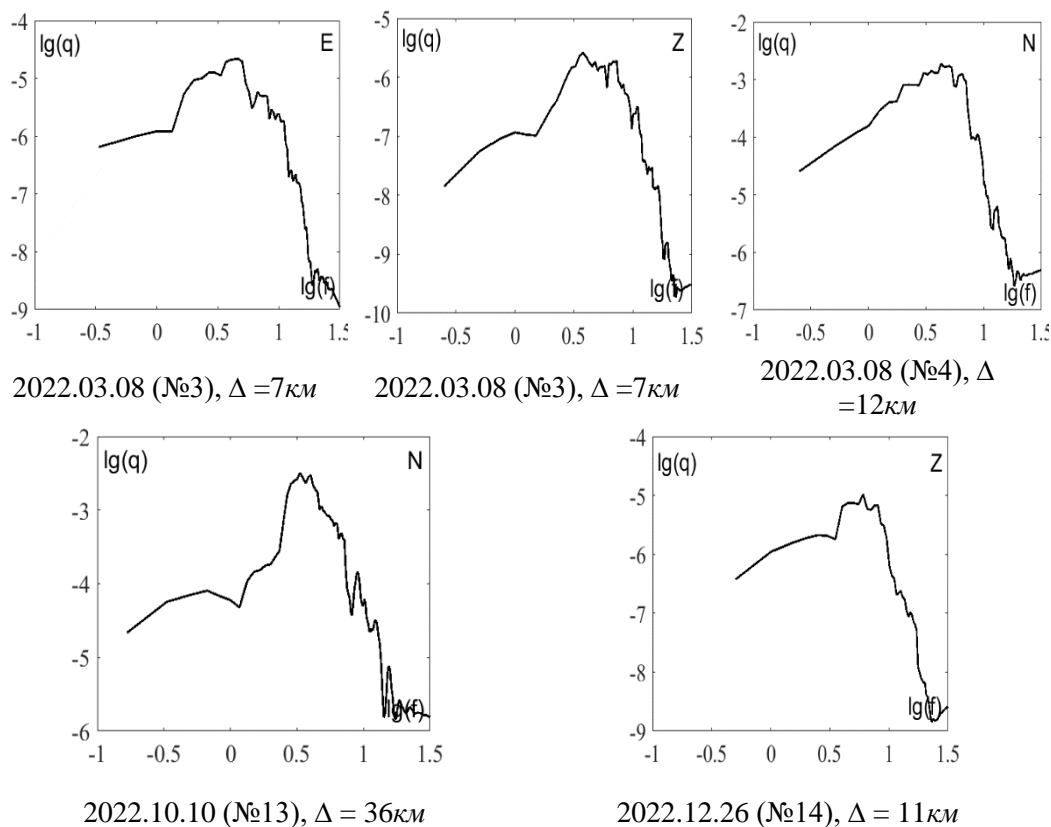


Рис. 6. Примеры сглаженных энергетических спектров землетрясений Крыма 2022 г. по записям объемных сейсмических волн на станции «Алушта». Номера землетрясений даны по табл. 1.

Таблица 4.  
Основные характеристики энергетических спектров землетрясений 2022 г.  
по данным станции «Алушта»

№	Дата, д м	$K_{П}$	$\Delta$ , км	$f_{qmax}, Гц$			$\delta f_q (f_1 - f_2), Гц$		
				Z	N	E	Z	N	E
1	17.01	7.1	49	-	3.34	2.17	-	1.9	1.65
2	02.05	5.4	13	5.54	-	-	2	-	-
3	08.03	6.1	7	3.76	6	4.69	2.1	2	1.5
4	08.03	7.1	12	5.1	4.26	4	2.1	2.2	2.3
5	13.03	7.6	24	5.54	3.67	4	1.5	2.1	2.14
6	11.04	12.0	336	3.29	2.7	1.58	1.6	4.4	3
10	16.06	10.5	207	5.6	5.1	5	2.5	2	1.9
13	10.10	9.0	36	6	3.3	2.5	1.87	1.7	1.75
14	26.12	8.0	11	6	4.4	4.4	2	2	1.7

В работе [16] имеющиеся энергетические спектры за период 2014–2021 гг. условно были разделены на 7 групп, отличающиеся эпицентрными расстояниями: 1 — (7±3) км; 2 — (23±7) км; 3 — (46±3) км; 4 — (85±15) км; 5 — (167±13) км; 6 — (243±22) км; 7 — (374±39) км. В пределах каждой группы были получены средние значения параметров  $f_{qmax}$  и  $\delta f_q$ . По результатам настоящей работы с дополнением статистики по 9 землетрясениям, средние значения энергетических параметров и диапазоны эпицентральных расстояний уточнены и представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Спектральные характеристики энергетических спектров землетрясений 2014–2022 г. по данным станции «Алушта»

Группа	$K_{\Pi}$	$\Delta$ , км	$f_{qmax}$ , Гц		
			Z	N	E
1	5.4-8	<b>9±2</b>	5.8±1.7	4.4±0.8	4.1±0.8
2	5.2-9.8	<b>23±2</b>	5.5±1	4.4±0.3	3.8±0.9
3	7.2-11.2	<b>45±4</b>	5.4±0.3	3.3±0.3	2.56±0.3
4	7.7-10.1	<b>87±14</b>	5.1±0.6	4±0.7	3.8±0.8
5	8.7-10.8	<b>167±13</b>	5.4±0.9	3.2±0.8	2.5±1.1
6	8.5-11.6	<b>240±16</b>	4.7±0.9	3.1±0.7	2.5±0.9
7	10.9-13.1	<b>361±34</b>	2.9±0.5	2.6±0.1	1.93±0.4

Здесь мы приводим только характеристики  $f_{qmax}$  с максимальной плотностью энергии  $q_{max}$ , поскольку для них ранее в работе [16] получена корреляционная связь частоты спектра  $f_{qmax}$  поперечных S-волн с энергетическим уровнем ( $K_{\Pi}$ ) землетрясения для фиксированного диапазона эпицентральных расстояний (23±7) км:

$$Lg(f_{qmax}) = - (0.077 \pm 0.007) \cdot K_{\Pi} + (1.11 \pm 0.05), \quad \rho = 0.92 \quad (1)$$

В этот диапазон эпицентральных расстояний попадает энергетический спектр землетрясения 13.03.2022 г. (№ 5 по табл. 1) с эпицентральным расстоянием 24 км, дополнивший статистику по второй группе очагов ( $\Delta = 23 \pm 2$  км по табл. 5). Сравнение полученных спектральных характеристик  $f_{qmax}$  (N- и E-компоненты) для этого землетрясения (табл. 4) и рассчитанных по формуле (1), а также среднего значения по 2-ой группе (табл. 5) показало их соответствие.

Статистика группы с эпицентрными расстояниями (46±3) км, дополнена данными по спектрам землетрясений 01.17 (№ 1) и 10.10 (№ 13). Максимальные значения  $f_{qmax}$  по N- и E-компонентам спектров этих сейсмических событий попадают в диапазон средних значений 3-ей группы (45±4 км по табл. 5). В то же время Z-компонента выше диапазона средних значений, что, вероятно, связано с небольшой статистикой событий по данной группе. Спектры четырех землетрясений дополнили статистику по первой группе с несколько расширенным диапазоном эпицентральных расстояний и уточненными средними значениями по сравнению с [16]. Данные по остальным энергетическим спектрам землетрясений 2022 года, также попадают в диапазоны средних значений  $f_{qmax}$  для соответствующих групп.



## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2022 ГОДА

Отмеченные незначительные выбросы по группам, возможно, связаны с малым показателем статистических данных, требующих пополнения и обновления.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектральные и динамические параметры очагов 14 землетрясений Крымско-Черноморского региона 2022 года в диапазоне энергетических классов  $K_{II}=6.3\div 12.0$  изучены как по амплитудным, так и энергетическим спектрам продольных и поперечных сейсмических волн, зарегистрированных группой региональных сейсмических станций Крыма. Средние значения динамических параметров очагов землетрясений 2022 г. в большинстве случаев оценены по нескольким станциям и по разным типам волн, что обеспечило удовлетворительную сходимости станционных определений при малом значении стандартных отклонений ( $\delta S$ ) и их соответствие долговременным зависимостям от энергетического уровня землетрясений.

Кинематические параметры очага восстановлены для одного наиболее сильного землетрясения, произошедшего в западной части Черного моря 11 апреля 2022 г. По данным решения механизма очага, землетрясение произошло под действием горизонтальных сил сжатия, ориентированных близшироотно. В очаге произошел взбросо-сдвиг активного крыла разрыва с преобладанием взбросовой подвижки. Такой тип подвижки не противоречит обстановке сейсмогенеза в западной части Крымско-Черноморского региона [17].

С учетом энергетических спектров за период 2014–2021 гг. и новых определений за 2022 гг., откорректированы 7 групп землетрясений по диапазонам эпицентральных расстояний до станции «Алушта» и уточнены средние значения частот  $f_{qmax}$  с максимальной плотностью энергии  $q_{max}$  для каждой выделенной группы. Новые данные, полученные по спектральным параметрам землетрясений 2022 года, не противоречат диапазонам средних значений  $f_{qmax}$  по своим группам.

Исследования необходимо продолжить для получения статистически представительных данных в широком энергетическом и пространственно-временном диапазоне по спектральным и очаговым параметрам землетрясений для использования выявленных особенностей и закономерностей в решении задач научного и научно-прикладного характера.

### Список литературы

1. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э., Бондарь М. Н. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2019 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им В. И. Вернадского. География. Геология. 2020. Том 6(72), №4. С. 66–84.
2. 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.
3. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона. Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. Том 2. С. 113–125.
4. European-Mediterranean Seismological Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (дата обращения: 01.03.2023).

5. Введенская А. В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969. 136 с.
6. 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.
7. Пустовитенко Б. Г., Пантелеева Т. А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 251 с.
8. 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.
9. Ризниченко Ю. В., Сейдузова С. С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. М.: Наука, 1984. 180 с.
10. 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 *P*-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.
11. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 179 с.
12. Hanks T. C., Kanamori H. A. Moment magnitude scale // *J. Geophys. Res.* 1979, V. 84, nn. 35, pp. 2348–2350.
13. Свидлова В. А., Бондарь М. Н., Бойко В. А. Сейсмичность Крыма в 2021 году // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология*. 2022. Том 8(74), №4. С. 7–79.
14. Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А., Капитанова С. А., Поречнова Е. И. Пространственные особенности очаговых параметров землетрясений Крыма. Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 238–242.
15. 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.
16. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э. Спектральные свойства плотности энергии объемных сейсмических волн землетрясений Крыма по данным станции «Алушта». Монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» / Под ред. И. А. Керимова, В. А. Широковой. М.: ИИЕТ РАН, 2022. С. 324–329.
17. 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.

## **SPECTRAL AND FOCAL PARAMETERS OF THE 2022 CRIMEA EARTHQUAKES**

*Pustovitenko B. G.<sup>1</sup>, Eredzhepov E. E.<sup>1,2</sup>, Bondar M. N.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>State Autonomous Institution “Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities”, », Simferopol, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Institute of seismology and geodynamics V. I. Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol, Russian Federation*

*E-mail: bpustovitenko@mail.ru*

The results of a study of the spectral, kinematic, dynamic and energy characteristics of the sources of 14 earthquakes in the Crimean-Black Sea region for 2022 in the range of energy classes  $K_{II} = 5.4–12$  are presented. For 12 earthquakes, the dynamic parameters of the

sources ( $M_0$ ,  $r_0$ ,  $\Delta\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $\eta\sigma$ ,  $\Delta\sigma_r$ ,  $\bar{u}$ ,  $Eu$  и  $Mw$ ) were reconstructed from the amplitude spectra of body seismic waves using Brun's theoretical dislocation model ( $\omega^{-2}$ ).

For the strongest earthquake with  $K_{II}=12$ , a solution to the focal mechanism was obtained. It was established that a reverse-slip fault occurred in the source under the influence of compression forces. The spectral properties of seismic waves from 9 earthquakes were also examined using energy spectra using seismograms from the «Alushta» station.

**Keywords:** source mechanism, amplitude spectrum, Brun model, spectral density, angular frequency, dynamic parameters of the source, energy spectrum.

### References

1. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletryasenij Kryma 2019 goda (Spectral and dynamic parameters of the centers of Crimea earthquakes in 2019). Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2020, V. 6(72), no. 4, pp. 67–85 (in Russian).
2. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletryasenij Kryma 2021 goda (Spectral and dynamic parameters of the centers of Crimea earthquakes in 2021). Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2022, V. 8(74), no. 4, pp. 80–96 (in Russian).
3. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob energeticheskoy ocenke zemletryasenij Krymsko-Chernomorskogo regiona (On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij. M.: IFZ AN SSSR. 1974, V. 2, pp. 113–125 (in Russian).
4. European-Mediterranean Seismological Center. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (data obrashcheniya: 01.03.2023).
5. 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. 260 p. (in Russian).
6. 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. 198 p. (in Russian).
7. 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).
8. 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.
9. 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).
10. 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. Spektiry  $P$ -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).
11. Kostrov B. V. Mehanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya (The mechanics of the source of a tectonic earthquake). M.: Nauka, 1975. 179 p. (in Russian).
12. Hanks T. C., Kanamori H. A. Moment magnitude scale // J. Geophys. Res. 1979, V. 84. no. 35, pp. 2348–2350.
13. Svidlova V. A., Bondar' M. N., Boiko V. A. Seysmichnost' Kryma v 2021 g. (Seismicity of Crimea in 2021). Uchenyye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2022, V. 8(74), no. 4, pp. 7–79 (in Russian).
14. Pustovitenko B. G., Pustovitenko A. A., Kapitanova S. A., Porechnova E. I. Prostranstvennye osobennosti ochagovyh parametrov zemletryasenij Kryma (Spatial features of the focal parameters of Crimea

- earthquakes). Sejsmichnost' Severnoj Evrazii. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii. Obninsk: GS RAN. 2008, pp. 238–242 (in Russian).
15. 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).
  16. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E. Spektral'nye svoystva plotnosti energii ob'emnyh seysmicheskikh voln zemletryasenij Kryma po dannym stancii «Alushta». (Spectral Properties of the Energy Density of Volumetric Seismic Waves of Earthquakes in the Crimea According to the «Alushta» Station Data). *Monografiya «Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza» / Pod red. I. A. Kerimova, V. A. Shirokovoy*. Moskow: IYET RAN, 2022, pp. 324–329 (in Russian).
  17. Vol'fman Yu. M., Pustovitenko B. G., Kolesnikova E. Ya. Obstanovki sejsmogeneza Krymsko-Chernomorskogo regiona (po dannym reshenij mehanizmov ochagov zemletryasenij) (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).

*Поступила в редакцию 24.10.2023 г.*

УДК 550.34

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ КРЫМСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

27 ФЕВРАЛЯ 2023 ГОДА

Колесникова Е. Я.<sup>1</sup>, Останин А. М.<sup>2</sup>, Бондарь М. Н.<sup>3</sup>, Бушмакина Г. Н.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Российская Федерация.

E-mail: <sup>1</sup> geolog.key@mail.ru

В статье изложены результаты макросейсмического изучения последствий землетрясения, произошедшего 27.02.2023 г. в непосредственной близости от Южного берега Крыма; приведены карты распределения (в каждом из обследованных населенных пунктов) интенсивности сотрясений в баллах макросейсмической шкалы. Установлено, что интенсивность сотрясений в их пределах не превышала двух-трех баллов. Построена сводная карта-схема распределения интенсивности (по максимальным значениям) сотрясений на исследуемой территории. Дана сравнительная характеристика последних ощутимых на Южном берегу Крыма землетрясений 13.05.2016 г. и 27.02.2023 г. и их последствий. Приведены результаты сравнительного анализа сейсмичности Турции и Крымско-Черноморского региона в течение наиболее интенсивного периода сейсмической активности в зоне Восточно-Анатолийского разлома, последовавшего за катастрофическими землетрясениями 6 февраля 2023 г.

**Ключевые слова:** макросейсмическое обследование, сейсмический балл, шкала интенсивности, землетрясение, магнитуда.

### ВВЕДЕНИЕ

27 февраля 2023 г. в 13 ч 02 мин 38.7 сек. по Гринвичу (в 16 ч 02 мин 38,7 сек по московскому времени) вблизи Южного берега Крыма произошло землетрясение с магнитудой  $MSH=3.5$  ( $K_{II}=11.1$ ) и координатами гипоцентра:  $\varphi=44.53^\circ$ ,  $\lambda=34.45^\circ$ ,  $h=28$  км, которое в той или иной степени ощущалось жителями некоторых населенных пунктов. Это событие было зарегистрировано всеми сейсмическими станциями Крымской сети наблюдений, а также сейсмостанциями Северного Кавказа Геофизической службы РАН, самая близкая из которых расположена в г. Анапа – в 230 км от эпицентра землетрясения. Ближайшие к очагу сейсмические станции Крыма находятся в г. Алушта и в г. Ялта на удалении, соответственно, 21 и 27 км.

Это землетрясение вызвало повышенный общественный резонанс, поскольку оно случилось на фоне катастрофических событий и продолжающейся длительное время высокой сейсмической активности в ближней зоне Крыма – в пределах Турции, где в течение суток 06.02.2023 г. произошло два разрушительных землетрясения, приведших к многочисленным человеческим жертвам и колоссальным разрушениям. Это обусловило тревогу у населения соседних регионов (в том числе, Крыма и юго-западных областей России) относительно возможности смещения ареала высокой сейсмичности на сопредельные территории и возникновения катастрофических землетрясений в их пределах. Особо актуальной эта угроза представлялась для жителей Крыма, поскольку в качестве реакции сейсмогенных структур Крымско-Черноморского региона на сейсмические

процессы в пределах Турции можно было ожидать повышения уровня их сейсмической активности до критических значений.

Для оперативного обследования последствий землетрясения 27.02.2023 г. в Институте сейсмологии и геодинамики КФУ им. В. И. Вернадского был организован мобильный отряд с целью сбора и обобщения данных о проявлении макросейсмического эффекта от воздействия данного землетрясения в пределах населенных пунктах Южного берега Крыма, расположенных в эпицентральной области данного землетрясения. В состав отряда входили: ведущие инженеры Бушмакина Г. Н., Бондарь М. Н., Колесникова Е. Я., Останин А. М., Свидлова В. А., техник Пехтерева Е. Г., водитель Коротков В. А. Также были задействованы сотрудники сейсмической станции «Ялта» (начальник станции Курьянова И. В., инженер Курьянов Е. В.).

