

I Международная научная конференция

# «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек:

теоретико-методологические  
и методические аспекты,  
региональные исследования»

г. Севастополь, Россия  
25 октября 2024 г.

Материалы конференции



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН  
Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова  
Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН  
Университет Алеппо  
Университет Аль-Баас  
Центр морских и прибрежных исследований Гвинеи

# Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования

I Международная научная конференция

Материалы докладов

25 октября 2024 г.  
Севастополь, Россия

Севастополь  
ФИЦ ИнБЮМ  
2024

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS  
Millionshchikov Grozny State Oil Technical University  
Institute of Geology of the Daghestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences  
Aleppo University  
Al-Baath University  
Marine and Coastal Research Center of Guinea

# Geoecological Assessment of Mountain River Basins: Theoretical, Methodology and Methodical Aspects, Regional Research

The I International Scientific Conference

Book of abstracts

25 October, 2024  
Sevastopol, Russian Federation

Sevastopol  
IBSS  
2024

УДК [502/504:556.51](23)

ББК 26.38

Г36

*Конференция проводилась при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (соглашение № 075-15-2024-644) «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки».*

**Г36 Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования** : материалы докладов I Международной научной конференции, 25 октября 2024 г., Севастополь, Россия. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2024. 122 с. EDN: [KUASQQ](#).

ISBN 978-5-6052832-0-1

В сборнике представлены материалы I Международной научной конференции «Геоэкологическая оценка бассейнов горных рек: теоретико-методологические и методические аспекты, региональные исследования». Рассмотрены теоретические и методологические подходы к оценке состояния окружающей среды в районах бассейнов горных рек, а также практические аспекты применения современных технологий, таких как ДЗЗ и ГИС. Особое внимание уделено региональным исследованиям и анализу особенностей пространственной структуры, функционирования и современного состояния ландшафтов горных речных бассейнов. Также обсуждаются проблемы антропогенной трансформации ландшафтов и возможности использования искусственного интеллекта в практике геоэкологических исследований.

УДК [502/504:556.51](23)

ББК 26.38

**Geoecological Assessment of Mountain River Basins: Theoretical, Methodology and Methodical Aspects, Regional Research** : book of abstracts of the I International Scientific Conference, 25 October, 2024, Sevastopol, Russia. Sevastopol : IBSS, 2024. 122 p. EDN: [KUASQQ](#).

The proceedings include materials from the I International Scientific Conference “Geoecological Assessment of Mountain River Basins: Theoretical-Methodological and Practical Aspects, Regional Studies.” The papers cover theoretical and methodological approaches to assessing the environmental state of mountain river basins, alongside practical applications of advanced technologies, such as remote sensing and geographic information systems (GIS). Particular attention is devoted to regional studies, as well as the analysis of the spatial structure, functioning, and current condition of landscapes within mountain river basins. The issues of anthropogenic transformation of landscapes and the potential for employing artificial intelligence in geoecological research are also explored. This proceedings are intended for researchers and professionals in geoecology, landscape science, natural resource management, and environmental protection.

*Материалы опубликованы в авторской редакции с минимальными корректорскими правками.*

*Ответственность за содержание материалов несут авторы.*

*Сборник публикуется по решению учёного совета ФИЦ ИнБЮМ (протокол № 9 от 15.10.2024).*

ISBN 978-5-6052832-0-1

© Авторы, 2024

© ФИЦ ИнБЮМ, 2024

# Содержание

Борисов А. В., Смекалова Т. Н., Пинской В. Н., Потапова А. В. <b>Влияние древней антропогенной деятельности на активизацию склоновых процессов и современное состояние почв Северо-Западного Крыма . . . . .</b>	<b>7</b>
Бурдиян Н. В., Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Гуров К. И. <b>Особенности состояния вод и донных отложений устья реки Чёрной (город Севастополь) в весенний период . . . . .</b>	<b>10</b>
Власова А. Н. <b>Антропогенная трансформация ландшафтов бассейнов рек системы Салгира . . . . .</b>	<b>14</b>
Гуния А. Н., Керимов И. А., Гайрабеков У. Т., Гагаева З. Ш. <b>Проблемы трансграничного природопользования в бассейне Сунжи . . . . .</b>	<b>19</b>
Дрыгваль П. В., Дрыгваль А. В., Горбунова Т. Ю., Никифорова А. А., Горбунов Р. В., Табунщик В. А., Керимов И. А., Киселева М. В. <b>Пространственно-временная изменчивость температуры воздуха в бассейнах рек водосбора Каспийского моря . . . . .</b>	<b>22</b>
Игнатъева Д. А., Горбунова Т. Ю., Алексеев Я. И., Горбунов Р. В., Фам К. Н., Братанов Н. С., Шварцев А. А., Монахова Ю. А., Волков А. А., Keita I., Diallo A. I. P., Андреевко Т. И. <b>Оценка бактериального разнообразия почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) и выявление ассоциаций с загрязнениями почв тяжёлыми металлами . . . . .</b>	<b>26</b>
Корец М. А., Прокушкин А. С., Гейс Т. Н., Сулейманова Ж. Р. <b>Состав и структура ГИС водосборных бассейнов горных рек . . . . .</b>	<b>31</b>
Кулаков А. П. <b>Гидрологические и гидрогеологические условия ландшафтов горной криолитозоны Северного Забайкалья . . . . .</b>	<b>35</b>
Малахова Л. В., Мирзоева Н. Ю., Войцеховская В. В., Мосейченко И. Н., Малахова Т. В., Овечко С. В. <b>Потоки стойких органических загрязнителей в донные отложения крымских рек Чёрная и Салгир . . . . .</b>	<b>39</b>
Мирзоева Н. Ю., Проскурнин В. Ю., Горбунова Т. Ю., Вахрушев М. О., Коротков А. А., Братанов Н. С., Мосейченко И. Н., Мирошниченко О. Н., Сидоров И. Г. <b>Природные и искусственные радионуклиды в речной и наземной экосистемах бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) . . . . .</b>	<b>45</b>
Миронов О. А., Мирзоева Н. Ю., Маан С., Хадид М., Чёрный Г. С. <b>Особенности загрязнения алифатическими углеводородами донных отложений реки Эль-Аси (Оронг) в окрестностях города Хомс (Сирийская Арабская Республика) . . . . .</b>	<b>50</b>