## 1. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследований заключалась в получении максимально достоверных данных о границах проявления и интенсивности макросейсмического эффекта от землетрясения 27 февраля 2023 г. в населенных пунктах Южного берега Крыма. Сбор макросейсмических данных (методом выборочного опроса населения) выполнялся 9 и 10 марта 2023 г.

Исследованиями было охвачено 10 населенных пунктов Южного берега Крыма и прилегающих к нему территорий: от пгт. Изобильное на северо-востоке до г. Ялты – на западном фланге. В результате было опрошено более 200 респондентов.

Обработка данных проводилась в соответствии с макросейсмической шкалой MMSK-84 [2], которая в описательной части не отличается от шкалы MSK-64 [5]. При этом во внимание принимались только те результаты опроса, которые содержали достаточно сведений для оценки интенсивности сотрясений в конкретной точке изучаемой территории в соответствии с градациями макросейсмической шкалы. По данным опроса респондентов были построены карты распределения интенсивности сотрясений в *баллах*. Цитирование респондентов, которое приводится в данной работе – это детальное (дословное) описание реакции людей и предметов быта на сотрясения при землетрясении.

**Пгт. Изобильное.** Всего опрошено 8 человек, проживающих в разных частях населенного пункта (рис. 1). Никто из опрошенных каких-либо воздействий от землетрясения не ощущал.

**Г. Алушта.** В Алуште было опрошено 52 человека, из них 8 ощущали землетрясение. Цитирование респондентов (с сохранением, по возможности, их стилистических особенностей) приводится по адресам их проживания (рис. 2).



Результаты опроса населения в г. Алушта:

1. Ул. Судакская, д. 10. Дом пятиэтажный, 5-й этаж; дому 45 лет: «Сижу на диване никого не трогаю...вдруг! – волна с востока прошла через комнату и ушла в сторону г. Кастель, как будто волновое движение».

2. Ул. Юбилейная, д. 16. Девятиэтажный панельный дом, 6-й этаж: «Ощутила слабый толчок, подкинуло на диване, не испугалась».

3. Ул. Судакская, д. 26. Здание – 19 этажей, находилась на 11-м этаже: «Я не чувствовала землетрясения, но кот был очень взволнован, носился из угла в угол».

4. Ул. Ленина. Четырехэтажное здание 1957 года постройки, 4-й этаж: «Удивилась, колыхнуло шкаф, закачалась люстра».

5. Ул. Туристов, д. 7: «Находилась на улице, почувствовала колебание земли».

6-8. Три человека из числа опрошенных ощутили слабый толчок.

**Пгт. Малый Маяк.** Опрошено 17 человек, из них 5 ощутили землетрясение (рис. 3). Цитирование:

1. Санаторий «Утес», учебный центр: «Стоял на улице почувствовал толчок в ноги»

2. Санаторий «Утес», учебный центр: «Стоял на остановке, закружилась голова, подумал – давление. Земля уходила из-под ног».

3-5. Остальные три опрошенных человека «ощутили слабый толчок снизу».

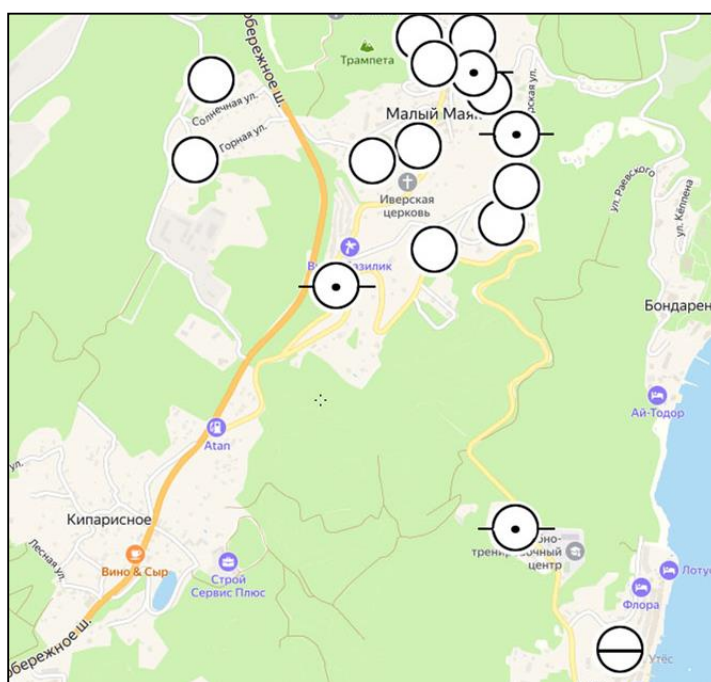


Рис. 3. Карта распределения интенсивности сотрясений в баллах по данным опроса в пгт. Малый Маяк. Условные обозначения см. на рис. 1.



**Пгт. Партенит.** Опрошено 22 человека. Никто из опрошенных каких-либо воздействий от землетрясения не ощущал и не наблюдал (рис. 4).

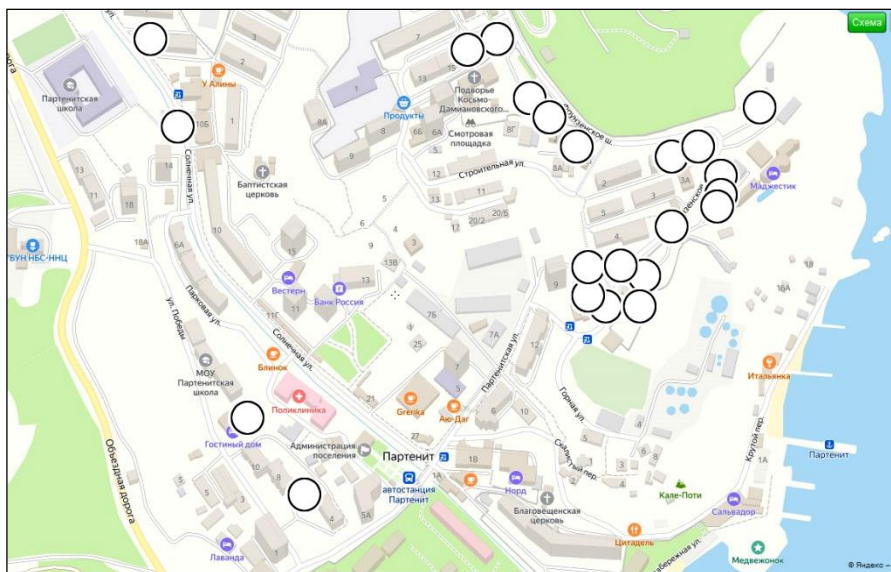


Рис. 4. Карта распределения интенсивности сотрясений в баллах по данным опроса пгт. Партенит. Условные обозначения см. на рис. 1.

**Пгт. Гурзуф.** Опрошено 43 человека, 14 из которых ощутили землетрясение (рис. 5). Цитирование:

1. Ул. Подвойского, д. 19; здание старой постройки, 5-й этаж пятиэтажного дома: «Находилась в помещении, была в спокойном состоянии. Почувствовала сильный толчок, испугалась, выбежала во двор».

2. Ул. Подвойского, д. 5. Пятиэтажное здание, 5-й этаж: «Находилась в помещении, подкинуло на диване, ощутила хорошо, испугалась».

3. Международный детский центр Артек, ул. Ялтинская, д. 15: «Сидела на диване, покачало несколько секунд, как повело».

4. Международный детский центр Артек, административное здание: «Прочувствовал хорошо, качнуло люстры».

5. Ул. Садовая, д. 4. Пятиэтажное здание, 4-й этаж: «Находился в спокойном состоянии, сидел, подо мной задвигалось кресло. Не испугался».

6. Ул. Санаторная, д. 8. Пятиэтажное здание, 5-й этаж: «Был один толчок, услышала скрип шкафа, не испугалась».

7. Адрес не указан. Помещение каменное, одноэтажное: «Находилась в спокойном состоянии, качнуло на диване, ощутила хорошо».

В некоторых случаях респонденты (по ряду причин) уклонялись от указания точного адреса проживания. Привязка на картах производилась по месту опроса, расположенного рядом с местом предполагаемого проживания респондента.

8. Ул. Строителей, д.1. Пятиэтажное блочное здание, 5-й этаж: «*Лежала на диване, диван качнуло, не испугалась*».

9. Ул. Пролетарская, д. 1. Здание одноэтажное, старой постройки: «*Находилась в помещении в спокойном состоянии, подкинуло, сильно испугалась*».

10. Ул. Ленинградская, д. 2. Блочное девятиэтажное здание, 5-й этаж: «*Находилась в спокойном состоянии, увидела раскачивание люстры, не испугалась*».

11. Ул. Подвойского, д. 20. Пятиэтажное здание, 5-й этаж: «*Находилась в спокойном состоянии, услышала звон стекла в шкафу, не испугалась*»

Остальные 3 человека из 14 респондентов с «положительной» реакцией на землетрясение, «*ощутили слабый толчок, не испугались*».

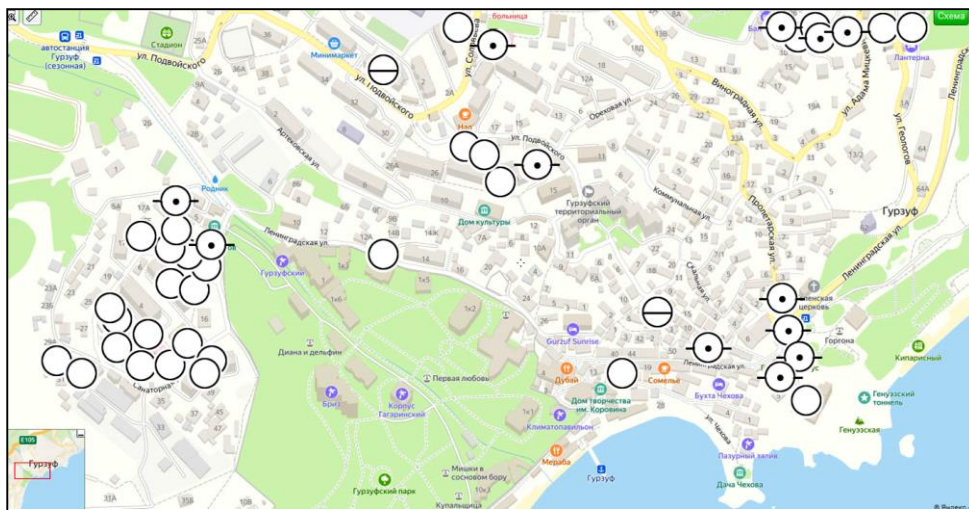


Рис. 5. Карта распределения интенсивности сотрясений в баллах по данным опроса пгт. Гурзуф. Условные обозначения см. на рис. 1.

**Г. Ялта с пригородами (Массандра, Никита, Васильевка).** Опрошено 59 человек, из них 17 ощутили землетрясение (рис. 6).

Цитирование:

1. Ялта, ул. Халтурина. Здание блочной постройки, 5-й этаж: «*Прочувствовал хорошо, как следует, потрясло кровать, и сушилка для белья дребезжала и звенела*».

2. Ялта, ул. Загородная, д. 17. Здание блочной постройки, 6-й этаж: «*Тряхнуло очень сильно в 16 часов 04 мин.*».

3. Массандра, ул. Стахановская, д. 27. 4-й этаж: «*Спала, проснулась...*».

4. Массандра, блочное здание, 4-й этаж: «*Стены шатнуло волной*».

5. Ялта, ул. Крупской, блочное здание: «*Пол и шкаф задрожали*».

6. Массандра, ул. Свердлова д. 5. Пятиэтажное здание, 4-й этаж, дом старой постройки: «*Качало как на теплоходе*».

7. Ялта, ул. Московская, д. 25: «*Стоял на ногах в подвале, дернулся пол*».

Остальные 10 человек из 17 респондентов с «положительной» реакцией на

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

землетрясение, «ощутили слабый толчок, или качнуло».

В пос. Никита и Васильевка (соответственно, 12 из 4 респондентов опрошенных) землетрясение не ощущали.

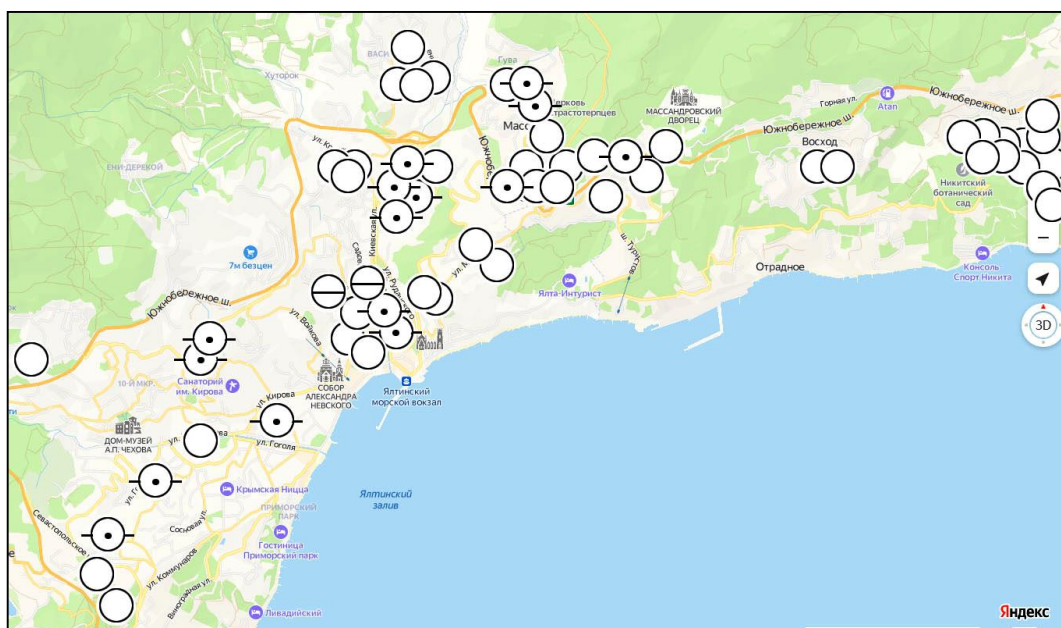


Рис. 6. Карта распределения интенсивности сотрясений в баллах по данным опроса в г. Ялта и в пос. Массандра, Никита, Васильевка. Условные обозначения см. на рис. 1.

Установленные в результате опроса максимальные значения интенсивности сотрясений от землетрясения 27 февраля 2023 г. (в баллах) в каждом из обследованных населенных пунктов Южного берега Крыма приведены в таблице:

№ п/п	Населенный пункт	Баллы
1.	г. Ялта пгт. Гурзуф	до 3 баллов
2.	г. Алушта пгт. Малый Маяк пгт. Массандра	до 2-3 баллов
3.	пгт. Изобильное пгт. Партенит п. Васильевка пгт. Никита	не ощущалось

По полученным макросейсмическим данным построена карта-схема распределения максимальной интенсивности сотрясений в пределах исследуемой

территории (рис. 7).

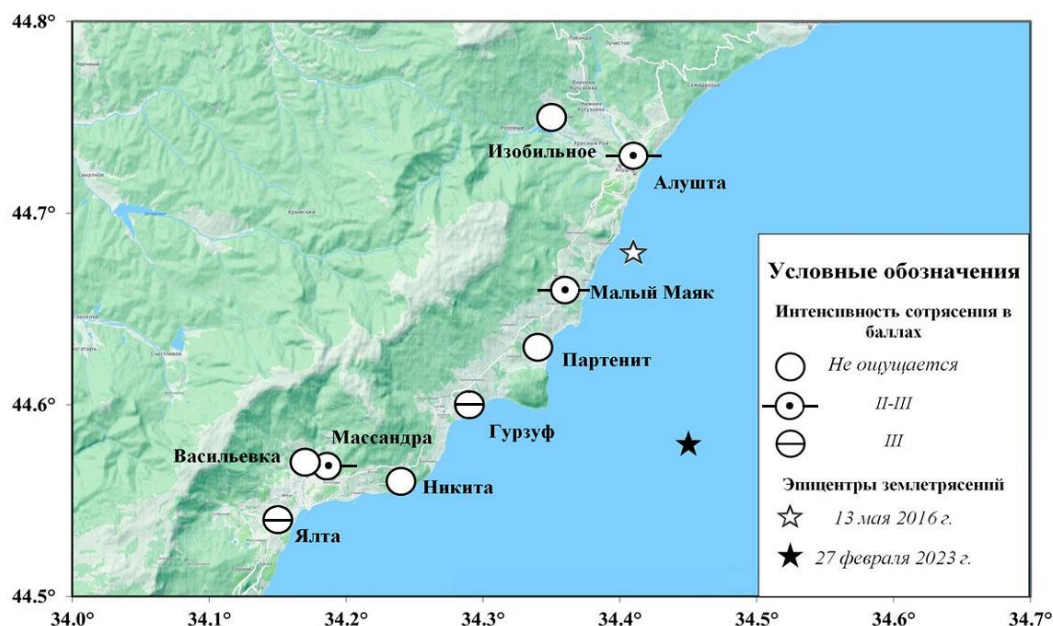


Рис. 7. Сводная карта-схема распределения максимальной интенсивности сотрясений при землетрясении 27 февраля 2023 г.

Учитывая локальный характер распределения на площади интенсивности сотрясений, оцениваемых в 2–3 и 3 балла, проведение соответствующих изосейст представляется не совсем корректным.

Сопоставление полученных данных с результатами обследования последствий предшествующего ощутимого землетрясения в пределах Южного берега Крыма (13.05.2016 г.), эпицентр которого располагался к югу от г. Алушта ( $MSH=3.3$ ,  $\varphi=44.63^\circ$ ,  $\lambda=34.41^\circ$ ,  $h=13$  км – см. рис. 7), указывает на более низкий уровень сейсмических воздействий от землетрясения 27.02.2023 г. При близких значениях магнитуд этих событий, интенсивность воздействий первого из них (вследствие меньшей удаленности эпицентра от расположенных в прибрежной полосе населенных пунктов и меньшей глубины очага) была существенно выше, достигая 4-х, а в отдельных случаях, например, в центральной части Алушты, 5-ти баллов [4]. Оба эти землетрясения не представляли какой-либо реальной опасности для населения и инфраструктуры близлежащих населенных пунктов, однако они еще раз послужили напоминанием о том, что Южный берег и иные территории Крымского полуострова относятся к весьма сейсмоопасным регионам.

## 2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выше отмечалось, что ощутимое крымское землетрясение 27 февраля 2023 г.

произошло в период высокой сейсмической активности на территории Малой Азии – в пределах центральной и восточной Турции и пограничных с ней районов Сирии, где 6 февраля 2023 г. произошло два катастрофических землетрясения с магнитудами  $M_s=8.0$  и  $M_s=7.8$  [<http://www.ceme.gsras.ru>]. Очаг первого и наиболее разрушительного из них располагался на небольшой глубине ( $h=10$  км) в пределах густонаселенного района, что многократно усилило катастрофический эффект его воздействия. Второе землетрясение с глубиной очага также  $h=10$  км привело к новым жертвам, усложнило спасательные работы и довершило разрушение инфраструктуры региона. Чрезвычайно высокая сейсмическая активность в регионе сохранялась в течение весьма длительного периода.

В этой связи представляется актуальным выполнение сопоставительного (на качественном уровне) анализа особенностей сейсмического процесса в пределах Турции и сопредельного с ней Крымско-Черноморского региона с целью определения возможного влияния (или отсутствия такового) турецких землетрясений на активизацию сейсмогенных структур, локализованных в непосредственной близости от Крыма.

Прежде всего, следует отметить основные особенности сейсмического процесса в пределах Турции:

1. Катастрофические землетрясения 6 февраля не предварялись сколько-нибудь значительными форшоками, хотя в последующие несколько месяцев в этом регионе сохранялась необычайно высокая сейсмическая активность. Так, с 6 февраля до 31 марта (по данным [<http://www.emsc-csem.org>]) здесь произошло 6535 землетрясений с  $mb \geq 2$  — от 74-х до 231-го события в сутки (рис. 8). За период с февраля по май здесь же было зарегистрировано 130 событий с  $M \geq 4$ , для которых были получены фокальные механизмы [<https://www.globalcmt.org>], которые рассматриваются как прямые индикаторы геодинамических обстановок формирования сейсмогенеза [1].

2. Почти все турецкие землетрясения этого периода локализованы, главным образом, вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома северо-восточного простирания и в непосредственной близости от него. При этом расположенная ближе к Крыму система Северо-Анатолийского разлома, протягивающегося вдоль северного побережья Турции, оставалась практически незадействованной в сейсмическом процессе, «откликнувшись» всего лишь несколькими событиями с  $M_s=2-4$ . Хотя данная система, трассирующая зону палеосубдукции Неотетиса при сближении литосферных плит Евразии, Аравии и Африки, обычно весьма активна в сейсмическом отношении. Именно в ее пределах произошло катастрофическое Измитское землетрясение 17.08.1999 года ( $M_s=7.6$ ) — единственное за новейшее время, воздействия от которого ощущались на территории Крыма с интенсивностью до 4 баллов [Князева, 1999]. Отметим, что катастрофические турецкие землетрясения 06.02.2023 г. населением полуострова не ощущались.

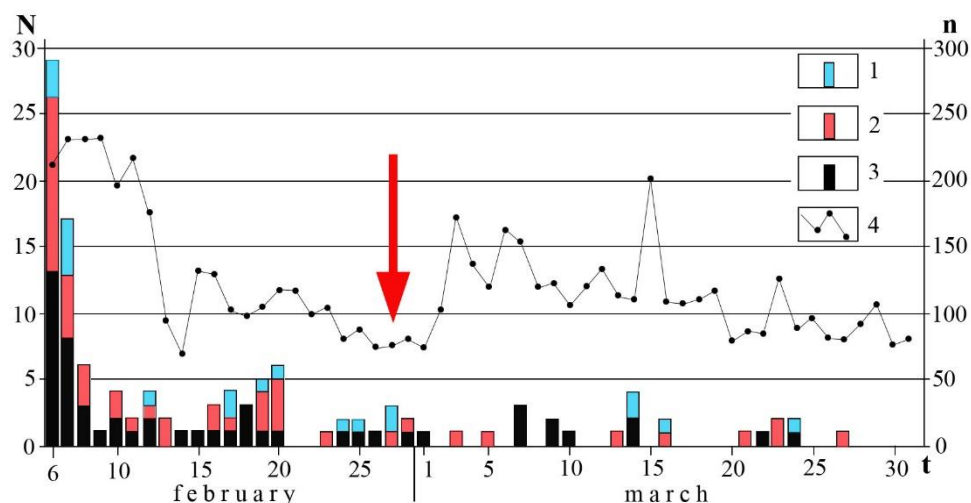


Рис. 8. Общее количество землетрясений, произошедших на территории Турции в течение февраля–марта 2023 г. ( $n$ ), и соотношения разных типов землетрясений, для которых идентифицированы кинематические обстановки в очагах ( $N$ ) [Вольфман, Колесникова, 2023, с дополнением]. Условные обозначения: 1–3 — очаги, сформированные в обстановках сжатия (1), растяжения (2) и сдвиговые очаги, возникновение которых равновероятно как в условиях сжатия, так и при растяжении (3); 4 — график распределения общего количества землетрясений с  $mb \geq 2$ . Красная стрелка — землетрясение 27 февраля 2023 г. у побережья Крыма.

В это же время, то есть в течение начального, наиболее интенсивного периода сейсмической активности на территории Турции (с 6 по 27 февраля), инструментальными наблюдениями в Крымско-Черноморском регионе было зарегистрировано только 8 относительно слабых событий, что не превышает фоновых показателей сейсмического режима в регионе. Из их числа пять землетрясений (энергетического класса  $K_{П}=8.5-9.4$ , что соответствует уровню магнитуд  $MSH=2.0-2.6$ ), произошло на значительном удалении от Крыма – в юго-восточной части Черного моря, у побережья Турции. Два события с  $K_{П}=7.1$  и  $7.8$  ( $MSH=1.2$  и  $1.6$ ) зарегистрировано в пределах Керченско-Анапской зоны и только одно, весьма слабое землетрясение ( $K_{П}=5.7$ ,  $MSH=0.4$ ) — в непосредственной близости от г. Севастополь (оперативные данные Института сейсмологии и геодинамики КФУ им. В. И. Вернадского). Все эти события не имели макросейсмического проявления на территории Крымского полуострова. В последующее время сейсмичность в пределах Крымско-Черноморского региона также сохранялась на относительно низком уровне.

Период относительного сейсмического «затишья» для жителей Крыма закончился 27 февраля 2023 г., когда произошло землетрясение с магнитудой  $MSH=3.5$  ( $K_{П}=11.1$ ) и глубиной очага  $h=28$  км, которое ощущалось жителями некоторых южнобережных населенных пунктов. Следует отметить, что события с

аналогичными энергетическими параметрами не являются необычными для Крымско-Черноморского региона: землетрясения подобного класса регулярно происходят в пределах его границ. Оснований полагать, что данное событие явилось прямым следствием или реакцией на проявления высокой сейсмической активности в Турции, нет, поскольку оно приходится на период относительного сейсмического «затишья» в этом регионе. Это наглядно иллюстрирует график распределения во времени количества событий, произошедших в течение февраля-марта 2023 г.: на третью декаду февраля приходится существенное снижение общего количества (менее 100 в сутки) турецких землетрясений (рис. 8). Однако близость очага землетрясения 27 февраля 2023 г. к некоторым населенным пунктам Южного берега Крыма обусловила повышенную интенсивность сейсмических воздействий на отдельных участках их территорий, что вызвало беспокойство и панику у населения, находящегося под впечатлением недавних катастрофических событий в Турции и Сирии.

Вышеприведенные данные свидетельствуют об отсутствии сколько-нибудь существенной реакции сейсмогенных зон Крымско-Черноморского региона (в виде предполагаемого усиления их активности) на катастрофическое развитие сейсмического процесса в Турции. По мнению исследователей [1], это обусловлено специфическими доминирующими геодинамическими обстановками, предопределившими основные особенности формирования турецко-сирийских землетрясений. Так, результаты анализа фокальных механизмов катастрофических событий 06.02.2023 г. и их афтершоков показали, что большая их часть (очаги сбросового и сдвигового типов — см. рис. 8) возникла при растяжении земной коры в широтном и юго-восточном направлениях. При этом область разрядки тектонических напряжений в основном была ограничена зоной динамического влияния Восточно-Анатолийского разлома.

Установленный дивергентный характер кратковременного взаимодействия Анатолийской субплиты с остальной частью Аравии вдоль зоны Восточно-Анатолийского разлома и, соответственно, кинематические обстановки, предопределившие основные особенности сейсмогенеза, как бы «выпадают» из общего, долговременного тренда геодинамического развития этой территории, определяемого преимущественно коллизионными процессами в зоне сочленения литосферных плит Аравии и Евразии. Это инверсионное возмущение общего хода геодинамического развития региона, проявившееся локально (только в пределах зоны динамического влияния внутриплитного Восточно-Анатолийского разлома), реализовалось вследствие приложения весьма значительных по величине растягивающих напряжений, что обусловило «взрывной», катастрофический по интенсивности всплеск сейсмической активности в регионе.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В процессе макросейсмического обследования последствий крымского землетрясения 27 февраля 2023 года было опрошено более 200 респондентов в 10 населенных пунктах Южного берега Крыма: от пгт. Изобильное на северо-востоке

до г. Ялты — на западном фланге. Обработка макросейсмических данных проводилась в соответствии со шкалой MMSK-84. В процессе обработки оценивалась интенсивности сотрясений в каждой конкретной точке изучаемой территории в соответствии с градациями макросейсмической шкалы, построены карты фактов по населенным пунктам и сводная карта-схема распределения максимальной интенсивности сотрясений в пределах исследуемой территории. Согласно данным опросов, максимальная (до 3-х баллов) интенсивность сотрясений была отмечена несколькими респондентами в г. Ялта и пгт. Гурзуф. В Алуште, Малом Маяке и Массандре по нескольким опросам максимальная интенсивность сотрясений оценивается в 2–3 балла. В ряде населенных пунктов – в пос. Изобильное, Партенит, Васильевка и Никита, признаков проявления землетрясения (возможно, по причине немногочисленности данных) выявлено не было.

Землетрясение 27.02.2023 г., которое ощущалось жителями некоторых населенных пунктов Крыма, произошло в период реализации катастрофических событий и высокой сейсмической активности в относительной близости от территории Крымского полуострова — в пределах Турции и пограничных с ней районов Сирии. Анализ сейсмической обстановки в Крымско-Черноморском регионе за этот период показал, что катастрофический сценарий развития сейсмического процесса в Малой Азии не спровоцировал аномального повышения активности сейсмогенных зон, представляющих угрозу для населения Крыма, поскольку область разрядки тектонических напряжений в процессе турецко-сирийских землетрясений была ограничена исключительно зоной динамического влияния Восточно-Анатолийского разлома. Соответственно, нет оснований полагать, что и возникновение землетрясения 27.02.2023 г. было обусловлено смещением ареала высокой сейсмичности на сопредельные с Турцией территории.

**Благодарности.** Авторы глубоко признательны доктору физико-математических наук Б. Г. Пустовитенко и доктору геолого-минералогических наук Ю. М. Вольфману за конструктивные замечания, советы и рекомендации, высказанные ими в процессе подготовки данной статьи.

#### Список литературы

1. Вольфман Ю. М., Колесникова Е. Я. Сейсмологические индикаторы геодинамических обстановок формирования землетрясений на территории Турции в 2023 году // Геология и геофизика Юга России. Том 13. №3. 2023. С. 19–32. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.80.002.
2. Ершов И. А., Шебалин Н. В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов. Прогноз сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. М.: Наука, 1984. С.78–96.
3. Князева В. С. Макросейсмическое обследование турецких землетрясений 17 августа и 12 ноября 1999 года на территории Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1999 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2001. С. 63–70.
4. Князева В. С., Скляр А. А. Макросейсмические данные об Алуштинском землетрясении 13 мая 2016 г. // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология // 2017. Том 3(69). № 4. С. 156–162.
5. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.



6. Сайт Гарвардского университета. Режим доступа: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>. (дата обращения: 10.04.2023)
7. Сайт Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра. Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org>. (дата обращения: 10.04.2023)
8. Сайт ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН». Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru>. (дата обращения: 10.02.2023)

**RESULTS OF MACROSEISMIC SURVEY CONSEQUENCES  
OF THE CRIMEA EARTHQUAKE on February 27, 2023**

*Kolesnikova E. Ya.<sup>1</sup>, Ostanin A. M.<sup>2</sup>, Bondar M. N.<sup>3</sup>, Bushmakina G. N.<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Institute of seismology and geodynamics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol,  
Russian Federation*

*E-mail: geolog.key@mail.ru*

On February 27, 2023, an earthquake with magnitude  $MSH=3.5$  ( $K_P=11.1$ ) and hypocenter coordinates:  $\varphi=44.53^\circ$ ,  $\lambda=34.45^\circ$ ,  $h=28$  km occurred near Crimea.

The purpose of the research was to obtain the most reliable data on the boundaries of manifestation and intensity of the macroseismic effect from an earthquake in settlements of the Southern coast of Crimea, located in the epicentral region of this earthquake.

The collection of macroseismic data was carried out on March 9 and 10, 2023 by employees of the Institute of Seismology and geodynamics (a structural unit of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University).

The research was covered 10 settlements of the Southern coast of Crimea and adjacent territories: village Izobilnoe in the northeast to the city of Yalta – on the western flank.

As a result, more than 200 respondents were interviewed about this earthquake. Data processing was carried out in accordance with the macro-seismic scale MMSC-84.

According to survey data, the maximum (up to 3 *points*) intensity of seismic shaking was noted by several respondents in the city of Yalta and the village Gurzuf. In Alushta, Maly Mayak and Massandra the maximum intensity of seismic shaking is estimated at 2–3 *points*. In a number of settlements - in the villages of Izobilnoye, Partenit, Vasilievka and Nikita, no signs of an earthquake were found. Based on the results of a survey of respondents in each of the surveyed settlements, maps of the distribution of shaking intensity in *points* were constructed. A summary map-scheme of the intensity distribution (according to maximum values) of shaking within the study area was constructed.

A comparative description of the last earthquakes felt on the southern coast of Crimea on May 13, 2016 and February 27, 2023 and their consequences is given. Both of these earthquakes did not pose any real danger to the population and infrastructure of nearby settlements. However, they once again served as a reminder that the Southern coast and other territories of the Crimean peninsula belong to very earthquake-prone regions.

The earthquake of 02.27.2023 occurred during a period of high seismic activity in Turkey, after the catastrophic events of 02.06/2023. However, an analysis of the seismic situation in the Crimean-Black Sea region during this period showed that the catastrophic scenario for the development of the seismic process in Asia Minor did not provoke an abnormal increase in the activity of seismogenic zones that pose a threat to the population of Crimea.

### References

1. Vol'fman Yu. M., Kolesnikova E. Ya. Seismologicheskie indikatory geodinamicheskikh obstanovok formirovaniya zemletryasenij na territorii Turcii v 2023 godu (Seismological indicators of geodynamic conditions for the formation of earthquakes in Turkey in 2023) // *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2023, v. 13, nn. 3, pp. 19–32. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.80.002 (in Russian).
2. Ershov I. A., Shebalin N. V. Problema konstrukcii shkaly intensivnosti zemletryasenij s pozicij seismologov. Prognoz seismicheskikh vozdeystvij (The problem of designing an earthquake intensity scale from the perspective of seismologists. Forecast of seismic impacts) // *Voprosy inzhenernoj seismologii*. Vyp. 25. M.: Nauka, 1984, pp.78–96 (in Russian).
3. Knyazeva V. S. Makrosejsmicheskoe obsledovanie tureckih zemletryasenij 17 avgusta i 12 noyabrya 1999 goda na territorii Kryma (Macroseismic survey of Turkish earthquakes on August 17 and November 12, 1999 in Crimea) // *Seismologicheskij byulleten' Ukrainy za 1999 god. Sevastopol': NPC «EKOSI-Gidrofizika»*, 2001, pp. 63–70 (in Russian).
4. Knyazeva V. S., Sklyar A. A. Makrosejsmicheskie dannye ob Alushtinskom zemletryasении 13 maya 2016 g. (Macroseismic data on the Alushta earthquake of May 13, 2016) // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya* // 2017, Vol. 3(69), nn. 4, pp. 156–162 (in Russian).
5. Medvedev S. V., Shponhojer V., Karnik V. Shkala sejsmicheskoy intensivnosti MSK-64 (Seismic intensity scale MSK-64). M.: MGK AN SSSR, 1965. 11 p. (in Russian).
6. Sajt Garvardskogo universiteta.: [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>. (data obrashcheniya: 10.04.2023)
7. Sajt Evropejsko-Sredizemnomorskogo seismologicheskogo centra. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.emsc-csem.org>. (data obrashcheniya: 10.04.2023)
18. Sajt FIC «Edinaya geofizicheskaya sluzhba RAN». [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.ceme.gsr.ru>. (data obrashcheniya: 10.02.2023)

*Поступила в редакцию 26.10.2023 г.*

УДК 550.343

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Сухорученко С. К.<sup>1,2</sup>, Самсонов К. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», Симферополь, Российская Федерация.

<sup>2</sup>ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Российская Федерация.

E-mail: <sup>1</sup>sergeyskons@gmail.com

Дано описание всех влияющих факторов вторичной сейсмической опасности выявленных в процессе инженерно-геологических исследований города Судак, за более чем 60-ти летний цикл проведения данных работ. Описаны инженерно-геологические условия города Судака. Созданы тематические карты. Приведена методика вычисления интегральной сейсмической опасности территории. Сделана итоговая карта ранжирования территории по степени сейсмического риска с учётом геологических данных и проведённых инженерно-геофизических работ по сейсмомикрорайонированию. По результатам расчётов, в городе Судаке на 37% территории установлен наивысший и высокий сейсмический риск.

**Ключевые слова:** город Судак, сейсмический риск, сейсмическая опасность.

### ВВЕДЕНИЕ

Город Судак является одним из наиболее значимых курортных городов Юго-Восточного Крыма. Сам город привлекает туристов не только своим морским побережьем, но и достаточно значимыми в мировой культуре археологическими памятниками, к которым относятся Генуэзская (Судакская) крепость, Лютеранская кирха, монастыри на мысе Димитраки и горе Перчем [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Территория города Судака находится в достаточно сложных геологических условиях. Из коренных пород развиты две свиты: Судакская (средний и верхний келовей – нижний оксфорд) и Манджилская (средний и верхний оксфорд — нижний кимеридж) [7, 8, 9], в каждой выделяются по две подсвиты верхняя и нижняя. Подсвиты разделяются по литологическим разновидностям. В глинах зачастую имеются различные прослои и линзы, к которым относятся скальные и полускальные конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, обломочные известняки, встречаются конкреции и прослои сидеритов.