Никифорова А. А., Матвеева А. Д., Миронова А. П. <b>Использование данных дистанционного зондирования Земли для выделения эрозионной сети и сети временных водотоков водосбора Капсельской бухты (Крымский полуостров)</b> . . . . .	55
Окаёмова Е. С., Лепёхин П. П. <b>Геоэкологическая оценка территориальной организации природопользования Магаданской области</b> . . . . .	59
Соловьёва О. В., Проскурнин В. Ю., Тихонова Е. А., Мирзоева Н. Ю., Барабашин Т. О., Альфа Иссага Палле Диалло, Ибраима Кейта <b>Загрязнение полиароматическими углеводородами различных компонентов окружающей среды в бассейне реки Фатала (Гвинейская Республика)</b> . . . . .	64
Табунщик В. А., Джамбетова П. М., Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Никифорова А. А., Дрыгваль П. В., Керимов И. А., Киселева М. В. <b>Выделение границ водосборных бассейнов горных рек с использованием цифровых моделей рельефа: современное состояние и проблемы</b> . . . . .	69
Табунщик В. А., Никифорова А. А., Линева Н. П., Дрыгваль П. В., Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Фам К. Н., Керимов И. А., Братанов Н. С., Киселева М. В. <b>Пространственно-временная изменчивость поля содержания диоксида азота в юго-западной части водосборного бассейна Каспийского моря</b> . . . . .	74
Тимченко З. В., Табунщик В. А. <b>Гидрологическая характеристика реки Чурбашская (Керченский полуостров, Крым)</b> . . . . .	78
Тихонова Е. А., Миронов О. А., Соловьёва О. В., Нгуен Чонг Хиеп, Ву Тхи Минь Чау <b>Алифатические углеводороды в речной воде отдельных рукавов р. Меконг (на примере р. Тиен и р. Хау, Вьетнам)</b> . . . . .	84
Фаерман А. В., Горбунов Р. В., Фам К. Н., Табунщик В. А. <b>Социокультурные разрывы в контексте экосистем: историко-социокультурный анализ как метод исследования</b> . . . . .	89
Чужикова О. Д., Мирзоева Н. Ю., Проскурнин В. Ю., Параскив А. А. <b>Вертикальное распределение микроэлементов в донных отложениях рек Кача, Бельбек и Чёрная в окрестностях города Севастополя</b> . . . . .	94
Almohamed M. and Farhoud N. <b>Multidisciplinary assessment of the transboundary Yarmouk River basin</b> . . . . .	100
Farhoud N. and Almohamed M. <b>Development of a comprehensive Groundwater Depletion Index in the Euphrates River basin region</b> . . . . .	101
Istanbuly M. N. <b>Mountain ecosystem services need landscape planning and decision-making on the regional slope</b> . . . . .	105
Krykhtine F. P., Olanrewaju O. A., Seyam M., and Mora-Camino F. <b>Val de Toran 2024: An overview of current environment</b> . . . . .	108
Salama M. and Al-Ibrahim T. <b>Using remote sensing techniques and geographic information systems to determine sectors of groundwater potential zones</b> . . . . .	114
Salameh M. and Alnaddaf L. M. <b>Emerging technologies in natural resource management</b> . . . . .	119

УДК 913.1/913.8

## Влияние древней антропогенной деятельности на активизацию склоновых процессов и современное состояние почв Северо-Западного Крыма

Борисов А. В.<sup>1</sup>, Смекалова Т. Н.<sup>2</sup>, Пинской В. Н.<sup>1</sup>, Потапова А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ [a.v.borisovv@gmail.com](mailto:a.v.borisovv@gmail.com)

Изучены масштабы трансформации почвенных свойств в результате древней антропогенной деятельности и вклад последней в формирование современного почвенного покрова. Впервые показано, что антропогенная деятельность стала причиной резкой интенсификации эрозионных склоновых процессов. Особенно активно эрозионно-аккумулятивные процессы развивались в окрестностях поселений. В результате stravливания растительного покрова и ежедневного скотопрогона, а также выпаса на прилегающей к поселению части склона начался активный поверхностный сток, вследствие чего сформировался мощный чехол делювиальных отложений в нижней части склона. В более общем плане можно говорить о том, что в 500-метровой зоне в окрестностях поселений эпохи поздней бронзы почвенный профиль почв утратил до 4 см мелкозёма в результате антропогенно-инициированной дефляции и плоскостного смыва.

**Ключевые слова:** эпоха бронзы, Крым, поселения, речная сеть, склоны, эрозия

Проведено исследование почв в окрестностях поселения Тюмень-7. Памятник находится в 1,1 км к северо-западу от поселения Тюмень-3, в нижней части большого узкого мыса, образованного основной Тюменской балкой и её правым притоком. Поселение находится в 2,2 км к юг-востоку от села Глинка (бывш. Кангыл) Сакского района Республики Крым. Координаты центральной части поселения в системе WGS 84: 45°15.856'С, 33°32.412'В. Оно было обнаружено в 2012 г. Т. Н. Смекаловой по густой травянистой растительности, норам грызунов и выбросам небольшого количества мелких фрагментов лепной керамики. Это поселение отличается от поселения Тюмень-3 своими небольшими размерами, которые определяются самой локацией поселения на длинном узком мысу. Обитатели поселения выбрали такое местоположение в связи с его ландшафтной и гидрогеологической особенностью. Глубокие балки, ограничивающие поселение, обеспечивали его жителям и их стадам защиту от ветров в осенне-зимнее время. В балках были временные водотоки, которые использовались для обеспечения водой людей и животных.

На первом этапе для изучения как самого поселения, так и его хозяйственной округи применялся метод дистанционного зондирования — анализ космических снимков высокого разрешения из интернет-ресурса Google Earth Pro, относящихся к различным временам года, отражающих особенности растительного покрова, на основании которых можно выявлять следы древней жилой и хозяйственной деятельности.

Наиболее выразительным для выявления поселения позднего бронзового века является снимок от 24.07.2010. На нём в виде тёмного пятна более густой растительности отразилась гумусированная почва культурного слоя поселения.

Магнитная съёмка была проведена на этом мысу на площади 1,8 га. Магнитная съёмка выявила овальный каменный загон размерами 45 × 28 м, а также группу из не менее чем семи жилых и хозяйственных помещений — полуземлянок, расположенных в ряд, и ещё не менее чем четырёх ям или небольших полуземлянок, находящуюся поблизости от основных полуземлянок. Таким образом, на этом поселении нам удалось исследовать комплекс жилых и хозяйственных сооружений: каменный загон для скота, жилые и подсобные заглублённые в землю постройки [2].

На поселении Тюмень-7 была заложена серия археологических шурфов для выявления стратиграфии, хронологии поселения и определения его границ. Помимо археологических шурфов, в пределах потенциальной экономической зоны поселения были выполнены почвенные зондажи по сетке с шагом 50 м.

Для сравнения почвенных характеристик были отобраны образцы из почвенных разрезов, разбитых на близлежащем участке в отсутствии археологических объектов, в сходной рельефной ситуации. Визуальные признаки археологических объектов на этом участке не проявлялись. Для того чтобы окончательно убедиться в том, что на этом склоне нет поселения, могильника или других следов жизнедеятельности древнего населения, здесь была проведена магнитная съёмка на площади 1 га. На магнитной карте не замечены аномалии, которые могли бы соответствовать археологическим объектам. Вся южная часть площади магнитной съёмки занята обширной положительной аномалией (тёмный тон), резко переходящей вдоль по линейной горизонтальной границе в отрицательную аномалию (светлый тон). Это результат проявления геологического строения склона, а именно слоистой структуры известняка и выхода к поверхности одного из слоёв. Почвенные разрезы на фоновом участке были заложены через 50 м по трём параллельным профилям, отстоящим друг от друга на 50 м. Всего было заложено 17 фоновых разрезов, из которых отобраны образцы для последующих химических, микробиологических палеозоологических и геохимических анализов.

В результате сравнения мощности почвенного слоя на склоне с поселением и фоновым участке выявлены масштабные эрозионно-аккумулятивные процессы, имевшие место в период функционирования памятника. Так, в сходных геоморфологических позициях на участке с поселением и на фоновом участке без следов древней антропогенной деятельности мощность слоя мелкозёма достоверно различалась. На территории, прилегающей к памятнику, в нижней части склона мощность почвенного профиля достигала 200 см. Почвы можно идентифицировать как стратозёмы тёмногумусовые урбостратифицированные. В профиле выделяются следующие горизонты: AU<sub>rh,ca</sub> — 0–30(60) см; [RU<sub>1ur,ca</sub>] — 30(60)–80(100) см; [RU<sub>2ur,ca</sub>] — 80(100)–190 см. Почвообразующая порода — делювий известняка — залегает с глубины 190–200 см.

Весьма показательным является распределение археологического материала в почве. Во всех слоях от поверхности до глубины 170–180 см в больших количествах присутствует керамика эпохи поздней бронзы, которая является маркером антропогенной природы эрозионных процессов.

Выше по склону мощность почвенного профиля резко снижается. На участке в 50 м выше поселения средняя мощность профиля составляет 40–45 см. На удалении 100 м от поселения в почвенном покрове преобладают светло-гумусовые эродированные почвы. Эрозионные процессы становятся преобладающими. Здесь уже нет почв с профилем более 20 см. В большинстве разрезов были вскрыты тёмногумусовые литозёмы, профиль которых представлен горизонтом AU<sub>ca</sub> от 5–7 до 15 см. Подстиляется выходами плиты известняка без слоя делювия. Значительные площади занимают бедленды, лишённые растительного покрова.

На фоновом участке в аналогичной геоморфологической позиции были развиты типичные для данного региона каштановые почвы. Для них характерно следующее строение профиля: AJ — 0–25 см; ВМК — 25–40 см; ВСА — 40–50(70) см. С глубины 50–70 см залегает почвообразующая порода. Выше по склону мощность почвенного профиля заметно снижается. На удалении 100 м от нижней линии разрезов преимущественно развиты литозёмы тёмногумусовые с мощностью горизонта AU не более 15–20 см. Местами встречаются бедленды, однако их площадь заметно меньше, чем в почвах в окрестностях поселения. В целом почвенный покров фоновой участка можно назвать весьма типичным для региона.

Таким образом, антропогенная деятельность стала причиной резкой интенсификации эрозионных склоновых процессов [1]. Особенно активно эрозионно-аккумулятивные процессы развивались в окрестностях поселений. В результате стравливания растительного покрова и ежедневного скотопрогона и выпаса на прилегающей к поселению части склона начался активный поверхностный сток, вследствие чего сформировался мощный чехол делювиальных отложений в нижней части склона.

В более общем плане можно говорить о том, что в окрестностях поселений эпохи поздней бронзы на склонах рек и балок имели место мощные эрозионные процессы, вызванные перевыпасом скота, что стало причиной активного роста почвенного профиля и формирования специфических почв — стратозёмов тёмногумусовых урбистратифицированных — мощностью более 2 м.

При геоэкологической оценке бассейнов горных рек необходимо учитывать историю освоения человеком данной территории, тип хозяйственной модели древнего населения региона и наличие археологических памятников.

*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 22-68-00010 (<https://rscf.ru/project/22-68-00010/>).*

#### Список литературы

1. Борисов А. В., Горошников А. А., Каширская Н. Н., Мимоход Р. А., Пинской В. Н., Потапова А. В., Смекалова Т. Н. Почвенно-микробиологические подходы к реконструкции назначения построек на древних поселениях // Нижневолжский археологический вестник. 2023. Т. 22, № 1. С. 10–35. <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.1.2>
2. Смекалова Т. Н., Борисов А. В., Деваев А. С., Савельев Д. О., Леонов Л. Л., Горошников А. А., Гаврилюк А. Н., Фридрихсон С. К., Трубникова Е. Д. Исследование потенциальных экономических зон поселений эпохи поздней бронзы Тюмень-3 и Тюмень-7 в Сакском районе Республики Крым // История и археология Крыма. 2023. № 18. С. 48–57.

УДК 574.583

## Особенности состояния вод и донных отложений устья реки Чёрной (город Севастополь) в весенний период

Бурдиян Н. В.<sup>1</sup>, Тихонова Е. А.<sup>1</sup>, Соловьёва О. В.<sup>1</sup>, Гуров К. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

✉ [burdiyan\\_nv@ibss-ras.ru](mailto:burdiyan_nv@ibss-ras.ru)

Представлены данные о численности и особенностях распределения гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий, концентрации нефтяных углеводородов, хлороформ-экстрагируемых веществ в эстуарной зоне реки Чёрной в весенний период. Пробы воды и донных отложений отбирали на морском, пресноводном и переходном участках. В работе показано пространственное распределение нефтяных углеводородов, хлороформ-экстрагируемого вещества, гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в воде и донных отложениях на различных участках в зоне смешения речных и морских вод с диапазоном солёности 1–18 ‰ в период весенней межени и паводков. Дана физико-химическая характеристика донных отложений. Определено, что наибольшая доля углеводородокисляющих бактерий в общей численности гетеротрофного бактериопланктона на обозначенных участках выявлена в апреле, причём максимальный показатель, 55 %, определён в водах переходной зоны. Доля углеводородокисляющих бактерий от численности гетеротрофных бактерий в воде превышала таковую в донных отложениях. Наибольшие концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов выявлены в донных отложениях морской зоны, наименьшие — в речной зоне. Поступление нефтяных углеводородов практически в равных объёмах в исследуемый период происходило постоянно, о чём свидетельствует процентное содержание нефтяных углеводородов от хлороформ-экстрагируемых веществ, которое в среднем составляло для морской зоны — 31 %, для переходной — 29 %, для речной — 32 %. В отличие от донных отложений речной и переходной зон, в донных отложениях морской зоны отмечена стабильная концентрация хлороформ-экстрагируемых веществ.