Из четвертичных отложений преобладающими типами являются — аллювиальные (4 террасы — от среднего неоплейстоцена до голоцена), сложного генезиса (5 денудационных уровня от нижнего неоплейстоцена до голоцена), морские и техногенные. Наличие различных по высоте террас придаёт городу Судаку, своеобразный уступчатый характер рельефа. Литологический состав четвертичных отложений представлен песчаными, гравийно-галечниковыми, дресвяно-щебенистыми, суглинистыми и глинистыми грунтами.

В 2001 году Крымским экспертным советом по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений (ныне Государственное автономное учреждение «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» — далее ГАУ «КРЦ») создана

карта сейсмического микрорайонирования г. Судака, масштаб 1:10 000, утверждённая министром архитектуры и строительной политики АР Крым [10].

*Целью работы* является оценка сейсмического риска города Судака, на основе решения следующих задач:

— анализ имеющихся данных по инженерно-геологическим и инженерно-геофизическим работам, выполненным на территории города Судака ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и ГАУ «КРЦ»;

— создание различных тематических карт по распределению опасных геологических процессов;

— расчёт суммарного сейсмического риска в программной среде «МатЛаб» для города Судака.

## 1. МЕТОДИКА РАБОТЫ

Методически работа продолжает наработки по исследованию интегральной сейсмической опасности, применённой ранее для Республики Молдова [11], Республики Крым и городов Симферополя и Ялты [12, 13, 14, 15, 16].

Разработка методики не была каким-то монолитным решением — она претерпела в процессе работы несколько подходов к решению поставленной задачи по вычислению сейсмического риска.

В работах [14, 16] посвящённых данной теме разрабатывался подход, в котором определение основных расчётных элементов — первичной сейсмической опасности (карты общего сейсмического районирования, категория грунтов по сейсмическим свойствам, крутизна рельефа и обводнёность горных пород) и вторичной (оползней, селей, карста, тиксотропии, просадки, набухания, грязевого вулканизма), уязвимость зданий, социальный и экономический фактор оценивались в ячейках по конволюционной формуле.

По результатам данного подхода в каждой ячейке (со стороной 20 на 20 км для Республики Крым) рассматривались уровни опасности: низкий (ограничен пороговой изолинией 0.05), умеренный (0.05–0.25), повышенный (0.25–0.50) и высокий (более 0.50). Большая часть Республики Крым расположена по результатам исследования в зоне повышенного и высокого сейсмического риска.

В работе [14] приводится расчёт интегрального сейсмического риска для города Симферополя разделённого на 98 ячеек (со стороной ячейки 1 на 1 км). По результатам анализа в городе Симферополе более 99% относится к повышенному и высокому уровню сейсмической опасности.

Следующим этапом в понимании сейсмического риска Республики Крым было переосмысление подхода к оценке, что отображено в работе [15]. В основу была положена большая часть наработок предыдущих работ [14, 16], кроме карты ОСР-А, которую заменили на карту 90-процентной вероятности не превышения сейсмических воздействий в пиковых ускорениях (ОСР-2004-Аг) [15].

Учитываемые факторы разделены на две группы. Первая группа факторов — сейсмическая опасность, категория грунтов по сейсмическим свойствам, рельеф, уязвимость строений, социальный фактор, экономический фактор — состоит из

четырёх ступеней оценки — 1, 2, 3, 4. Вторая группа факторов имела пятиступенчатую градацию — 0, 1, 2, 3, 4 — где предусматривается отсутствие опасного процесса, к ним относятся: обводнённость, оползни, тиксотропия, грязевой вулканизм, карст, сели, просадочность, набухание.

Величина сейсмического риска ( $R$ ) стала иметь пять категорий — допустимый (минимальный) (величина риска  $R < 0.16$ ), низкий ( $0.16 < R \leq 0.32$ ), средний ( $0.32 < R \leq 0.48$ ), высокий ( $0.48 < R < 0.64$ ) и максимальный ( $R \geq 0.64$ ) [15].

Трудности, с которыми столкнулись авторы, заключалась в невозможности получения более или менее достоверной информации о плотности населения в населённых пунктах, сложности оценки конструктивных особенностей зданий и сооружений и отсутствии объективной информации по экономике регионов Крыма. В дальнейшем исследования сейсмического риска сосредоточились на более детальном изучении всего многообразия факторов первичной и вторичной сейсмической опасности в отдельных городах Крыма – Симферополе и Ялте [12, 13].

С 2021 года в программной среде «МатЛаб» в ГАУ «КРЦ» создан вариант ввода данных по выявленным опасным геологическим процессам в каждом отдельном городе Республики Крым, согласно более чем 60-летнего периода инженерно-геологических исследований ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ».

Программа имеет 11 основных параметров, которые введены в корневой каталог, к ним относятся:

1) категория грунтов по сейсмическим свойствам — I, II, III и IV категории, согласно пункту 4.8 таблицы 4.1 СП 14.13330.2018 [17];

2) крутизна земной поверхности (больше или меньше 15 *градусов*);

3) обводнённость территории (распространение подземных вод на глубинах: 0–2; 2–5; 5–10 и более 10 м или отсутствие подземных вод до глубины 30 м);

4) установленные зоны тектонических нарушений по результатам геологических работ и съёмки (отсутствие или площадное распространение);

5) оползни (отсутствие оползней, слабая – характеризует территории, где распространены древние стабильные оползни, средняя – где присутствуют временно-стабильные или частично активные оползни и сильная – постоянно активные оползни);

6) сели и паводки (отсутствие или наличие возможного прохождения в долинах рек, балок и оврагов);

7) просадочность грунтов (непросадочные, слабопросадочные, среднепросадочные, сильнопросадочные грунты);

8) набухание грунтов (ненабухающие, слабонабухающие, средненабухающие и сильнонабухающие грунты);

9) тиксотропия грунтов – это наличие мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции, согласно пункту 6.14.4 СП 22.13330.2016 [18], а также, когда отношение скоростей продольных и поперечных волн больше 3.5 в соответствии с пунктом 4.8 таблицы 4.1 СП 14.13330.2018 [17]. Согласно проведенным многолетним исследованиям ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», к слаботиксотропным грунтам относятся глинистые и карбонатно-глинистые грунты с показателем текучести от 0.5 до 1.0 и при

коэффициенте пористости больше 1.000; к среднетексотропным — грунты с показателем текучести от 0.5 до 1.0 и коэффициенте пористости больше 1.200 и к сильнотексотропным – грунты, у которых показатель текучести более 1.0 и коэффициент пористости больше 1.500 [13];

10) грязевой вулканизм (отсутствие или наличие);

11) карст (отсутствие или наличие).

Самым сложным и дискуссионным остаётся вопрос принятия весовых коэффициентов того или иного компонента из корневого каталога. Согласно имеющимся данным для каждого из городов Крыма можно выделить несколько факторов, которые будут наиболее сильно влиять на строительство и освоение территории. Например, в городе Ялте — оползни, для города Симферополя – оползни и набухание грунтов [12, 13]. Поэтому было принято решение, что для Республики Крым в целом и для каждого конкретного города будут «усиливаться» в весовом отношении несколько параметров, которые проявились максимально негативно на данной территории. Исходя из этого, методически весовые коэффициенты для разных параметров в отдельно взятых городах Республики Крым будут усилены по некоторым параметрам, а некоторые останутся одинаковыми (табл. 1).

Не стал исключением и город Судак, для которого были определены свои весовые коэффициенты опасных процессов. Главными неблагоприятными инженерно-геологическими процессами являются: развитие подтопления, просадочность грунтов и прохождение селевых потоков, поэтому данные параметры «усилены» в весовом отношении, по сравнению с городами Симферополь и Ялта (табл. 2).

Для понимания, с какими сейсмогенерирующими структурами, связаны возможные очаги землетрясений вблизи города Судака, была проанализирована информация о данных структурах Крымско-Черноморского региона.

Таблица 1.

Весовые коэффициенты использованные для Республики Крым и городов Симферополь и Ялта по [11, 12, 15]

Факторы риска	Вес			Градации		
	РК	Симферополь	Ялта	РК	Симферополь	Ялта
Сейсмическая опасность (по карте ОСР-А, СП14.13330.2018)	-	-	60	-	-	1,2,3,4
Сейсмическая опасность (по карте ОСР в пиковых ускорениях)	60	60	-	1, 2, 3, 4	1,2,3,4	-
Особенности горных пород в разрезе до 30м	20	40	40	1, 2, 3, 4	-1,0,1,2	-1,0,1,2
Рельеф (крутизна поверхности земли)	10	20	20	1, 2, 3, 4	0,1,2,3	0,1,2,3
Обводнённость	20	15	15	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4
Тектонические нарушения	-	10	10	-	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 1.

Оползни	15	15	40	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4
Сели	5	–	5	0,1,2,3,4	–	0,1,2,3,4
Просадочность	–	5	–	–	0,1,2,3,4	–
Набухание	–	10	–	–	0,1,2,3,4	–
Тиксотропия	5	5	–	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4	–
Грязевой вулканизм	10	–	–	0,1,2,3,4	–	–
Карст	5	5	–	0,1,2,3,4	0,1,2,3,4	–

Из работ по общему сейсмическому районированию Крыма [19], сейсмомикрорайонированию города Судак [10] и исследованию деформаций стен Судакской крепости [20] установлено, что наиболее опасные очаги землетрясений могут возникнуть в Южнобережной, Молбайской и Южно-Азовской сейсмогенерирующих структурах (рис. 1) [19, 20].

При составлении карты сейсмомикрорайонирования города Судак [10] применялся метод регистрации микросейсм (исследования проведены в 22 пунктах), на основе чего были выделены три типа участков с различными приращениями сейсмической интенсивности по грунтовым условиям (от 0 до +1 балла). В дальнейшем ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» проводил инженерно-геофизические работы по сейсмическому микрорайонированию на отдельных объектах в городе Судак методом преломлённых волн. Всего было проведено 31 исследование по приращению сейсмичности.

Таблица 2.

Весовые коэффициенты для определения сейсмического риска для г. Судак

№ п/п	Факторы риска	Вес	Градации	Максимально-возможное,
Первичные факторы опасности				
1	Сейсмическая опасность (по карте ОСР-А, СП 14.13330.2018, сейсмического районирования)	60	1, 2, 3, 4	240
2	Особенности горных пород в разрезе до 30м	40	-1, 0, 1, 2	80
3	Рельеф (крутизна поверхности земли)	20	0, 3	60
4	Обводнённость	20	0, 1, 2, 3, 4	80
Вторичная геологическая опасность				
5	Тектонические нарушения	10	0, 4	40
6	Сели	10	0, 4	40
7	Просадочные грунты	20	0, 2, 3, 4	80
8	Набухающие грунты	10	0, 2, 3, 4	40

Примечание: в пункте 2 значение «-1» — I категория грунтов по сейсмическим свойствам, значение «0» — II категория, значение «1» — III категория, значение «2» — IV категория. в пунктах 3, 4, 5, 6, 7, 8 — значение «0» — отсутствие процесса; значения «1», «2», «3» и «4» — количественные значения от низкого до максимального.

Основным влияющим фактором в геологической истории плейстоцена является климатический фактор — чередование ледниковых и межледниковых эпох и

поэтому, на наш взгляд, одним из не решённых вопросов является возраст четвертичных террасовых и денудационных уровней в городе Судаке.

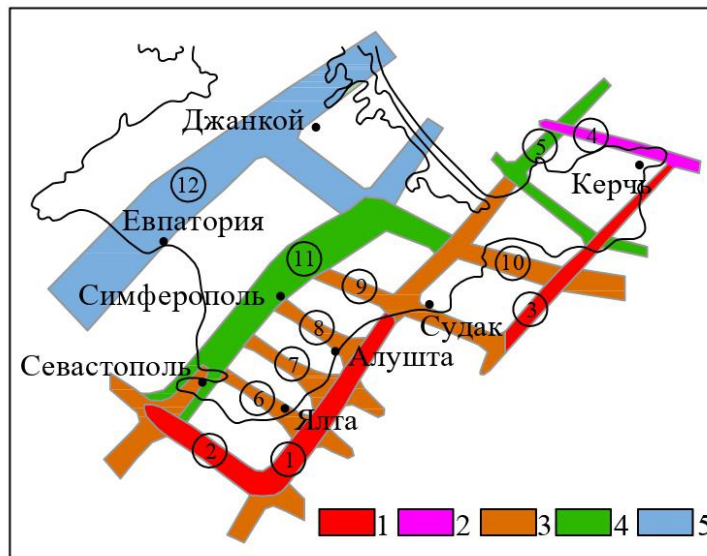


Рис. 1. Карта-схема сейсмогенерирующих структур Крымско-Черноморского региона по [19].

Максимальная магнитуда: 1 — 7; 2 — 6.5; 3 — 6.0; 4 — 5.0; 5 — 4.0. Цифры в кружках сейсмогенерирующие структуры: 1 — Южнобережная; 2 — Одесско-Синопская; 3 — Правдинская; 4 — Темрюкская; 5 — Южно-Азовская; 6 — Чернореченская; 7 — Ялтинская; 8 — Альминская; 9 — Молбайская; 10 — Крымско-Кавказская; 11 — Крымская; 12 — Донузлавская.

Как было замечено авторами статьи [21], отсутствует взаимная увязка континентальных и морских отложений и поэтому остаются вопросы – соответствует ли истине принятая на современном этапе парадигма, что чем выше гипсометрический террасовый уровень, тем он древнее, и наоборот, чем ниже, тем он моложе?

В таблице 3 приведено сопоставление региональных схем континентальных и морских отложений Крымского полуострова и прилегающего шельфа на современном этапе [7, 21, 22, 23]. За основу, колебания уровня Чёрного моря, мы приняли работу П. В. Фёдорова [22], из которой видно, что образование таких аллювиальных террас, как II, V, VIII, IX и X, практически невозможно, из-за того, что уровень Чёрного моря был на отметках от минус 20 до минус 170 м, что в конечном итоге, приводило к врезанию эрозионных форм, а не к аккумуляции снесённого материала в виде террасовых аллювиальных уровней.

При этом в районе города Судак II надпойменная терраса хорошо выражена, особенно с правого борта рек Суук-Су и Карагач и практически отсутствуют так называемые континентальные террасы «делювиально-пролювиальных» суглинков.



## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

В городе Судаке не выделяется III аллювиальная терраса, но широко развиты «судакские» делювиально-пролювиальные суглинки на высотах от 10 до 30 м. Самыми древними аллювиальными отложениями считается IV терраса (абсолютные отметки от 35 до 50 м, гора Фирейка), соотносимая, с «манджильскими» суглинками IV денудационного уровня [23, 24], распространёнными на отметках от 50 до 140 м.

Таблица 3.

Сопоставление общей стратиграфической шкалы с региональными шкалами  
континентального и морского ряда отложений по [7, 21, 22, 23]

Международная стратиграфическая шкала			Региональные шкалы	
Отдел	Раздел	Возраст, тыс. лет	Континентальный ряд по [7, 21, 23]	Морской ряд по [21, 22]
Плейстоцен	Неоплейстоцен	11.784	Голоцен почва I н.т., пойма	Современный уровень Древнечерноморская трансгрессия уровень на -10 ÷ -20 м ниже современного
		22	Причерноморский Л, I н.т.	Новоэвксинская трансгрессия, стабилизация уровня на -40 ÷ -20 м
		29	Дофиновская ПП, II н.т.	
		50	Бугский Л, II н.т.	Посткарангатская регрессия максимум до -90 м
		57	Витачевская ПП, III н.т. «Судакские суглинки»	Позднекарангатская (главная) фаза Карангатской трансгрессии до 5 ÷ 7 м
		71	Удайский Л, III н.т.	Регрессионная фаза Карангатской трансгрессии
		126	Прилуцкая ПП, IV н.т.	Раннекарангатская фаза Карангатской трансгрессии
		191	Тясминский Л, IV н.т.	Постузунарская регрессия до -25 ÷ -30 м
		243	Кайдакская ПП, V н.т.	
		301	Днепровский Л, V н.т.	
		427	Завадовская ПП, VI н.т.	
		474	Тилигульский Л, VI н.т. «Манджильские суглинки»	Узунарская трансгрессия до 35 ÷ 37 м (возможно 30 ÷ 35 м) Древнеэвксинская трансгрессия вторая до 40 ÷ 43 м (возможно 40 ÷ 45 м) Регрессия
		621	Лубенская ПП, VII н.т.	Палеоузунарская трансгрессия до 45 ÷ 50 м Дреанэвксинская трансгрессия первая до 60 м
		659	Сульский Л, VII н.т.	Постчаудинская (венедская) регрессия до -70 м

Продолжение таблицы 3.

		781	Мартоношская ПП, VIII н.т.	Суглинки «Больших столов»	Чаудинская трансгрессия	Эпичаудинская фаза – трансгрессия, до $-50 \div -60$ м
		1000	Приазовский Л, VIII н.т.			Главная чаудинская фаза – регрессия
		1220	Широкинская ПП			Ранняя чаудинская фаза трансгрессия до $-80 \div -95$ м
	Эоплейстоцен	1400	Ильичевский Л, IX н.т.		Дочудинская трансгрессия до $-120 \div -130$ м	
		1550	Крыжановская ПП X н.т.		Регрессия $-170$ м	
		1806	Березанский Л, X н.т.			

Примечание: Л – лёсс, ПП – палеопочва, I н.т.– номер надпойменной террасы

Нахождение различных морских террас на абсолютных отметках обусловлено влиянием двух основных факторов — колебанием уровня Мирового океана и тектоническим движением суши. Современные вертикальные тектонические движения на большей части Горного Крыма со среднего миоцена по четвертичный период имеют восходящее движение, но, тем не менее, нулевая линия на юге проходит по подножью Главной гряды Крымских гор и далее движения имеют отрицательные значения. Непосредственно для города Судака скорость опускания составляет на современном этапе минус  $0.6$  мм/год [7].