**Ключевые слова:** р. Чёрная, Чёрное море, бактерии, нефтяные углеводороды, хлороформ-экстрагируемые вещества

Река Чёрная является одной из наиболее значимых рек Севастопольского региона по протяжённости и водности. Устье р. Чёрная имеет сложную структуру, которая включает простой устьевой участок реки и сложное устьевое взморье, состоящее из приглубой, закрытой части — Инкерманского лимана и Севастопольской бухты, а также открытой части взморья. В настоящее время устье реки отнесено к нетиповым, антропогенно-изменённым [3]. Паводки на р. Чёрная, как правило, происходят в зимне-весенний период, с декабря по апрель, что связано с прохождением средиземноморских циклонов [8]. После сооружения водохранилища в межень река не пересыхает (в отличие от периода естественного режима стока рек). Как следствие, для неё характерно изменение внутrigодового распределения стока: сток маловодного периода увеличился, многоводного — уменьшился. Многоводный период на р. Чёрная обычно длится с ноября по апрель (с максимумом в апреле), маловодный продолжается с мая по сентябрь (с минимумом в сентябре) [2]. В весенний период, соответственно, март и апрель, как правило, являются полноводными, а в мае начинается маловодный сезон. Формирование качества вод в зоне смешения река — море к настоящему времени изучено недостаточно.

Цель работы — выявить особенности состояния вод и донных отложений устья р. Чёрная в весенний период на основе гидрофизических, гидрохимических и микробиологических показателей.

**Методы.** Отбор проб проводили раз в месяц в весенний период 2019 г. Исследуемая зона смешения река — море условно была разделена на три участка по градиенту солёности: морской участок (ст. 1), находящийся непосредственно в акватории Севастопольской бухты, переходный (ст. 2), расположенный вблизи автомобильного моста (он учитывался как фактор антропогенного поступления загрязняющих веществ со смывом с автодороги), и речной (ст. 3.), где отбирались подвижные береговые наносы. На ст. 1 и 2 пробы донных отложений отбирали дночерпателем Петерсона с площадью захвата 0,038 м<sup>2</sup> по течению впадающей реки, подвижные береговые наносы на ст. 3 отбирали

ручным пробоотборником. В свежесобраных пробах донных отложений проводили определение рН и Eh с помощью рН-метра — термометра «Нитрон-рН». В лабораторных условиях определяли натуральную влажность весовым методом. Количество хлороформ-экстрагируемых веществ (далее — ХЭВ) определяли весовым методом, нефтяных углеводородов (далее — НУ) методом ИК-спектрометрии на спектрофотометре ФСМ 1201 [7]. Определение численности бактерий проводили методом предельных десятикратных разведений с использованием жидких питательных сред. Для гетеротрофных бактерий (далее — ГБ) использовали среду с пептоном [4]. Для углеводородокисляющих бактерий (далее — УОБ) применяли среду Диановой — Ворошиловой [6]. В качестве единственного источника углерода и энергии в каждую пробирку после посева вносили 1 % стерильной нефти. При приготовлении сред учитывали солёность морской воды. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице МакКреди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики [5].

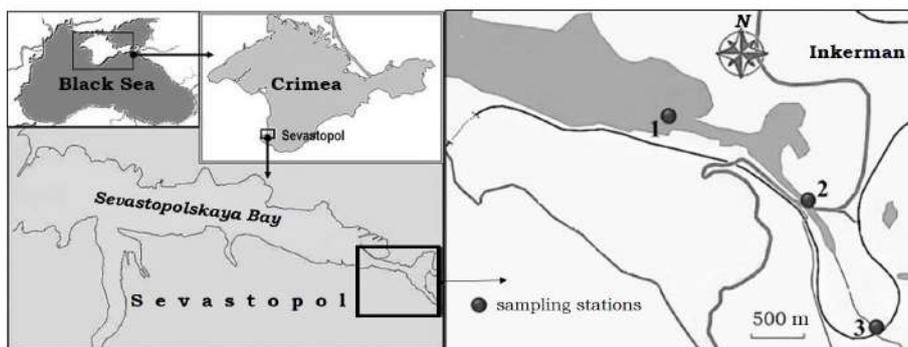


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб

**Результаты и обсуждение.** Концентрация НУ в образцах воды колебалась от 0,024 до 0,081 мг·л<sup>-1</sup> (рис. 2). Максимальная концентрация НУ отмечена в майских пробах ст. 1. Концентрация нефти в поверхностном слое воды выше, чем в придонном слое. В речной зоне (ст. 3) определены минимальные показатели содержания НУ. В 33 % проб воды, отобранных на ст. 1 и 2, определено превышение ПДК (0,05 мг·л<sup>-1</sup>). Низкая концентрация НУ в водах исследуемых станций зарегистрирована в марте.

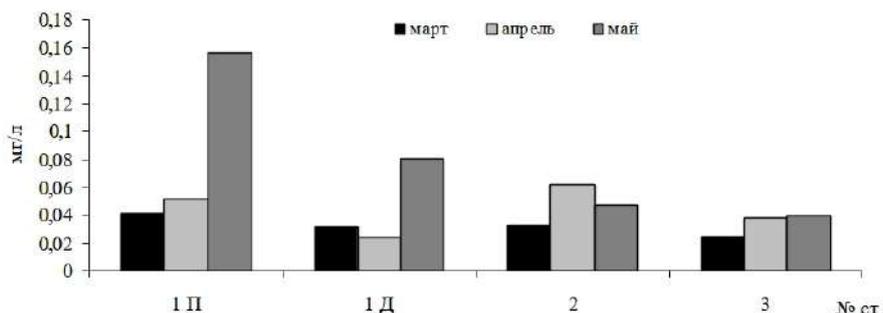


Рис. 2. Концентрация (мг·л<sup>-1</sup>) НУ в поверхностном (1П, 2 и 3) и придонном (1Д) слоях воды

Минимальная численность ГБ (1500 кл·мл<sup>-1</sup>) в воде на ст. 1 отмечена в мартовской пробе. В последующих пробах количественные показатели ГБ на данной станции варьировали в пределах четвертого порядка (75 и 95 тыс. кл·мл<sup>-1</sup>). На ст. 2 численность ГБ в апрельской и майской пробах равнозначна с показателями ст. 1 (4500 и 25 тыс. кл·мл<sup>-1</sup> соответственно). На ст. 3 (речная зона) равные показатели ГБ (25 тыс. кл·мл<sup>-1</sup>) выявлены в мартовской и майской пробах. В апреле в воде данной станции отмечено снижение числа ГБ на один порядок.