Скорее всего, вертикальные тектонические движения имеют сложный характер. Рассмотрим распространение морской карангатской террасы на протяжении всего Южного берега Крыма. Из табл. 3 уровень карангатского моря оценивается в плюс  $5-7$  м, при этом к этим абсолютным отметками приплюсовываются  $2-3$  м, учитывающие выброс обломочного материала при захлёстах волн, поэтому высота террасы, на которой она образовывалась, может быть принята от  $5$  до  $10$  м [25].

У мыса Меганом высота карангатской террасы находится на отметках от плюс  $8$  до  $14$  м [24], в городе Судаке от плюс  $12$  до  $15$  м [26], возле посёлка Новый свет от плюс  $4.5$  до  $10$  м [7] и в районе мыса Троицы (между посёлками Оползневое и Понизовка) – плюс  $13$  м [27]. В непосредственной близости от мыса Троицы в посёлке Понизовка при инженерно-геологических изысканиях в 1959–1961 годах данные отложения были вскрыты на абсолютных отметках от минус  $28.8$  до минус  $36.6$  м [28].

Из приведённых данных видно, что Южный берег Крыма, который испытывает слабые опускания, всё же имеет отдельные участки (блоки), в которых происходит подъём суши, как у всей Главной гряды Крымских гор.

В непосредственной близости от города Судака в районе хребта Эчки-Даг имеются такие же «континентальные» террасы от «манджильской» до голоценовой. По результатам археологических и геоморфологических исследований авторы работы [29] делают выводы, что более древние террасы содержат широкие по возрасту отложения на своих поверхностях (от древних, когда они образовались до современных) и при этом все верхние слои террас синхронны и самые молодые.

Остаётся нерешённый вопрос о генезисе «континентальных» террас. Большинство авторов определяют данные террасы как пролювиальные реже делювиально-пролювиальные [22, 23, 30]. С этим можно согласиться, если данные отложения, были представлены только глинами, суглинками, дресвяными и щебенистыми грунтами и которые содержат окатанную гальку и гравий местных юрских конгломератов, но в работах [24, 26, 31, 32] говорится о таких породах как — конгломераты и рыхлые (слабосцементированные) конгломераты, что ставит под сомнение пролювиальный и делювиально-пролювиальный генезис этих отложений. В статье Чепалыги А. Л. [33] отмечается, что все террасы имеют морское происхождение. Возможно, по нашему мнению, что в пролювиальных и делювиально-пролювиальных континентальных террасах содержатся прослой и линзы морских или аллювиальных конгломератов, что генетически более правильно. Данное утверждение может быть распространено, возможно, и на IV аллювиальную террасу на горе Фирейка (рис. 2), хотя они могут быть и аллювиального происхождения. Обращает внимание на себя то, что данные прослой конгломератов на горе Фирейка и возле дома отдыха «Судак» [31], находятся на приблизительно одной абсолютной отметке более 30 м, но относятся к разным грунтам по генезису. Авторы данной статьи склоны всё же считать, что данные террасы образованы континентальными процессами и, вероятнее всего — пролювием, но со встроенными морскими или аллювиальными отложениями, поэтому террасы будут в дальнейшем называться — террасы сложного генезиса.



Рис. 2. Конгломераты среди аллювиальных отложений IV террасы горы Фирейки (фото автора 2005 г.).

Как видно имеются проблемы в интерпретации и расположении тех или иных террасовых (денудационных) уровней и генезисе. Поэтому авторами принята своя трактовка террасовых уровней, опираясь на ранее выполненные работы [7, 22, 23, 24, 25].

Изучено 220 фондовых инженерно-геологических отчётов хранящихся в фондах ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», за период с 1962 по 2022 гг. Проанализирован материал по 1907 скважинам и шурфам, пройденным до глубин от 0.4 до 30 м (16408 погонных метров бурения и шурфования).

## 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГРУНТОВ ГОРОДА СУДАКА

Самыми древними породами города Судак являются отложения судакской свиты (средний и верхний келловей — нижний оксфорд), в которой выделяется нижняя и верхняя подсвиты. Нижняя подсвита относится к среднему и верхнему келловею, верхняя к нижнему оксфорду (рис. 3) [7, 34].

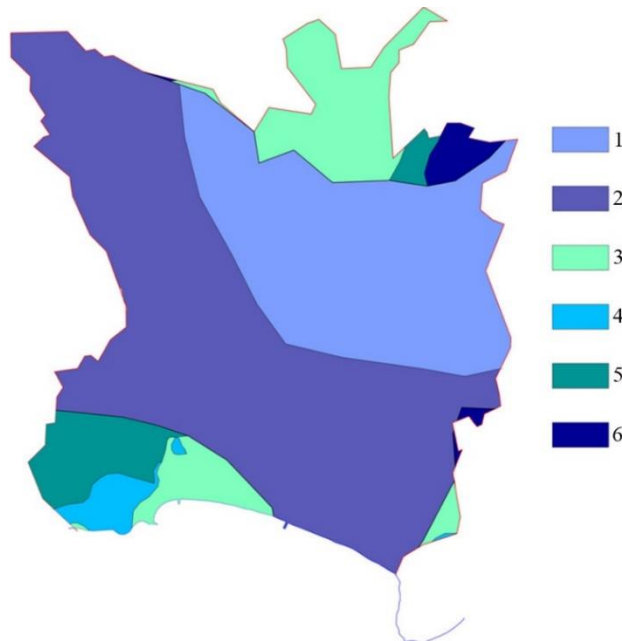


Рис. 3. Геологическая схема города Судак по [7, 34].

1 — манджильская свита, верхняя подсвита — глины с конкрециями сидерита и прослоями песчаника; 2 — манджильская свита, нижняя подсвита — глины с линзами конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов и с прослоями обломочного и органогенного известняка и конкрециями сидеритов; 3 — судакская свита, верхняя подсвита — глины с прослоями песчаников, алевролитов, сидеритов и конкрециями сидеритов; 4 — судакская свита, верхняя подсвита — известняки рифовые и биогермные; 5 — судакская свита, нижняя подсвита — глины с преобладанием линз и прослоев песчаников и алевролитов; 6 — судакская свита, нижняя подсвита глины с преобладанием линз и прослоев конгломератов, гравелитов, песчаников и реже песчаников.

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Нижняя подсвита судакской свиты представлена по инженерно-геологическому описанию глинами аргиллитоподобными светло-серыми, серыми, синевато-серыми, тёмно-серыми, буровато-серыми, коричнево-серыми, желтовато-серыми, бурыми, синевато-чёрными, чёрными, с прослоями и линзами скальных и полускальных песчаников, алевролитов, конгломератов и гравелитов.

Физико-механические свойства нижней подсвиты судакской свиты, охарактеризованы по 12 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (98 определений) и реже глины (1) и супеси (1) (табл. 4).

Верхняя подсвита судакской свиты представлена глинами аргиллитоподобными и известняками рифовыми и биогермными. Глины бурые, серовато-бурые, буровато-серые, зеленовато-бурые, зеленовато-серые, серые, синевато-серые, тёмно-серые, чёрные с прослоями и линзами скальных и полускальных песчаников, алевролитов, сидеритов с включением конкреций сферосидеритов. Известняки скальные, прочные, трещиноватые, перекристаллизованные светло-серые, серые.

Таблица 4.

Физико-механические свойства глинистых грунтов нижней подсвиты судакской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Естественная влажность, <i>дол. ед.</i>	56	0.073 ÷ 0.230	0.129
Число пластичности, <i>б.р.</i>	100	0.070 ÷ 0.174	0.116
Показатель текучести, <i>б.р.</i>	78	-1.12 ÷ 0.49	-0.37
Плотность, <i>г/см<sup>3</sup></i>	76	1.85 ÷ 2.24	2.06
Коэффициент пористости, <i>б.р.</i>	76	0.312 ÷ 0.742	0.504
Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности	26	14 ÷ 106	36
Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный	26	10 ÷ 85	33
Удельное сцепление, <i>кПа</i>	6	22 ÷ 59	31
Угол внутреннего трения, <i>градус</i>	6	15 ÷ 31	22

Физико-механические свойства верхней подсвиты судакской свиты, охарактеризованы по 21 фондовому отчёту ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (106 определений) и реже глины (3) (табл. 5).

Таблица 5.

Физико-механические и набухающие свойства глинистых грунтов верхней подсвиты судакской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Естественная влажность, <i>д. е.</i>	95	0.028 ÷ 0.248	0.134
Число пластичности, <i>б.р.</i>	109	0.077 ÷ 0.184	0.130
Показатель текучести, <i>б.р.</i>	90	-1.04 ÷ 0.39	-0.31
Плотность, <i>г/см<sup>3</sup></i>	95	1.92 ÷ 2.54	2.19
Коэффициент пористости, <i>б.р.</i>	95	0.143 ÷ 0.648	0.422
Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности	29	10 ÷ 75	28

Продолжительность таблицы 5.

Модуль деформации, МПа водонасыщенный	29	10÷75	26
Удельное сцепление, кПа	9	5÷53	22
Угол внутреннего трения, градус	9	11÷32	20
Относительное набухание, д. е.	3	0.06÷0.14	0,10
Давление набухания, МПа	3	0.04÷0.075	0.06
Влажность набухания, д. е.	3	0.190÷0.253	0.218
Относительная усадка по высоте, д. е.	3	0.030÷0.082	0.051
Относительная усадка по диаметру, д. е.	3	0.020÷0.034	0.025
Относительная усадка по объёму, д. е.	3	0.080÷0.144	0.101

Для глин верхней подсвиты проведены исследования набухающих свойств и характеризуют данные отложения как средненабухающие. Набухающие свойства судакской свиты в большей своей степени можно отнести за счёт содержания до 60% глинистых минералов группы гидрослюд [7].

Известняки верхней подсвиты охарактеризованы 3-мя определениями и характеризуют их как скальные прочные грунты (табл. 6).

Таблица 6.

Физико-прочностные свойства известняков верхней подсвиты судакской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3	2.61÷2.679	2.639
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	3	66.1÷94,6	76.4

Манджильская свита представлена двумя подсвитами – нижняя относится к среднему и верхнему оксфорду, а верхняя к нижнему кимериджу (см. рис. 3).

Нижняя подсвита, представлена глинами с линзами конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов и с прослоями обломочного и органогенного известняка и конкрециями сидеритов. Глины аргиллитоподобные бурые, серовато-бурые, зеленовато-бурые, желтовато-серые, коричневатые-серые, синевато-серые, голубовато-серые, зеленовато-серые, оливково-серые, серые, тёмно-серые, серовато-чёрные, чёрные. Физико-механические свойства глин нижней подсвиты манджильской свиты, охарактеризованы по 78 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (399 определений) и реже глины (25) (табл. 7).

Таблица 7.

Физико-механические свойства суглинков и глин  
нижней подсвиты манджильской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Суглинки			
Естественная влажность, дол. ед.	219	0.022÷0.257	0.120
Число пластичности, б.р.	399	0.078÷0.164	0.124
Показатель текучести, б.р.	219	-1.42÷0.61	-0.41
Плотность, г/см <sup>3</sup>	290	1.61÷2.60	2.22

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 7.

Коэффициент пористости, <i>б.р.</i>	206	0.102÷1.065	0.451
Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности	85	15÷448	44
Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный	85	8÷448	39
Удельное сцепление, <i>кПа</i>	42	2÷48	21
Угол внутреннего трения, <i>градус</i>	42	8÷34	25
Глины			
Естественная влажность, <i>дол. ед.</i>	24	0.046÷0.275	0.164
Число пластичности, <i>б.р.</i>	25	0.171÷0.224	0.190
Показатель текучести, <i>б.р.</i>	24	-0.877÷0.326	-0.25
Плотность, <i>г/см<sup>3</sup></i>	24	1.98÷2.20	2.10
Коэффициент пористости, <i>б.р.</i>	24	0.397÷0.706	0.518
Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности	11	14÷51	23
Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный	11	14÷51	21
Удельное сцепление, <i>кПа</i>	3	21÷43	34
Угол внутреннего трения, <i>градус</i>	3	18÷32	26

Физико-механические свойства глин верхней подсвиты манджильской свиты, охарактеризованы по 21 фондовому отчёту ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (62 определения) и реже глины (3) (табл. 8).

Таблица 8.

Физико-механические свойства глинистых грунтов верхней подсвиты  
манджильской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Естественная влажность, <i>дол. ед.</i>	37	0.087÷0.147	0.123
Число пластичности, <i>б.р.</i>	65	0.080÷0.181	0.136
Показатель текучести, <i>б.р.</i>	37	-0.82÷0.19	-0.43
Плотность, <i>г/см<sup>3</sup></i>	46	1.87÷2.50	2.17
Коэффициент пористости, <i>б.р.</i>	37	0.250÷0.647	0.460
Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности	17	9÷71	36
Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный	17	8÷71	28
Удельное сцепление, <i>кПа</i>	6	5÷63	22
Угол внутреннего трения, <i>градус</i>	6	11÷37	23

Среди глин верхней и нижней подсвит манджильской свиты охарактеризованы следующие прослойки, такие как алевролиты, песчаники и конгломераты (табл. 9).

Схема четвертичных отложений составлена по [7, 34] с учётом анализа материалов 220 фондовых отчётов ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» (рис. 4).

Наиболее древними четвертичными отложениями являются грунты IV денудационного уровня сложного генезиса, которые начали формироваться в нижнеоплейстоценовое время (тилигульский климатолит) и, возможно, формировались всё среднеоплейстоценовое время и до начала верхнеоплейстоценового времени (до прилукского климатолита).

Таблица 9.

Физико-прочностные свойства прослоев алевролитов, песчаников и конгломератов манджильской свиты

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Алевролиты			
Плотность, $г/см^3$	95	2.06÷2.78	2.505
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	22	0.22÷3.625	2.189
Песчаники			
Плотность, $г/см^3$	38	2.31÷2.76	2.500
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	9	11.171÷22.914	19.193
Конгломераты			
Плотность, $г/см^3$	9	2.37÷2.55	2.452
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	5	14.27÷18.93	16.587

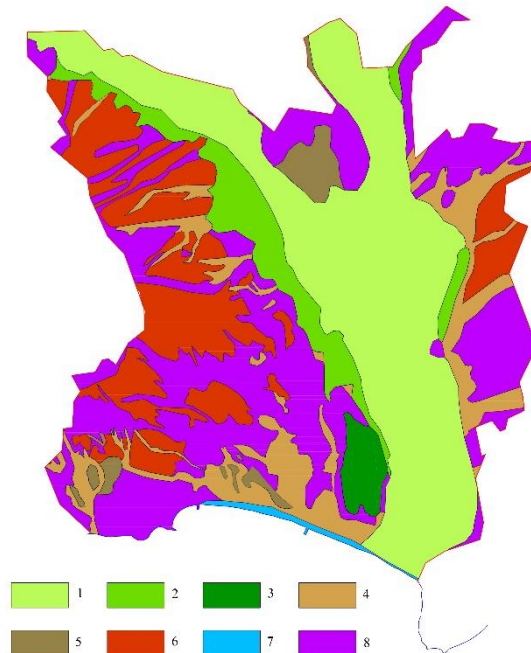


Рис. 4. Схема четвертичных отложений города Судак по [7, 34 с дополнениями].

Аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения: 1 – I террасы и поймы, верхний неоплейстоцен и голоцен; 2 – II террасы, верхний неоплейстоцен; 3 – IV террасы, средний и верхний неоплейстоцен; отложения сложного генезиса (преобладающие делювиальные, пролювиальные и морские): 4 – I денудационного уровня, верхний неоплейстоцен и голоцен; 5 – II и III денудационного уровня, верхний неоплейстоцен; 6 – IV денудационного уровня, нижний, средний и верхний неоплейстоцен; 7 – морские голоценовые отложения; 8 – элювиальные отложения.



## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Глинистые отложения IV денудационного уровня имеют цвет бурый, палевый, желтовато-бурый, желтовато-коричневый, красновато-коричневый, тёмно-бурый, тёмно-коричневый, буровато-серый, коричнево-серый, желтовато-серый, палево-серый, серый, светло-серый, тёмно-серый, зеленовато-серый.

В глинистых отложениях присутствуют включения дресвы, щебня, гравия, гальки осадочных пород (песчаника, известняка, аргиллита, алевролита, сидерита), иногда встречаются гнёзда карбонатных новообразований. Обломочные породы представлены в основном дресвяными и щебенистыми грунтами, из известняка, песчаника, аргиллита, алевролита, кварца и сидерита. Преобладают угловатые обломки, но встречаются и окатанные, что, скорее всего, связано с поступлением из юрских конгломератовых толщ. В данных отложениях встречены скальные гравелиты в виде слабосцементированных прослоев и линз.

По архивным данным (16 отчётов) глинисто-гравийные отложения характеризуются как суглинки (100 определений), гравийные грунты (41), галечниковые грунты (19), глины (3), супеси (3) (табл. 10). В 5 отчётах суглинки IV денудационного уровня обладали просадочными свойствами и характеризуют их, как грунты среднепросадочные согласно ГОСТ 25100-2020 [35] (см. табл. 10).

Таблица 10.

Физико-механические свойства глинистых и обломочных грунтов сложного генезиса IV денудационного уровня

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Суглинки, глины, супеси			
Естественная влажность, дол. ед.	79	0.070÷0.206	0.133
Число пластичности, б.р.	106	0.043÷0.180	0.115
Показатель текучести, б.р.	79	-0.98÷0.24	-0.34
Плотность, г/см <sup>3</sup>	79	1.59÷2.27	1.99
Коэффициент пористости, б.р.	79	0.317÷0.946	0.542
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	51	14÷52	29
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	45	9÷41	18
Удельное сцепление, кПа	19	13÷64	27
Угол внутреннего трения, градус	19	15÷31	26
Относительная просадочность при 0,3МПа	23	0.015÷0.090	0.043
Начальное просадочное давление, МПа	23	0.05÷0.39	0.13
Гравийный грунт			
Фракции более 2мм	41	52.7÷66.9	58.5
Фракции менее 2мм	41	33.1÷47.2	41.5
Число пластичности заполнителя, б.р.	41	0.043÷0.066	0.099
Галечниковый грунт			
Фракции более 2мм	19	61.5÷80.3	71.1
Фракции менее 2мм	19	19.7÷38.5	28.9
Число пластичности заполнителя, б.р.	19	песчаный /0.169	0.109

Аллювиальные отложения IV террасы изучались в районе горы Фирейки и они относятся к средне-верхнеоплейстоценовому времени. Преобладают галечниковые грунты с суглинистым коричневым, серовато-бурым, желтовато-серым, серым заполнителем, реже заполнитель песчаный и супесчаный. По 4 отчётам данные

отложения представлены галечниковыми грунтами (30 определений) (табл. 11) с линзами и прослоями гравийных грунтов (2), суглинков (3) и супесей (1).