УОБ высеяны из всех проб воды. Наибольшая численность УОБ на ст. 1 отмечена в апрельской пробе (200 кл·мл<sup>-1</sup>), наименьшая — в майской (8 кл·мл<sup>-1</sup>). В марте показатели УОБ на ст. 1 не пре-

вышли второго порядка. На ст. 2 в апреле отмечена высокая численность УОБ (25 тыс. кл.·мл<sup>-1</sup>); следует отметить и превышение ПДК нефти в данной пробе. В мае число УОБ снизилось до 95 кл.·мл<sup>-1</sup>. В пресных водах ст. 3 в марте число УОБ не превышало 5 бактериальных клеток в мл воды. Апрельские и майские показатели УОБ на данной станции составляли 950 и 450 кл.·мл<sup>-1</sup> соответственно.

Пробы донных отложений отличались по гранулометрическому составу и физико-химическим показателям. На ст. 1 донные отложения представлены серыми илами с отрицательным значением Eh (Eh = -31 мВ), на ст. 2 — илами с примесью песка (Eh = +10 мВ), а на ст. 3 — мелкодисперсным песком с примесью глины и остатков растительности (Eh = +58 мВ). Величина рН в образцах исследуемого грунта варьировала в диапазоне от 7,44 (ст. 1) до 7,94 (ст. 3). Натуральная влажность донных отложений в морской зоне (ст. 1) и зоне смешения река – море (ст. 2) была равнозначной и составляла 64 %; в речной зоне показатель был несколько выше (78 %), что в целом является закономерным для данных типов осадков. Значения водородного потенциала (rH<sub>2</sub>), рассчитанные для каждого участка по формуле У. И. Кларка ( $rH_2 = Eh / 29 + 2pH$ ), были меньше 20 (rH<sub>2</sub> < 20), что, согласно градации [1], свидетельствует о преобладании восстановительных процессов в донных осадках исследуемой акватории. Солёность воды с поверхностного горизонта изменялась по разрезу река — море от 1 ‰ (ст. 3) до 18 ‰ (ст. 1). В придонном слое морской части солёность составляла 17 ‰. Содержание ХЭВ в морской зоне варьировало от 460 до 520 мг на 100 г воздушно-сухого вещества, в переходной — от 200 до 420 мг на 100 г, а в речной — от 100 до 250 мг на 100 г. Наибольшие концентрации ХЭВ отмечены в морской зоне (рис. 3). Наименьшие концентрации ХЭВ определены в речном грунте. В донных отложениях ст. 1 отмечена стабильная концентрация ХЭВ.

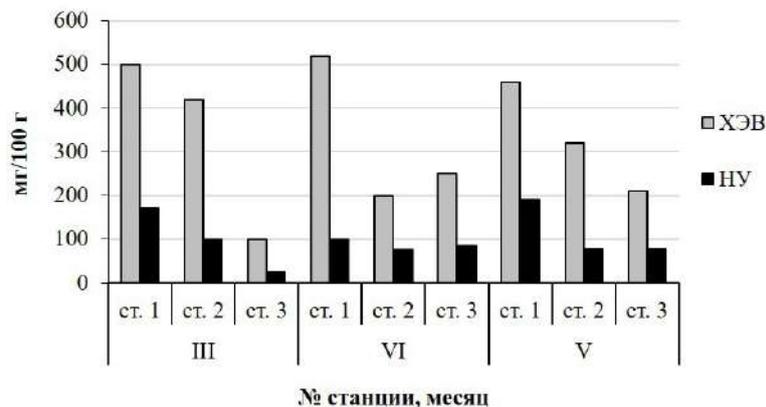


Рис. 3. Концентрации ХЭВ и НУ в донных отложениях исследуемых станций

Максимальные концентрации НУ (до 190 мг на 100 г) зарегистрированы на морском участке, а минимальные (до 26 мг на 100 г) — на речном. В переходной зоне показатели НУ колебались от 77 до 100 мг на 100 г (рис. 3).

Численность ГБ в донных отложениях реки (ст. 3) варьировала в пределах четвертого порядка (от 25 тыс. до 95 тыс. бактериальных клеток в грамме донных отложений). Максимальные значения на ст. 3 отмечены в марте (95 тыс. кл.·г<sup>-1</sup>). В этом же месяце показатели численности ГБ на ст. 1 и 2 составляли 75 тыс. и 45 тыс. соответственно. В апреле число ГБ на ст. 1 снизилось на порядок, а на ст. 3 значение уменьшилось до 45 тыс. кл.·г<sup>-1</sup>. В майских пробах численность ГБ в речной и морской зоне была в пределах четвертого порядка.

Бактерии, осуществляющие деструкцию углеводородов нефти, высеяны из всех проб донных отложений. Численность УОБ в донных отложениях реки (ст. 3) в мартовских и апрельских пробах была довольно высокой — 4500 кл.·г<sup>-1</sup>. Число УОБ на морской станции в эти же месяцы было на порядок ниже. На обеих станциях в майских пробах число УОБ снизилось и не превышало второго порядка (45 и 25 кл.·г<sup>-1</sup>). Численность УОБ в марте на ст. 2 равнозначна с показателями ст. 1. Наибольший процент УОБ от численности ГБ выявлен, как и в пробах воды, на всех станциях в апреле (ст. 1 — 13 %, ст. 3 — 10%).

**Заключение.** Проведённая сравнительная оценка количественных показателей гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий (ГБ и УОБ) в весенний период показала, что на станциях с различной солёностью численность гетеротрофного бактериопланктона варьирует в равных пределах. Численность ГБ в исследуемой акватории схожа с таковой в донных отложениях. Наибольшая доля УОБ в общей численности гетеротрофного бактериопланктона на всех станциях выявлена в апреле, причём максимальный показатель, 55 %, определён в водах переходной зоны. Доля УОБ от численности ГБ в воде превышала таковую в донных отложениях. Наибольшие концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов (ХЭВ и НУ) выявлены в донных отложениях морской зоны, а наименьшие — в речной зоне. В отличие от донных отложений речной и переходной зон, в донных отложениях морской зоны отмечена стабильная концентрация ХЭВ. Низкая концентрация НУ в водах исследуемых станций, обусловленная, по всей видимости, максимальным стоком речной воды, получена в марте. В водах речной зоны определены минимальные показатели содержания НУ по сравнению с другими исследуемыми участками. В то же время в 33 % проб воды, отобранных на станциях 1 и 2, выявлено превышение ПДК ( $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Поступление нефтяных углеводородов в практически равных объёмах в исследуемый период происходило постоянно, о чём свидетельствует процентное содержание НУ от ХЭВ, которое составляло в среднем для морской зоны — 31 %, для переходной — 29 %, для речной — 32 %. Минимальное содержание НУ в водах речной зоны свидетельствует о нерегулярном поступлении загрязняющих веществ в бухту со стоком реки. В то же время превышение ПДК в водах морской зоны в мае указывает на поступление свежих нефтепродуктов, не связанных с речным стоком.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозоологических процессов в экосистемах водоёмов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7) и государственного задания ФИЦ МГИ «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на её границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях» (Океанологические процессы) (№ FN NN-2024-0001).*

#### Список литературы

1. Ганжара Н. Ф. Почвоведение. М. : Агроконсалт, 2001. 392 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений)
2. Миньковская Р. Я. Оценка выноса нефтяных углеводородов реками в Чёрное море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. № 3. С. 87–93.
3. Миньковская Р. Я., Демидов А. Н. Эволюция морского устья реки Чёрной (Севастопольский регион) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 1. С. 81–88.
4. Миронов О. Г. Санитарно-биологические аспекты экологии севавтопольских бухт в XX веке / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алёмов. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с.
5. Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. М. : Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
6. Родина А. Г. Методы водной микробиологии. М. ; Л. : Наука, 1965. 363 с.
7. Руководство по методам химического анализа морских вод / под ред. С. Г. Орадовского. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 118–131.
8. Совга Е. Е., Хмара Т. В. Влияние стока реки Черной в периоды паводка и межени на экологическое состояние кутовой части акватории Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1 (211). С. 31–40. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-1-31-40>

УДК 504.03

## Антропогенная трансформация ландшафтов бассейнов рек системы Салгира

Власова А. Н.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ avlas05@mail.ru

Рассмотрены природопользование и антропогенная преобразованность бассейна реки Салгир. На основе расчётов коэффициента антропогенной преобразованности территории проанализированы особенности трансформации ландшафтов в пределах бассейнов рек системы Салгира. Определены наиболее преобразованные участки бассейнов.

**Ключевые слова:** речной бассейн, ландшафт, антропогенная преобразованность

С точки зрения бассейнового подхода речной бассейн рассматривается как единая социально-эколого-экономическая система [2 ; 3], выделяется как оптимальная территориальная единица для изучения процессов, связанных с переносом и трансформацией веществ [10]. От антропогенной нагрузки на водосбор зависят устойчивость ландшафтов, экологическое состояние водных объектов и количество водных ресурсов. В связи с этим целесообразным является изучение антропогенной трансформации ландшафтов в пределах бассейновых комплексов, а не только административно-территориальных единиц.

Методики оценки степени антропогенного воздействия на ландшафты описаны в работах П. Г. Шищенко [9], Б. И. Кочурова [4], В. А. Бокова [1] и многих других учёных. Общий принцип этих методик заключается в определении степени отклонения современных (природно-антропогенных) ландшафтов от первичных (восстановленных, природных).

Распространённой интегральной методикой оценки антропогенного воздействия на ландшафты является определение коэффициента антропогенной преобразованности, предложенное П. Г. Шищенко [9]:

$$K_{ан} = \frac{\sum(r_i p_i q) n}{100} \quad (1)$$

где  $K_{ан}$  — коэффициент антропогенной преобразованности территории;

$r_i$  — ранг антропогенной преобразованности ландшафта  $i$ -м видом природопользования;

$p_i$  — площадь  $i$ -го вида природопользования в %;

$n$  — количество выделов в пределах территории;

$q$  — индекс глубины преобразованности ландшафтов.

Разным видам хозяйственного использования соответствуют различные значения ранга и индекса глубины преобразованности: заповедным территориям — 1, 1; садам — 5, 1,2; пашням — 6, 1,25; населённым пунктам сельским — 7, 1,3; населённым пунктам городским — 8, 1,35; транспортным магистралям — 10, 1,5; землям промышленного использования — 11, 1,55 и т. д. [9]. Расчётные значения коэффициента преобразованности изменяются от 0 до 10 — от непреобразованных к очень сильно преобразованным и трансформированным ландшафтам. Чем больше площадь для различных видов природопользования, тем в большей степени ландшафт преобразован хозяйственной деятельностью.

Бассейны рек Крыма представляют собой современные ландшафты, трансформированные многолетней селитебной и хозяйственной деятельностью. Исследования антропогенной преобразованности в пределах речных бассейнов Крыма стали проводиться сравнительно недавно. Рассматривался бассейн крупнейшей реки полуострова, Салгир [2 ; 7], и её верховья [5]; изучалась преобразованность

территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор [11]. В данной работе продолжены исследования антропогенной трансформации ландшафтов бассейнов малых рек системы Салгира.

Река Салгир (длина 204 км, площадь бассейна 3750 км<sup>2</sup>) — крупнейшая в Крыму водная система. Салгир берёт начало на северном макросклоне Главной гряды Крымских гор, пересекает Внутреннюю и Внешнюю предгорные гряды, Центрально-Крымскую равнину и Присивашскую низменность, впадает в залив Сиваш Азовского моря, проходя через зоны горных лесов, лесостепи и степи. Самый крупный приток Салгира — Биюк-Карасу длиной 86 км; площадь его бассейна составляет 1160 км<sup>2</sup>. Другие крупные притоки — р. Зуя с Бештереком и Бурульча, а в верховьях — р. Ангара и Малый Салгир. Природные ландшафты сильно преобразованы, что связано с существованием сети сельских населённых пунктов, семи посёлков городского типа и двух городов (Симферополь — 360 тыс. чел., Белогорск — 25 тыс. чел.) [2]. В бассейне Салгира в XXI в. сохраняются следующие виды деятельности: по долинам рек — садоводство; лесное хозяйство, охота, рыболовство, ограниченное рыбозаповедение, лимитированное скотоводство, редко — выращивание зерновых культур и некоторых эфиромасличных; особую значимость приобретают массовый туризм и природоохранная деятельность [8].

Изучение антропогенной трансформации бассейнов рек системы Салгира проводилось с использованием ГИС-технологий и геоданных из открытых источников. Базовыми данными являлись карты хозяйственной подсистемы современных ландшафтов бассейнов, составленные автором в ArcGIS 10.1 на основе космических снимков высокого разрешения Landsat и данных маршрутных наблюдений.