Таблица 11.  
Физико-механические свойства грунтов аллювиального генезиса IV террасы

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Галечниковый грунт			
Фракции более 2мм	30	71.5÷93.8	79.5
Фракции менее 2мм	30	6.2÷28.5	20.5
Число пластичности заполнителя, б.р.	30	песчаный÷0.138	0.092

В самих галечниковых грунтах встречаются валуны до 3–6 м в диаметре. Литологически, в основном, преобладают местные осадочные породы — песчаники, известняки, кварциты, кварц, алевролиты и сидерит.

В городе Судаке отложения III денудационного уровня представлены грунтами сложного генезиса. По времени образования они относятся к верхнему неоплейстоцену витачевскому и удайскому климатолиту. Данные отложения изучены в 11 отчётах. Из 67 проб глинистых грунтов 65 проб относятся к суглинкам и 2 пробы к супеси (табл. 12). Цвет отложений красновато-бурый, бурый, тёмно-бурый, светло-бурый, жёлто-бурый, жёлто-серый, буро-серый, серый, зеленовато-бурый, зеленовато-серый, тёмно-серый. Грунты содержат дресву и щебень аргиллита, алевролита, песчаника, сидерита, известняка, кварца. В данных отложениях встречены слои и прослой мелкогалечниковых конгломератов, гравийных грунтов и пылеватых песков мощностью от 0.4 до 6.0 м. Конгломераты как скальные на песчано-известковистом цементе, так и слабосцементированные на известковистом цементе.

Таблица 12.  
Физико-механические свойства глинистых грунтов III денудационного уровня

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Естественная влажность, дол. ед.	64	0.048÷0.212	0.144
Число пластичности, б.р.	67	0.055÷0.170	0.111
Показатель текучести, б.р.	64	-1.78÷0.31	-0.27
Плотность, г/см <sup>3</sup>	61	1.80÷2.24	2.05
Коэффициент пористости, б.р.	61	0.389÷0.836	0.519
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	29	11÷52	33
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	16	7÷47	26
Удельное сцепление, кПа	6	13÷40	30
Угол внутреннего трения, градус	6	10÷19	13

В городе Судаке очень широко развита II аллювиальная терраса, чего не скажешь про отложения II денудационного уровня (отложения сложного генезиса), которые развиты очень эпизодически и только в западной части города.

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Аллювиальные отложения II надпойменной террасы изучены 18 отчётами и выявлены следующие глинистые грунты — суглинки (165 определений), глины (17) и супеси (10) (табл. 13).

Глинистые отложения имеют цвет светло-коричневый, коричневый, бурый, буро-зелёный, зеленовато-бурый, палево-жёлтый, серовато-жёлтый, серо-коричневый, желтовато-серый, буровато-серый, зеленовато-серый, серый, светло-серый, тёмно-серый. Среди суглинистых грунтов встречаются, как просадочные, так и набухающие разновидности и характеризуются данные как среднепросадочные и средненабухающие. В суглинисто-глинистых отложениях имеются включения гравия и гальки аргиллита, песчаника, алевролита, сидерита, известняка, а также присыпки, линзы, прослой среднезернистых и крупных песков. Редко встречаются гнезда карбонатных новообразований.

Обломочные аллювиальные отложения II надпойменной террасы представлены в основном гравийными грунтами (38 определений) (табл. 14), крупными песками (4) и галечниковыми грунтами (3). Обломки представлены гравием и галькой песчаника, аргиллита, алевролита, сидерита, известняка с различным заполнителем песчаным, супесчаным и суглинистым жёлто-серым, бурым. Прослой галечниковых грунтов имеют песчаный и суглинистый заполнитель от 19 до 34%.

Таблица 13.

Физико-механические свойства глинистых грунтов II аллювиальной террасы

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Суглинки, глины, супеси			
Естественная влажность, дол. ед.	172	0.070÷0.303	0.150
Число пластичности, б.р.	192	0.055÷0.203	0.111
Показатель текучести, б.р.	172	-1.53÷0.53	-0.29
Плотность, г/см <sup>3</sup>	172	1.55÷2.34	2.00
Коэффициент пористости, б.р.	172	0.378÷0.950	0.569
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	94	14÷53	29
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	57	6÷51	21
Удельное сцепление, кПа	29	5÷64	28
Угол внутреннего трения, градус	29	6÷33	21
Относительная просадочность при 0.3МПа	11	0.006÷0.078	0.031
Начальное просадочное давление, МПа	11	0.019÷0.365	0.166
Относительное набухание, б.ф.р.	3	0.055÷0.102	0.086
Давление набухания, МПа	3	0.03÷0.08	0.05

Таблица 14.

Физико-механические свойства гравийных грунтов II аллювиальной террасы

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Фракции более 2мм	38	50.4÷83.6	40.9
Фракции менее 2мм	38	16.4÷49.6	21.2
Естественная влажность, дол. ед.	12	0.027÷0.122	0.078
Число пластичности заполнителя, б.р.	38	Песчаный – 0.121	0.085
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7	2.24÷2.55	2.33

Отложения сложного генезиса II денудационного уровня изучены 1 отчётом и представлены суглинками (табл. 15).

Таблица 15.

Физико-механические свойства глинистых грунтов II денудационного уровня

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Суглинки, глины, супеси			
Естественная влажность, дол. ед.	6	0.075÷0.146	0.108
Число пластичности, б.р.	6	0.072÷0.104	0.084
Показатель текучести, б.р.	6	-0.36÷-0.05	-0.145
Плотность, г/см <sup>3</sup>	6	1.96÷2.17	2.10
Коэффициент пористости, б.р.	6	0.395÷0.489	0.433
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	5	12÷40	28
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	5	12÷40	28
Удельное сцепление, кПа	3	15÷38	27
Угол внутреннего трения, градус	3	15÷25	22

Физико-механические свойства аллювиальных отложений I террасы и поймы были изучены по 26 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и глинистые отложения представлены суглинками (546 определений), глинами (104), супесями (15) (табл. 16).

Таблица 16.

Физико-механические свойства глинистых грунтов I аллювиальной террасы и поймы

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Суглинки			
Естественная влажность, дол. ед.	507	0.063÷0.337	0.186
Число пластичности, б.р.	546	0.071÷0.169	0.122
Показатель текучести, б.р.	491	-1.19÷1.00	-0.03
Плотность, г/см <sup>3</sup>	491	1.58÷2.34	2.01
Коэффициент пористости, б.р.	491	0.179÷1.060	0.603
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	252	5÷60	26
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	132	4÷48	22
Удельное сцепление, кПа	99	3÷60	27
Угол внутреннего трения, градус	99	6÷31	21
Относительная просадочность при 0.3МПа	16	0.020÷0.089	0.052
Начальное просадочное давление, МПа	16	0.05÷0.32	0.094
Глины			
Естественная влажность, дол. ед.	102	0.110÷0.513	0.252
Число пластичности, б.р.	104	0.171÷0.269	0.198
Показатель текучести, б.р.	102	-0.54÷0.72	0.09
Плотность, г/см <sup>3</sup>	102	1.51÷2.13	1.94
Коэффициент пористости, б.р.	102	0.503÷1.353	0.760
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	47	5÷48	20
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	22	5÷48	20

**СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

Продолжение таблицы 16.

Супеси			
Естественная влажность, дол. ед.	10	0.060÷0.200	0.131
Число пластичности, б.р.	15	0.038÷0.069	0.055
Показатель текучести, б.р.	10	-0.826÷0.492	-0.28
Плотность, г/см <sup>3</sup>	10	1.60÷2.27	1.961
Коэффициент пористости, б.р.	10	0.284÷1.020	0.628
Модуль деформации, МПа при естественной влажности	2	22÷23	22
Модуль деформации, МПа водонасыщенный	2	13÷23	18
Удельное сцепление, кПа	1		38
Угол внутреннего трения, градус	1		22

Суглинки, глины и супеси имеют цвет отложений пёстроцветный (тёмно-бурый, с голубоватыми пятнами, тёмно-коричневый с голубоватыми разводами, голубовато-серый с охристыми пятнами), тёмно-коричневый, светло-бурый, бурый, желтовато-коричневый, буровато-серый, буровато-зелёный, серовато-коричневый, серовато-бурый, зеленовато-коричневый, оливково-коричневый, голубовато-серый, синевато-серый, зеленовато-серый, серый, тёмно-серый. В глинистых отложениях встречаются обломки осадочных пород (гравий, галька, валуны), а также прослои, линзы гравийных, галечниковых грунтов и песков и очень редко суглинистых текучих голубовато-серых илов, с обугленными остатками растений (содержание гумуса до 5%). На отдельных участках грунты проявляют просадочные свойства и характеризуются отложения как среднепросадочные.

Физические свойства обломочных грунтов аллювиальных отложений I террасы и поймы представлены гравийными грунтами (91 определения) (табл. 17), песками (32) (табл. 18) и галечниковыми грунтами (23) (см. табл. 17).

Таблица 17.

**Физико-механические свойства крупнообломочных грунтов  
I аллювиальной террасы и поймы**

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Гравийный грунт			
Фракции более 2мм	91	50÷74.1	59.3
Фракции менее 2мм	91	25.9÷50	40.7
Естественная влажность, дол. ед.	39	0.025÷0.173	0.094
Число пластичности заполнителя, б.р.	91	песчаный÷0.172	0.104
Плотность, г/см <sup>3</sup>	28	1.84÷2.55	2.22
Галечниковый грунт			
Фракции более 2мм	23	61.9÷82.9	70.7
Фракции менее 2мм	23	17.1÷38.1	29.3
Естественная влажность, дол. ед.	5	0.023÷0.091	0.066
Число пластичности заполнителя, б.р.	23	песчаный÷0.160	0.090
Плотность, г/см <sup>3</sup>	4	2.21÷2.36	2.28

Обломки, в основном, представлены осадочными породами, преимущественно песчаниками, известняками, аргиллитом, алевролитом, сидеритом, кварцем. Заполнитель от песчаного до глинистого. Из 32 определений песков 18 проб относятся к пескам средней крупности и по 7 проб – к гравелистым и к пылеватым пескам (см. табл. 18).

Таблица 18.

Физико-механические свойства песчаных грунтов I аллювиальной террасы и поймы

Физико-механические показатели	Количество определений	Значение показателей	
		диапазон	средние
Пески средней крупности			
Фракции более 0.25мм	18	51.1÷90.5	71
Естественная влажность, дол. ед.	18	0.124÷0.248	0.178
Коэффициент пористости, б.р.	18	0.345÷0.648	0.485
Плотность, г/см <sup>3</sup>	18	2.00÷2.30	2.13
Пески гравелистые			
Фракции более 2мм	7	27.7÷48.1	39.3
Пески пылеватые			
Фракции более 0.10мм	7	37.3÷67.6	47.3
Естественная влажность, дол. ед.	4	0.167÷0.210	0.190
Коэффициент пористости, б.р.	3	0.464÷0.620	0.516
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3	2.01÷2.16	2.10

Морские отложения описаны в 5 отчётах и представлены песками (преобладают крупные, но встречаются и мелкие и средней крупности). В песках присутствуют валуны, галька и щебень осадочных пород, в песках имеются линзы галечниковых грунтов. Цвет отложений тёмно-бурый, коричневато-зеленоватый и коричневато-бурый

Техногенные отложения присутствуют практически повсеместно и, как правило, представлены суглинками и щебенистыми грунтами. В районе исторической застройки возле Судакской крепости отмечаются культурные слои – суглинки серые, зеленовато-серые, серовато-бурые, с включением керамики, костей, углей, хорошо отёсанных обломков песчаника и конгломерата, иногда культурный слой представлен дресвяным грунтом песчаника и известняка. Мощность достигает 4.8 м.

### 3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРОДА СУДАКА

Для города Судак построены карты распространения четвертичных просадочных (рис. 5) и набухающих коренных грунтов (рис. 6).

При геологической, инженерно-геологической и гидрогеологической съёмке масштаба 1 : 50 000, выполненной в 1980 году объединением «КРЫМГЕОЛОГИЯ», закартированы три зоны тектонических нарушений – Уютненский взброс, Алчакский сбросо-сдвиг и Эчкидагский взброс, по которым породы более молодые (манджильской свиты) гипсометрически опущены ниже более древних (судакской свиты) [36] (рис. 7).



Рис. 5. Просадочные свойства четвертичных отложений города Судака  
1 — сильнопросадочные грунты; 2 — среднепросадочные; 3 — слабопросадочные; 4 — непросадочные.

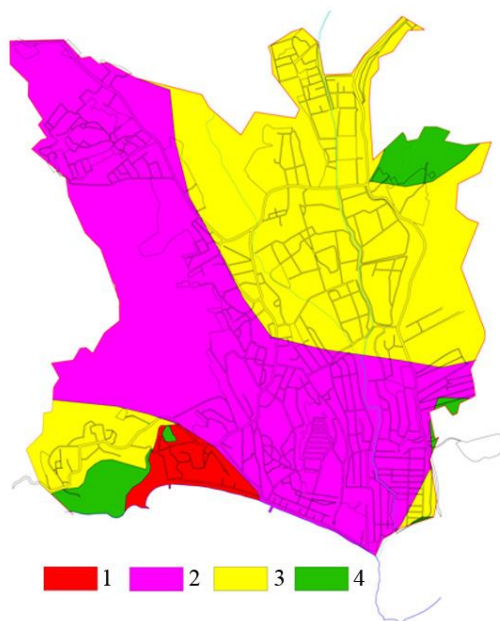


Рис. 6. Набухающие свойства коренных отложений города Судака  
1 — сильнонабухающие грунты; 2 — средненабухающие; 3 — слабонабухающие; 4 — ненабухающие.

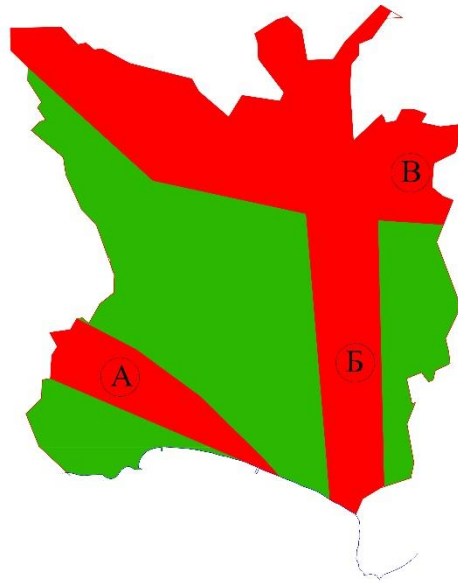


Рис. 7. Зоны тектонических нарушений г. Судака (красный цвет)  
В кружках: А — Уютненский взброс; Б — Алчакский сбросо-сдвиг; В — Эчкидагский взброс.

В процессе работы над инженерно-геологической информацией была создана карта распространения подземных вод в городе Судаке.

Непосредственно преобладают территории распространения подземных вод глубже 10 м (рис. 8). В основном это районы окраин города и высокие террасы (выше второго и третьего денудационного уровня). Второй категорией в городе Судаке являются территории, где подземные воды залегают на глубинах от 2 до 5 м – это, в основном, речные долины рек Суук-Су и Карагач. На третьем месте территории с залеганием подземных вод от 5 до 10 м – это территории находящиеся в долинах рек Суук-Су и Карагач. Подтопленные участки с глубиной залегания подземных вод до 2 м в основном отмечаются в поймах речных долин (Суук-Су, Карагач), оврагах и балках, где существует застройка и вблизи морского побережья.

Через территорию города Судака протекает селеопасная река Суук-Су и её приток Карагач. В наиболее изрезанной оврагами и балками западной части города возможны микросели (рис. 9).



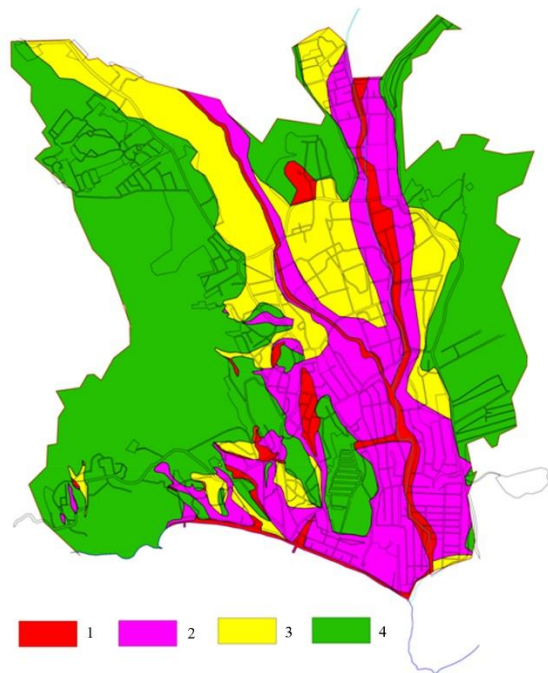


Рис. 8. Глубина залегания подземных вод в городе Судак: 1 — от 0 до 2 м; 2 — от 2 до 5 м; 3 — от 5 до 10 м; 4 — более 10 м.

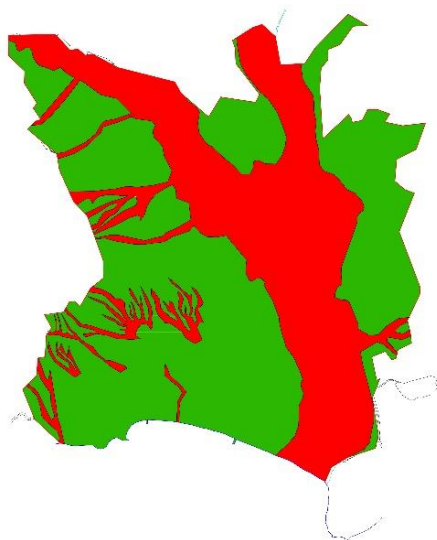


Рис. 9. Территория распространения селей и паводков на территории города Судак (красный цвет).

Для целей сейсмической опасности по картам масштаба 1:5000 построена карта углов наклона земной поверхности. Из-за преобладания террасовых уровней в городе Судак углы наклона менее 15 *градусов* земной поверхности преобладают, но из-за сильного расчленения бортов террас оврагами и балками, выходами скальных пород, засушливости климата встречаются и достаточно крутые склоны. Зачастую овраги и балки имеют углы наклона более 15 *градусов* и, в основном, это относится к западной части города Судака (рис. 10).

После обработки результатов инженерно-геологической информации выделены участки распространения грунтов по сейсмическим свойствам от I (скальные грунты — известняки Судакской свиты) до IV (территории распространения насыпных грунтов) (рис. 11).

Грунты I категории, в основном, распространены в южной части города, где возвышаются биогермные известняковые массивы гор Крепостной и Алчак. В восточной части это конгломераты и песчаники западных отрогов горы Манджил. Преобладающей категорией является II категория по сейсмическим свойствам. Грунты III категории по сейсмическим свойствам распространены в долинах рек Суук-Су и Карагач (см. таблицы 6 и 15). Грунты IV категории по сейсмическим свойствам распространены, в основном, там, где происходила засыпка оврагов и балок, связанных с вывозом грунта при строительстве общественных и курортных зданий, а также в районе Судакской крепости, так называемый «культурный слой».

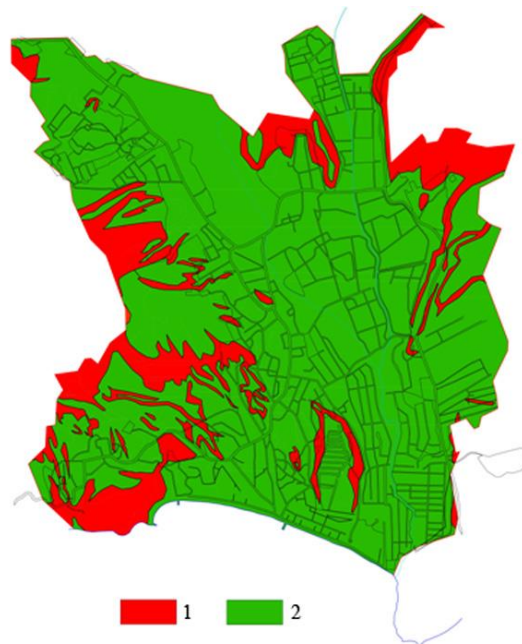


Рис. 10. Углы наклона земной поверхности в городе Судак: 1 — более 15 *градусов*; 2 — менее 15 *градусов*.

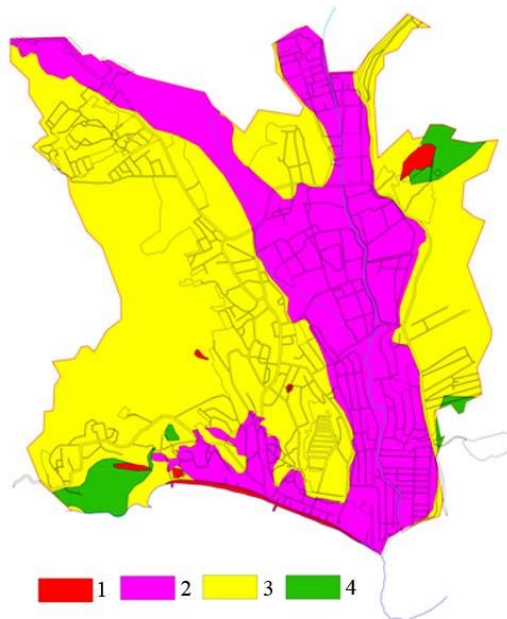


Рис. 11. Категории грунтов по сейсмическим свойствам: 1 — IV категория по сейсмическим свойствам; 2 — III категория по сейсмическим свойствам; 3 — II категория по сейсмическим свойствам; 4 — I категория по сейсмическим свойствам.

Начиная с 1975 года ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» выполнена 31 работа по сейсмомикрорайонированию под участки строительства, большинство работ (19 работ) (рис. 12) подтвердили нормативную сейсмичность для грунтов II категории в городе Судаке, 7 работ уменьшили балльность на один балл от нормативной, 4 работы не подтвердили приращение сейсмичности на 1 балл и одна работа выделила участок, где отмечено приращение на один балл выше нормативного – в районе дома отдыха «Судаке», в зоне Уютненского взброса.

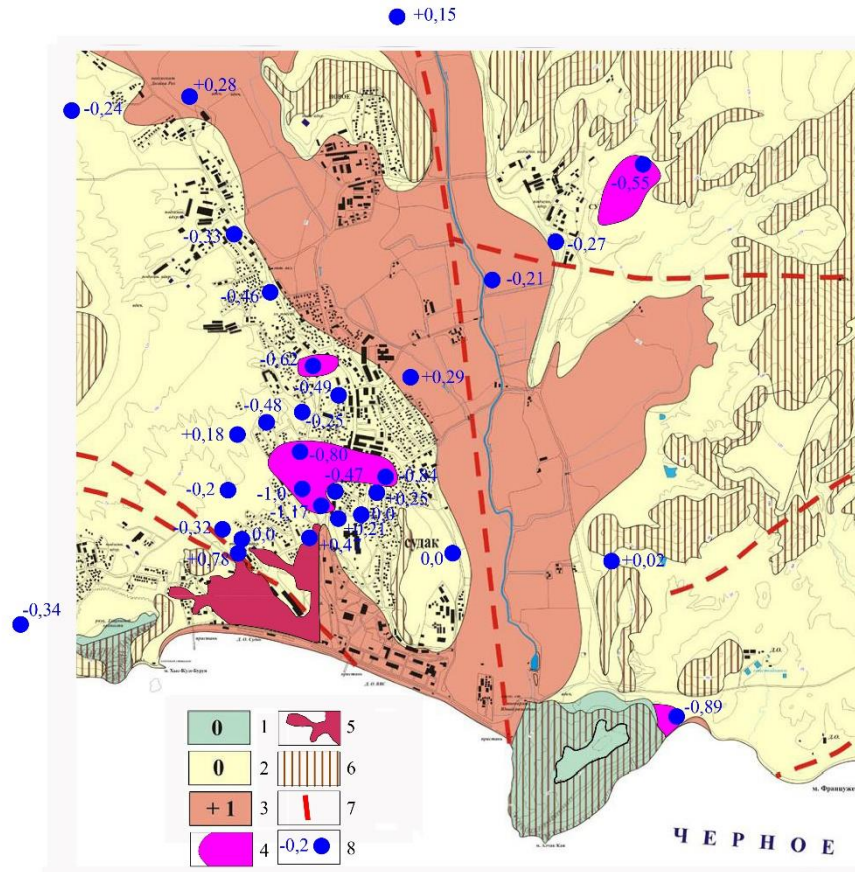


Рис.12. Карта сейсмомикрорайонирования города Судака [10] с дополнениями:

1—0 баллов. Выходы на дневную поверхность благоприятных в сейсмическом отношении грунтов I категории по сейсмическим свойствам, представленных верхнеюрскими известняками, конгломератами, песчаниками плотными, слоистыми и массивными. 2 — 0 баллов. Площади распространения средне-верхнеюрских глин, песчаников, глин, сидеритов. 3 — +1 балл. Площади распространения современных аллювиальных и пролювиальных отложений. 4 – -1 балл. Участки среди верхнеюрских глин с прослоями скальных алевролитов, песчаников. 5— +1 балл. Участок с развитием аллювиально-пролювиальных отложений. 6 — Склоны с углами наклона дневной поверхности более 15 *градусов*. 7— Зоны тектонических нарушений. 8— Пункты, где выполнено сейсмомикрорайонирование под новые площадки строительства (цифра — максимальное значение приращения балльности).

#### 4. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДА СУДАКА

С помощью программного продукта «МатЛаб» проведена итоговая интегральная карта сейсмического риска города Судака (R) (рис. 13).

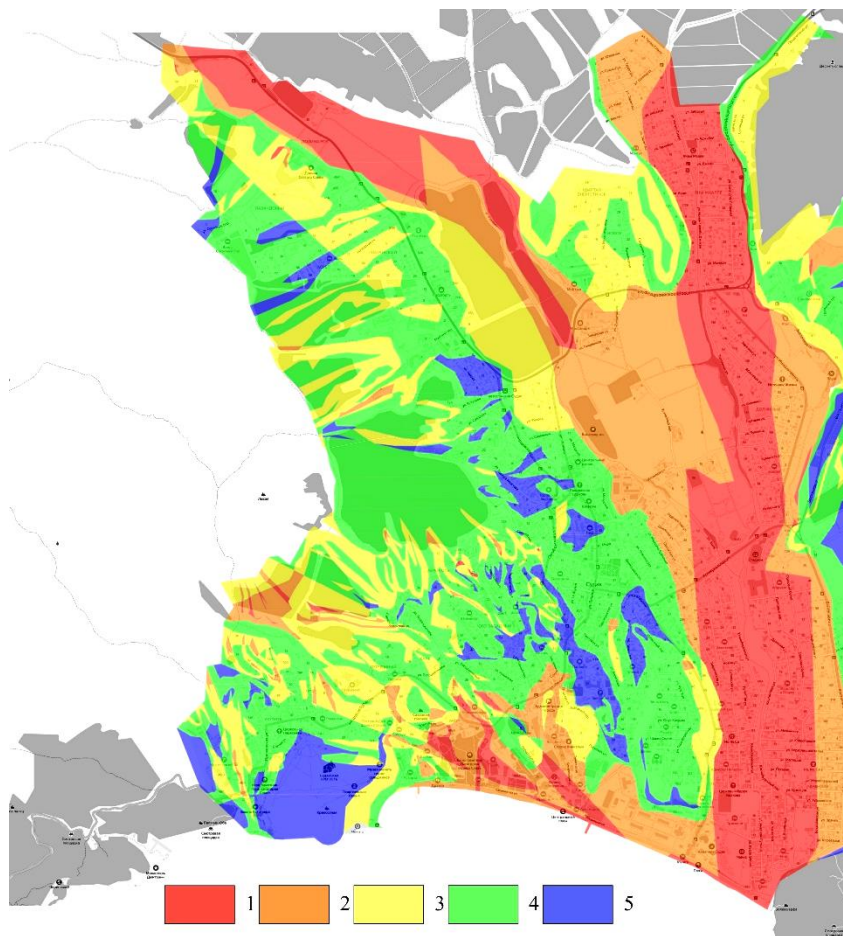


Рис. 13. Интегральная карта сейсмического риска города Судак. Сейсмический риск: 1 — максимальный ( $R \geq 0.64$ ); 2 — высокий ( $0.48 < R < 0.64$ ); 3 — средний ( $0.32 < R \leq 0.48$ ); 4 — низкий ( $0.16 < R \leq 0.32$ ); 5 — допустимый (минимальный) ( $R < 0.16$ ).

По результатам исследования установлено, что в городе Судак зоны сейсмического риска имеют следующие показатели площадного распространения:

- максимальный (красный цвет) — 19%;
- высокий (оранжевый цвет) — 18%;
- средний (жёлтый цвет) — 19%;
- низкий (зелёный цвет) — 35%;
- допустимый (минимальный) (синий цвет) — 9%.

Максимальный и высокий уровень отмечается в долинах рек Суук-Су, Карагач и прибрежной части. Низкий уровень на скальных породах судакской свиты и на более высоких денудационных и аллювиальных террасах.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ физико-механических характеристик грунтов позволяет сделать вывод, что наиболее опасными при сейсмическом воздействии являются глинистые отложения I аллювиальной террасы рек Суук-Су и Карагач.

2. По результатам многолетних исследований ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» выявлены опасные геологические и инженерно-геологические процессы — просадочность, набухание, подтопление, прохождение селей и паводков.

3. По результатам инженерно-геологических изысканий и сейсмического микрорайонирования на локальных участках за последние 20 лет по сравнению с картой сейсмомикрорайонирования города Судака (2001 г.) выделены новые участки с приращением и уменьшением балльности, что позволило актуализировать карту сейсмомикрорайонирования города Судака.

4. Максимальный и высокий сейсмический риск отмечается на 37% территории города и в основном приурочен к долинам рек Суук-Су и Карагач.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Ткаченко Н. П. (директор ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ»), Невидныку А. В. (главному геологу ООО «НПП «НЕДРАПРОЕКТ»).

## Список литературы

1. Скрижинская Е. Ч. Судакская крепость. История-Археология-Эпиграфика. Киев-Судак-Санкт-Петербург: Академперіодика, 2006. 380 с.
2. Джанов А. В. Монастырь на мысе Димитраки // Сугдейский сборник. Вып. IV. Киев-Судак: «Горобец», 2010. С. 569–573.
3. Список памятников местного и национального значения, расположенных на территории Автономной республики Крым (по состоянию на 01.01.2004 г.). Симферополь: ООО «Форма», 2004. 487 с.
4. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для реставрации Лютеранской Кирхи музея «Судакская крепость» Национального заповедника «София Киевская» с. Уютное, ул. Приморская, 13 в г. Судак / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 2008. 45 с.
5. Науково-технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування за науково-дослідною роботою «Проведення наукових та інженерно-геологічних досліджень і розроблення рекомендацій із запровадження протизсувних заходів на прикладі території Генуезької (Судацької) фортеці» / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 2010. 60 с.
6. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях на территории Генуэзской крепости в г. Судак Крымской области / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 1991. 18 с.
7. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Кримська Серія. Аркуші L-36-XXIX (Сімферополь), L-36-XXXV (Ялта). Пояснювальна записка. Киев: Державний комітет природних ресурсів України, Казенне підприємство «Південекогеоцентр», 2008. 143 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Скифская. Лист L-36 – Симферополь (К-36). Объяснительная записка. Санкт-Петербург: Издательство «ВСЕГЕИ», 2019. 979 с.
9. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережье Чёрного моря). Стратиграфия. Киев: Наукова Думка, 1984. 184 с.
10. Отчёт о работе Крымского экспертного совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений за 2001 год. (Результаты выполнения долгосрочной Программы

- «Сейсмобезопасность и защита населения от сильных землетрясений». Постановление №316 от 29.12.94 г. и №298 от 13.10.98г.) / Фонды ГАУ «КРЦ». Симферополь, 2001. 111 с.
11. Алказ В. Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинёв: Elena-VISRL, 2007. 229 с.
  12. Бурым Ю. А., Сухорученко С. К. Сейсмический риск городов Крыма: Симферополь, Ялта. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XII. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 241–247.
  13. Бурым Ю. А., Сухорученко С. К., Троян В. В. Исследования сейсмического риска на примере г. Симферополя. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том X (в 2-х частях). Часть 2. М.: ИИЕТ РАН, 2020. С. 39–45.
  14. Лущик А. В., Иваненко Т. А., Пустовитенко Б. Г., Сухорученко С. К., Бурым Ю. А. Оценка сейсмической и геологической опасностей – необходимая составляющая повышения экологической безопасности Крыма. Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития» 2017 года. Севастополь: Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова в г. Севастополе, 2017. С. 121–124.
  15. Бурым Ю. А., Иваненко Т. А., Лущик А. В., Пустовитенко Б. Г. Оценка и картирование сейсмического риска территории Крыма. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 234–238.
  16. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Иваненко Т. А., Сухорученко С. К. Оценка региональной сейсмической опасности и риска на территории Республики Крым // Экономика строительства и природопользования. 2018. №1(66). С. 143–153.
  17. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».
  18. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
  19. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Борисенко Л. С., Поречнова Е. И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофизический журнал, 1999. Том 21. №6. С. 3–15.
  20. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Захаров В. А. Находки следов сильных землетрясений в Судакской крепости. Первый Всероссийский историко-археологический форум «Русь-Европа-Причерноморье-Византия», 2020. С. 110–127
  21. Зеркаль О. В., Габдуллин Р. Р., Самарин Е. Н. Проблемы четвертичной геологии центральной части Крымского полуострова на современном этапе // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. 2017. №3. С. 27–34.
  22. Фёдоров П. В. Отражение климатических событий плейстоцена в геологической истории Чёрного моря // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. №5. С. 74–81.
  23. Геология СССР. Том VIII. Крым. Часть I. Геологическое описание. Москва: Издательство «Недра», 1969. 576 с.
  24. Фёдоров П. В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Чёрного моря. Труды Геологического института. Выпуск 88. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1963. 158 с.
  25. Иноземцев Ю. И., Парышев А. А., Ступина Л. В., Рыбак Е. Н. Палеогеография Азово-Черноморского бассейна в четвертичное время // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2019. 15, №4. С. 36–56.
  26. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для рабочих чертежей строительства столовой на 750 мест для д/о «Судак». Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 1967. 19 с.
  27. Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші L-36-XXXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). Кримська серія. Пояснювальна записка / наук. ред. Білецький С. В. Київ: Державна геологічна служба, Казенне підприємство «Південкогеоцентр», УкрДГРІ, 2006. 176 с.
  28. Ерыш И. Ф., Саломатин В. Н. Оползни Крыма. Часть I. История отечественного оползневедения. Симферополь: Издательство «Апостроф», 1999. 248 с.
  29. Блага Н. Н., Жилин М. Г., Руев В. Л. Галечные орудия из террас горы Эчки-Даг в Крыму: геоморфологический и археологический контекст // Материалы по археологии, истории и этнографии Таврии, Выпуск XXVII, 2022. С. 5–25.
  30. Природа Карадага. Киев: Наукова Думка, 1989. 288 с.

31. Отчёт об инженерных изысканиях для стадии техно-рабочего проекта пансионата на 500 мест и резервуара чистой воды в доме отдыха «Судак» / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Симферополь, 1972. 70 с.
32. Андрусев Н. И. Террасы окрестностей Судака // Записки Киевского общества естествоиспытателей, Том XXII, Вып. 2, 1912. С. 1–88
33. Чепалыга А. Л. Новая концепция черноморских террас юго-восточного Крыма // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2015. №74. С. 90–104.
34. Отчёт об экспертной оценке инженерно-геологических условий пгт. Судака / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Симферополь, 1981. 4 с.
35. ГОСТ 25100-2020. «Грунты. Классификация».
36. Отчёт по специализированной геологической, инженерно-геологической, гидрогеологической съёмке восточной части Горного Крыма. Тектоническая схема. Масштаб 1: 50 000. Министерство геологии УССР. Объединение «КРЫМГЕОЛОГИЯ», Крымская ГРЭ. Симферополь, 1980. 270 с.

## SEISMIC RISK OF SUDAK CITY OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

*Sukhoruchenko S. K.<sup>1,2</sup>, Samsonov K. A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> LLC «INSTITUTE «KRYMGIIINTIZ», Simferopol, Russian Federation/

<sup>2</sup> GAU "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russian Federation.