Анализируя использование земель, особое внимание нужно обратить на количество естественных лесных ландшафтов. В целом лесистость бассейна р. Салгир составляет 13,8 %, что превышает средний для Крыма показатель (10,5 %), однако эти значения меньше рекомендуемых. Социально-экономические функции лесов сводятся к природоохранной, рекреационной и лесохозяйственной. По данным крымских лесогидрологов [6], буковые леса имеют исключительное водоохранное значение, а дубовые и сосновые леса — большое противоэрозийное значение. Большая часть лесов Крымских гор относится к третьей-четвёртой генерации; уничтожение древесного яруса привело к возрастанию сухости; вдольсклоновая распашка и вырубка лесов усиливают оползневые и эрозионные процессы, формирование неразвитых короткопрофильных почв и снижение мощности рыхлых отложений; следствие — увеличение экстремального характера паводков, пересыхание родников и снижение количества водных ресурсов [8]. Именно поэтому сохранение и восстановление лесных ландшафтов предгорья влечёт за собой увеличение водных ресурсов, недостаток которых является сдерживающим фактором экономического развития Крыма.

Территория предгорья подвержена отрицательному воздействию горнодобывающей промышленности, достигшей максимального развития в 1980-е гг., когда происходило создание крупных карьеров по добыче строительных материалов из мраморовидного известняка и магматических пород (г. Белогорск, с. Лозовое, с. Мраморное и др.), а также по производству известняковых блоков из мшанкового и нуммулитового известняка (Белая Скала и др.). Открытая разработка известнякового сырья приводила к нарушению свойств природных ландшафтов, изменению режимов увлажнения и уровня подземных вод, микроклиматическим изменениям, нарушениям процессов вегетации растений. Разработка в крупных карьерах во многих случаях прекратилась, но были остановлены и работы по рекультивации, несанкционированно возникли мелкие карьеры по добыче глины, песка и других строительных материалов, ухудшающие состояние геосистем.

В работе [7] нами рассмотрена антропогенная преобразованность бассейна р. Салгир на региональном уровне. В качестве операционных единиц при расчёте антропогенной преобразованности территории были выбраны квадраты площадью 25 км<sup>2</sup>. Среднее значение коэффициента антропогенной преобразованности  $K_{ан}$  бассейна р. Салгир составляет 6,1 — средне преобразованные ландшафты. Очень сильно преобразованные ландшафты ( $K_{ан}$  изменяется от 7,41 до 8), включая трансформированные ( $K_{ан} > 8$ ), приурочены к распаханым равнинным участкам и интенсивно освоенной долине Салгира в окрестностях Симферополя, они занимают около трети бассейна. Половина бассейна р. Салгир — преобразованные ( $K_{ан}$  варьирует от 3,81 до 5,3), сильно и средне преобразованные

ландшафты ( $K_{ап}$  изменяется от 5,31 до 6,5 и от 6,51 до 7 соответственно), они представлены преимущественно в предгорье. Слабо преобразованные ландшафты занимают около 14 % и распространены в пределах Главной гряды.

Рассмотрим подробнее степень антропогенной трансформации ландшафтов в пределах нескольких бассейнов малых рек системы Салгира (Ангара, Малый Салгир, Зуя, Бештерек, Бурульча и Бююк-Карасу). Верховья данных рек (и полностью бассейн р. Ангара) находятся в среднегорном ландшафтном уровне, который включает в себя зону северного макросклона гор с буковыми, дубовыми и смешанными широколиственными лесами, а также зону яйлинских плато с горными лугами и горной лесостепью. Бассейн р. Малый Салгир и средняя часть бассейнов р. Зуя и Бештерек находятся в низкогорном ландшафтном уровне предгорья Крымских гор, который представлен ландшафтным поясом дубовых лесов и кустарниковых зарослей на останцово-денудационных и наклонных структурных денудационных равнинах и куэстовых возвышенностях. В долинах рек выделяются пойменно-террасовые местности с тополево-ивовыми и дубовыми лесами в комплексе с луговой растительностью. В нижнем течении р. Зуя и Бештерек пересекают пояс разнотравно-бородачевых и разнотравно-асфоделиновых степей на аккумулятивных и денудационных равнинах. Низовья р. Бурульча и Бююк-Карасу пересекают плакорный уровень — зону типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями.

Как видно на снимках Landsat, и составленных автором картах типов природопользования, степные комплексы в пределах бассейнов практически полностью замещены агроценозами (в основном пашнями). Растениеводство представлено выращиванием зерновых и зернобобовых культур, ягод, фруктовых садов, а также виноградарством. В области животноводства развитие получил пригородный тип хозяйствования, который включает молочное животноводство, птицеводство и овцеводство [5]; также характерно использование земли в виде пастбищ.

Среди бассейнов рек системы Салгира бассейн р. Ангара отличается наибольшей степенью лесистости (64,8 %), что близко к рекомендуемым значениям; это говорит о высокой устойчивости территории. В бассейне р. Бурульча естественные ландшафты (леса и участки степной растительности) занимают больше трети территории, что также свидетельствует о хороших стокорегулирующих условиях. Из рассматриваемых бассейнов самый низкий показатель естественных ландшафтов — в бассейне р. Малый Салгир (8,6 %), что в 6,5 раза меньше оптимального (рис. 1).

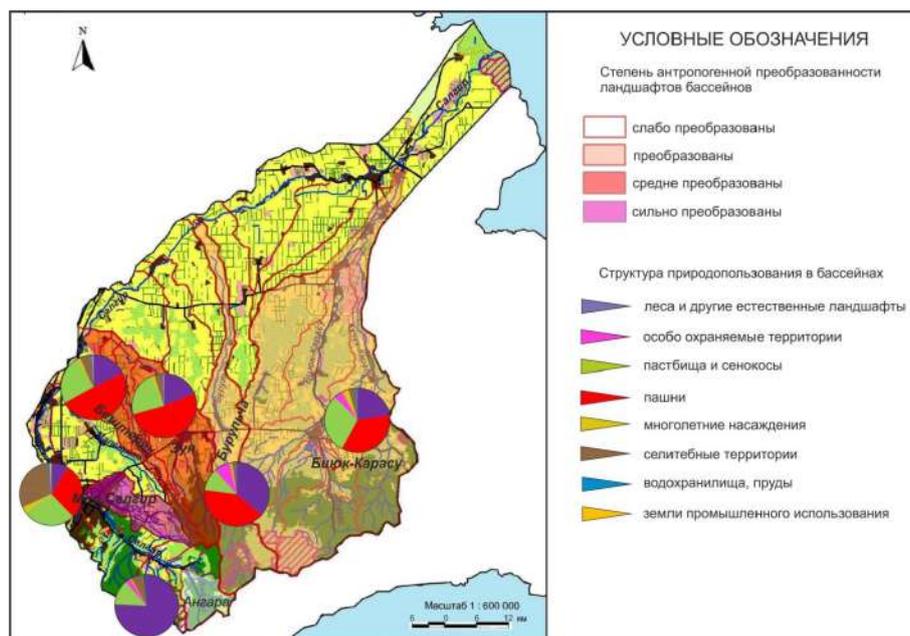


Рис. 1. Антропогенная преобразованность ландшафтов бассейнов рек системы Салгира

При анализе структуры землепользования бассейнов видно, что часть, занятая сельскохозяйственными угодьями (пашнями, пастбищами и сенокосами, многолетними насаждениями), выше всего в бассейнах р. Зуя (76,7 %) и Бештерек (75,6 %), это несколько выше среднего значения по Крыму (69 %). Меньше всего площади сельхозугодья занимают в бассейне р. Ангара (11,6 %).