E-mail: sergeyskons@gmail.com

The description of all influencing factors of secondary seismic hazard identified in the process of engineering and geological studies of the city of Sudak, for more than 60 years of the cycle of these works is given. The engineering and geological conditions of the city of Sudak are described. Thematic maps have been created. The author's method of calculating the integral seismic hazard of the territory by superimposing various thematic maps with different weight coefficients is given. The final map of the ranking of the territory by degree has been made, taking into account geological data and engineering and geophysical work carried out on seismic micro-zoning. Based on the results of calculations. According to the results of calculations, the highest and highest seismic risk is established in the city of Sudak on 37% of the territory.

**Keywords:** Sudak city, seismic risk, seismic hazard.

### References

1. Skrizhinskaya E. CH. Sudakskaya krepost'. Istoriya-Arheologiya-Epigrafika. (History-Archeology-Epigraphy). Kiev-Sudak-Sankt-Peterburg: «Akademperiodika» (Publ.), 2006. 380 p. (in Russian).
2. Dzhанov A.V. Monastyr' na myse Dimitraki (Monastery on Cape Dimitraki) // Sugdejskij sbornik. (Sugdeysky collection) Vyp. IV. Kiev-Sudak: «Gorobec», 2010. pp. 569–573. (in Russian).
3. Spisok pamyatnikov mestnogo i nacional'nogo znacheniya, raspolzhenykh na territorii Avtonomnoj respubliki Krym (po sostoyaniyu na 01.01.2004 g.). (List of monuments of local and national significance located on the territory of the Autonomous Republic of Crimea (as of 01.01.2004)). Simferopol': ООО «Forma», 2004. 487 p. (in Russian).
4. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh dlya restavratsii Lyuteranskoj Kirhi muzeya «Sudakskaya krepost'» Nacional'nogo zapovednika «Sofiya Kievskaya» s. Uyutnoe, ul. Primorskaya, 13 v g. Sudake (Report on engineering and geological surveys for the restoration of the Lutheran Church of the museum «Sudak Fortress» of the National Reserve «Sofia Kievskaya» village. Cozy, Primorskaya str., 13 in Sudak) / Fondy ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Simferopol', 2008. 45 p. (in Russian).



5. Naukovo-tekhnichnij zvit pro inzhenerno-geologichni vishukuvannya za naukovo-doslidnoyu robotoyu «Provedennya naukovih ta inzhenerno-geologichnih doslidzhen' i rozroblennya rekomendacij iz zaprovadzhennya protizsuvnih zahodiv na prikladi teritorii Genuez'skoï (Sudac'koï) forteci» (Scientific and Technical Report on engineering and geological surveys on the research work «Conducting scientific and engineering and geological studies and developing recommendations for the introduction of anti-landslide measures on the example of the territory of the Genoese (Sudak) fortress») / Fondy OOO «INSTITUT «KRYMGIINTIZ». Simferopol', 2010. 60 p. (in Ukrainian).
6. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah na territorii Genuezskoj kreposti v g. Sudake Krymskoj oblasti (Report on engineering and geological surveys on the territory of the Genoese fortress in Sudak, Crimean region) / Fondy OOO «INSTITUT «KRYMGIINTIZ». Simferopol', 1991. 18 p. (in Russian).
7. Derzhavna geologichna karta Ukraïni. Masshtab 1 : 200 000 (State geological map of Ukraine. Scale 1: 200.000. Crimean Series. Sheets L-36-XXIX (Simferopol), L-36-XXXV (Yalta). Explanatory note). Kyiv: state committee of natural resources of Ukraine, State Enterprise «Pivdenekogeocentr», 2008. 143 p. (in Ukrainian).
8. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Skifskaya. List L-36 – Simferopol' (K-36). Ob"yasnitel'naya zapiska (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1.000.000. Third generation. The Scythian series. Sheet L-36 – Simferopol (K-36). Explanatory note). S.-Petersburg: VSEGEI, 2019, 979 p. (in Russian).
9. Geologiya shel'fa USSR. Stratigrafiya (shel'f i poberezh'e Chyornogo morya). (Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Stratigraphy (shelf and Black Sea coast) Stratigraphy). Kiev: Naukova Dumka, 1984. 184 p. (in Russian).
10. Otchyot o rabote Krymskogo ekspertnogo soveta po ocenke sejsmicheskoy opasnosti i prognozu zemletryasenij za 2001 god. (rezul'taty vypolneniya dolgosrochnoj Programmy «Sejsmobeзопасnost' i zashchita naseleniya ot sil'nyh zemletryasenij»). Postanovlenie №316 ot 29.12.94 g. i №298 ot 13.10.98g.) / Fondy GAU «KRC» (Report on the work of the Crimean Expert Council on Seismic Hazard Assessment and Earthquake Prediction for 2001 (results of the implementation of the long-term Program «Seismic safety and protection of the population from strong earthquakes» Resolution no. 316 of 29.12.94 and no. 298 of 13.10.98) / Funds of GAU «KRC»). Simferopol, 2001. 111 p. (in Russian).
11. Alkaz V. G. Osnovy prognoza sejsmicheskoy opasnosti i sejsmicheskogo riska territorii Respubliki Moldova (Fundamentals of the forecast of seismic hazard and seismic risk of the territory of the Republic of Moldova). Kishinyov: Elena-VISRL, 2007. 229 p. (in Russian).
12. Buryum Yu. A., Sukhoruchenko S. K. Sejsmicheskij risk gorodov Kryma: Simferopol', Yalta. Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Tom XII (Seismic risk of Crimean cities: Simferopol, Yalta. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume XII). Moscow: IET Russian Academy of Sciences, 2021. pp. 241–247. (in Russian).
13. Buryum Yu. A., Sukhoruchenko S. K., Troyan V. V. Issledovaniya sejsmicheskogo riska na primere g. Simferopolya. Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Tom X (v 2-h chastyah). Chast' 2. (Studies of seismic risk using the example of Simferopol. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume X (in 2 parts). Part 2). Moscow.: IET Russian Academy of Sciences, 2020. pp. 39–45. (in Russian).
14. Lushchik A. V., Ivanenko T. A., Pustovitenko B. G., Sukhoruchenko S. K., Buryum Yu. A. Ocenka sejsmicheskoy i geologicheskoy opasnostej – neobhodimaya sostavlyayushchaya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti Kryma (Assessment of seismic and geological hazards is a necessary component of improving the environmental safety of the Crimea). Materialy I Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma v Krymu «Krym – ekologo-ekonomicheskij region. Prostranstvo noosfernogo razvitiya» 2017 goda (Materials of the I International Environmental Forum in Crimea «Crimea is an ecological and economic region. The space of noospheric development» 2017.) Sevastopol: Branch of Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, 2017. pp. 121–124 (in Russian).
15. Buryum Yu. A., Ivanenko T. A., Lushchik A. V., Pustoviteko B. G. Ocenka i kartirovanie sejsmicheskogo riska territorii Kryma (Assessment and mapping of the seismic risk of the territory of Crimea) Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus Volume VIII). Moscow: IET Russian Academy of Sciences, 2018, pp. 234–238. (in Russian).

16. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Ivanenko T. A., Sukhoruchenko S. K. Ocenka regional'noj sejsmicheskoy opasnosti i riska na territorii Respubliki Krym (Assessment of regional seismic hazard and risk on the territory of the Republic of Crimea) // *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2018, no. 1(66), pp. 143–153 (in Russian).
17. SP 14.13330.2018 «Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah» (Construction in seismic areas) (in Russian).
18. SP 22.13330.2016 «Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy» (Foundations of buildings and structures) (in Russian).
19. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E., Borisenko L. S., Porechnova E. I. Obshchee sejsmicheskoe rajonirovanie territorii Kryma (OSR-98) (General seismic zoning of the territory of Crimea (OSR-8)) // *Geofizicheskij zhurnal*, 1999, vol. 21, no. 6, pp. 3–15 (in Russian).
20. Korzhenkov A. M., Ovsyuchenko A. N., Lar'kov A. S., Zaharov V. A. Nahodki sledov sil'nykh zemletryaseniy v Sudakskoj kreposti (Finds of traces of strong earthquakes in the Sudak fortress) // *Pervyj Versossijskij istoriko-arheologicheskij forum «Rus'-Evropa-Prichernomor'e-Vizantiya»* (The first All-Russian Historical and Archaeological Forum «Rus-Europe-Black Sea Region-Byzantium»). 2020, pp. 110–127 (in Russian).
21. Zerkal' O. V., Gabdullin R. R., Samarin E. N. Problemy chetvertichnoj geologii central'noj chasti Krymskogo poluostrova na sovremennom etape (Problems of Quaternary geology of the central part of the Crimean Peninsula at the present stage) // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 4 geology*. 2017, no. 3, pp. 27–34 (in Russian).
22. Fyodorov P. V. Otrazhenie klimaticheskikh sobytij plejstocena v geologicheskoy istorii Chyornogo morya (Reflection of Pleistocene climatic events in the geological history of the Black Sea) // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya*. 2000, V. 8, no. 5, pp. 74–81 (in Russian).
23. *Geologiya SSSR. Tom VIII. Krym. Chast' I. Geologicheskoe opisaniye* (Geology of the USSR Volume VIII. Crimea. Part I. Geological description) Moscow: Nedra, 1969. 576 p. (in Russian).
24. Fyodorov P. V. Stratigrafiya chetvertichnykh otlozheniy Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Chyornogo moraya (Stratigraphy of quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black Sea) *Proceedings of the Geological Institute. Issue 88. Moscow: of the USSR Academy of Sciences*, 1963. 158 p. (in Russian).
25. Inozemcev Yu. I., Paryshev A. A., Stupina L. V., Rybak E. N. Paleogeografiya Azovo-Chernomorskogo bassejna v chetvertichnoe vremya (Paleogeography of the Azov-Black Sea basin in Quaternary time) // *Geologiya i korisni kopalini Svitovogo okeanu*. 2019, V. 15, no. 4, pp. 36–56 (in Ukrainian).
26. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah dlya rabochih chertezhej stroitel'stva stolovoj na 750 mest dlya d/o «Sudak» (Report on engineering and geological surveys for working drawings of the construction of a dining room for 750 seats for d/o «Sudak») *Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ»*. Simferopol, 1967. 19 p. (in Russian).
27. Derzhavna geologichna karta Ukraïni masshtabu 1:200000, arkushi L-36-XXXVIII (Evpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol'). *Krims'ka seriya. Poyasnyuval'na zapiska* (State geological map of Ukraine, scale 1:200000, sheets L-36-XXXVIII (Yevpatoria), L-36-XXXIV (Sevastopol). Crimean series. explanatory note) / *nauk. red. Bilec'kij S. V. Kiïv: Derzhavna geologichna sluzhba, Kazenne pidpriemstvo «Pivdenekogeocentr», UkrDGRI*. 2006. 176 p. (in Ukrainian).
28. Erysh I. F., Salomatin V. N. Opolzni Kryma. Chast' I. Istoriya otechestvennogo opolznevedeniya. (Landslides of the Crimea. Part I. The history of domestic landslide studies). Simferopol: Apostrof, 1999. 248 p. (in Russian).
29. Blaga N. N., Zhilin M. G., Ruev V. L. Galechnye orudiya iz terras gory Echki-Dag v Krymu: geomorfologicheskij i arheologicheskij kontekst. Materialy po arheologii, istorii i etnografii Tavri. V. XXVII (Pebble tools from the terraces of the Echki-Dag Mountain in Crimea: geomorphological and archaeological context. Materials on archeology, history and ethnography of Tavria, Vol. XXVII) 2022, pp. 5–25 (in Russian).
30. *Priroda Karadaga* (The nature of Karadag). Kiev: Naukova Dumka, 1989. 288 p. (in Russian).
31. Otchyot ob inzhenernykh izyskaniyah dlya stadii tekhnorabochego proekta pansionata na 500 mest i rezervuara chistoj vody v dome otdyha «Sudak» (Report on engineering surveys for the stage of the technoworking project of a 500-bed boarding house and a clean water tank in the Sudak recreation center) / *Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ»*. Simferopol, 1972, 70 p. (in Russian).

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

---

32. Andrusov N. I. Terrasy okrestnostej Sudaka (Terraces of the surroundings of Sudak) // Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytatelej. Vol. XXII, Issue 2, 1912, pp. 1–88 (in Russian).
33. Chepalyga A. L. Novaya koncepciya chernomorskih terras yugo-vostochnogo Kryma (A new concept of the Black Sea terraces of the south-eastern Crimea) // Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 2015, no. 74, pp. 90–104 (in Russian).
34. Otchyot ob ekspertnoj ocenke inzhenerno-geologicheskikh uslovij pgt. Sudaka (Report on the expert assessment of engineering and geological conditions of the village of Sudak) / Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ». Simferopol, 1981, 4 p. (in Russian).
35. GOST 25100-2020. «Grunty. Klassifikaciya» (GOST 25100-2020. «Soils. Classification») (in Russian).
36. Otchyot po specializirovannoj geologicheskoy, inzhenerno-geologicheskoy, gidrogeologicheskoy s'yomke vostochnoj chasti Gornogo Kryma. Tektonicheskaya skhema. Masshtab 1: 50 000 (Report on specialized geological, engineering-geological, hydrogeological survey of the eastern part of the Mountainous Crimea. Tectonic scheme. Scale 1: 50000 / Ministerstvo geologii USSR. Ob"edinenie «KRYMGEOLOGIYA». Crimean GRE. Simferopol, 1980, 270 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 29.10.2023 г.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бойко Владислав  
Александрович**

инженер 1 кат. Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, РФ. Инженер ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Бондарь Марина  
Николаевна**

ведущий инженер Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, РФ. Инженер ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Бушмакина Галина  
Николаевна**

ведущий инженер Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Вахрушев  
Игорь Борисович**

кандидат географических наук, доцент кафедры туризма факультет географии, геоэкологии и туризма, Институт «Таврическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Вольхин Денис  
Антонович**

кандидат географических наук, доцент кафедры физической и социально-экономической географии, ландшафтоведения и геоморфологии, факультет географии, геоэкологии и туризма, Институт «Таврическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

**Гараева Анастасия  
Николаевна**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Российская Федерация.

**Дорофеев Виктор  
Васильевич**

доктор географических наук, профессор кафедры, профессор, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

- Загуменная Кристина Александровна** профессор Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Закусилов Вадим Павлович** аспирант факультета географии, геоэкологии и туризма, Институт «Таврическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Калинюк Игорь Викторович** кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Калинюк Игорь Викторович** кандидат физ.-мат. наук, зам. директора Института сейсмологии и геодинамики, (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Колесникова Екатерина Яковлевна** ведущий инженер Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Королев Эдуард Анатольевич** кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Российская Федерация.
- Кузнецов Илья Евгеньевич** начальник кафедры, доктор технических наук, начальник кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Латыпов Айрат Исламгалиевич** кандидат технических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Российская Федерация.
- Линёва Настасья Павловна** лаборант, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», студентка кафедры геоэкологии, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

- Насонов Алексей  
Анатольевич** кандидат географических наук, преподаватель кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Останин Алексей  
Михайлович** ведущий инженер Института сейсмологии и геодинамики (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Пустовитенко Бэлла  
Гавриловна** доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Государственного автономного учреждения Республики Крым «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.
- Самсонов Кирилл  
Александрович** инженер программист III категории Государственного автономного учреждения Республики Крым «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.
- Свидлова Валентина  
Алексеевна** ведущий инженер Института сейсмологии и геодинамики, (структурное подразделение) «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация.
- Степанов Алексей  
Владимирович** кандидат географических наук, преподаватель кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация.
- Сухорученко Сергей  
Константинович** кандидат геологических наук, научный сотрудник Государственного автономного учреждения «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»), г. Симферополь, Российская Федерация.
- Табунщик Владимир  
Александрович** научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь; младший научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский центр пресноводной и

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

- Уткин Михаил Викторович** солоноватоводной гидробиологии», г. Херсон, г. Севастополь, Российская Федерация.  
лаборант, АО «Гео Палитра», г. Нижний Новгород, Российская Федерация.
- Харитонов Андрей Леонидович** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация.
- Уткин Михаил Михайлович** кандидат технических наук, ведущий инженер карстологических исследований, АО «Гео Палитра», г. Нижний Новгород, 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.
- Юдин Виктор Владимирович** доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель Отделения естественных наук, Межрегиональная общественная организация Крымская Академия наук, г. Симферополь, Российская Федерация.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ 1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

*Вахрушев И. Б., Загуменная К. А.*

Изменение структуры автоперевозок в России в связи с закрытием южных аэропортов и новой стратегией развития автотранспорта: анализ текущего состояния и перспективы .....3

*Вольхин Д. А.*

Потенциал крымские субъектов Российской Федерации как «территорий-шерпов» в инкорпорировании новых регионов в экономическое и гуманитарное пространство страны ..... 14

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

*Линёва Н. П., Табунщик В. А.*

Анализ динамики наземного покрова в пределах верховьев бассейна р. Салгир (Крымский полуостров) ..... 30

*Насонов А. А., Дорофеев В. В., Кузнецов И. Е., Степанов А. В., Закусилов В. П.*

Методика прогнозирования видимости для обеспечения авиационно-спасательных работ над равнинной местностью ..... 44

### РАЗДЕЛ 3. ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

*Латыпов А. И., Гараева А. Н., Королев Э. А.*

Особенности строения и формирования элювиальных отложений в карбонатно-терригенных грунтовых массивах Бугульминско-Белебеевской возвышенности ..... 62

*Уткин М. М., Уткин М. В.*

Количественная оценка скорости растворения гипсовых пород в зоне крупной карстовой полости и за ее пределами ..... 76

*Харитонов А. Л.*

Методология прогноза нефтегазовой перспективности южных регионов европейской части России ..... 86



<b>Юдин В. В.</b> Геология Карадага в Крыму. Часть 2. Тектоника.....	100
---	-----

**РАЗДЕЛ 4.  
ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ**

<b>Калинюк И. В., Свидлова В. А., Бондарь М. Н., Бойко В. А.</b> Сейсмичность Крыма в 2022 году.....	124
---	-----

<b>Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э., Бондарь М. Н.</b> Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма 2022 года .....	139
--	-----

<b>Колесникова Е. Я., Останин А. М., Бондарь М. Н., Бушмакина Г. Н.</b> Результаты макросейсмического обследования последствий крымского землетрясения 27 февраля 2023 года.....	157
--	-----

<b>Сухорученко С. К., Самсонов К. А.</b> Сейсмический риск города Судак Республики Крым.....	171
---	-----

<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	204
----------------------------------	-----