Наибольшая площадь селитебных земель — в пределах бассейна р. Малый Салгир (29,97 %), здесь размещается часть г. Симферополя; в остальных бассейнах под застройкой ниже 10 %. Трансформированные урбанизированные ландшафты — наиболее проблематичные в экологическом отношении. На ландшафты бассейна р. Малый Салгир сильнее всего повлияли стихийные процессы урбанизации, и в настоящее время предгорье является одним из наиболее освоенных районов.

В пределах бассейнов р. Ангара, Биюк-Карасу и Бурульча находятся особо охраняемые природные территории, ограничивающие антропогенную деятельность. Наиболее крупные — государственный природный заказник «Долгоруковская яйла», национальный парк «Крымский», ландшафтно-рекреационный парк «Урочище Кизил-Коба», ботанический заказник «Тырке», геологический заказник «Горный карст Крыма», ландшафтный заказник «Караби-Яйла» и природный парк «Белая скала».

Коэффициент антропогенной преобразованности ландшафтов является наибольшим в пределах бассейна р. Малый Салгир, это сильно преобразованные ландшафты; минимальный он у бассейна р. Ангара, это слабо преобразованные ландшафты (табл. 1). Ландшафты бассейнов р. Зуя и Бештерек средне преобразованы и заняты в основном пахотными землями. Бассейны р. Бурульча и Биюк-Карасу преобразованы в меньшей степени, особенно в верхнем течении, где находятся ООПТ. Населённые пункты и земли промышленного использования занимают небольшую площадь по отношению ко всей территории этих бассейнов.

Бассейн реки	Площадь, км <sup>2</sup>	Естественные ландшафты, %	Коэффициент антропогенной преобразованности $K_{ан}$	Степень преобразованности ландшафтов
Малый Салгир	96,1	8,6	7,05	сильная
Ангара	61,9	64,8	2,48	слабая
Зуя	421	18,54	5,87	средняя
Бештерек	82,3	17,7	5,93	средняя
Бурульча	241	36,05	4,67	преобразованы
Биюк-Карасу	1160	26,47	4,93	преобразованы

Таблица 1. Коэффициенты антропогенной преобразованности бассейнов малых рек системы Салгира

В областях формирования стока рек системы Салгира ландшафты слабо преобразованы, а в районах потребления водных ресурсов (предгорье, равнинная часть) они более трансформированы. Горные (в прошлом преимущественно лесные) ландшафты обеспечивают количество и качество водных ресурсов рек системы Салгира, поэтому дальнейшее преобразование ландшафтов горной части бассейна недопустимо. Значение коэффициентов антропогенной преобразованности можно использовать в качестве характеристики современных ландшафтов, отражающей необходимость регуляции антропогенного воздействия на речные бассейны.

#### Список литературы

1. Боков В. А., Карпенко С. А. К методике оценки экологической ситуации // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География». 2010. Т. 23 (62), № 3. С. 284–288.
2. Власова А. Н. Методические подходы к ландшафтному планированию бассейна р. Салгир // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017. № 2 (194). С. 84–91.

3. Коротный Л. Н. Бассейновая концепция природопользования. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СоРАН, 2001. 163 с.
4. Кочуров Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. Москва – Смоленск : Маджента, 2003. 384 с.
5. Линёва Н. П., Табунщик В. А. Антропогенная преобразованность территории в пределах верховьев бассейна р. Салгир (Крымский полуостров): современное состояние и анализ // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9 (19), вып. 4. С. 83–98.
6. Олиферов А. Н. Яйла: география, лес, вода. Симферополь : Бизнес-Информ, 2011. 192 с.
7. Позаченюк Е. А., Ергина Е. И., Олиферов А. Н., Михайлов В. А., Власова А. Н., Кудрянь Е. А., Пенно М. В., Калинин И. В. Анализ факторов формирования водных ресурсов р. Салгир в условиях изменяющегося климата // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География». 2014. Т. 27 (66), № 2. С. 117–138.
8. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е. А. Позаченюк. Симферополь : Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
9. Шищенко П. Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании. К. : Фитосоциоцентр, 1999. 284 с.
10. Экологическая энциклопедия : в 6 т. / ред.-сост. В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев и др. М. : ООО Изд-во «Энциклопедия». Т. 1. А–Г. 2008. 416 с.
11. Tabunshchik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Anthropogenic transformation of the river basins of the northwestern slope of the Crimean Mountains (the Crimean Peninsula) // Land. 2022. Vol. 11, iss. 12. Art. no. 2121 (15 p.). <https://doi.org/10.3390/land11122121>

УДК 91(234.3)

## Проблемы трансграничного природопользования в бассейне Сунжи

Гуня А. Н.<sup>1,2</sup>, Керимов И. А.<sup>2,3</sup>, Гайрабеков У. Т.<sup>2,3</sup>, Гагаева З. Ш.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова,  
Грозный, Россия

<sup>3</sup>Академия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия

✉ [gunyaa@yahoo.com](mailto:gunyaa@yahoo.com)

Бассейн Сунжи охватывает часть территорий четырёх регионов России и два небольших ареала в верховьях рек Ассы и Аргуна в Грузии. Вследствие этого управление природопользованием и регулирование природоохранных мероприятий приобретают межрегиональный и международный характер.

**Ключевые слова:** бассейн Сунжи, природопользование, межрегиональное природопользование

Бассейн реки Сунжа расположен на Восточном Кавказе. Притоки Сунжи находятся в пределах четырёх регионов — субъектов Российской Федерации (Чеченской Республики, Ингушетии, Северной Осетии — Алании и Дагестана). Верховья рек Аргуна и Ассы — притоков Сунжи — находятся на территории Грузии. Вследствие этого управление природопользованием и регулирование природоохранных мероприятий приобретают межрегиональный и международный характер. В условиях изменения климата и глубокой трансформации природопользования выработка согласованных природопользовательских решений и ведение мониторинга в пределах водосбора играют важную роль для жизнедеятельности более чем 1,5 млн человек, проживающих на территории бассейна (рис. 1).

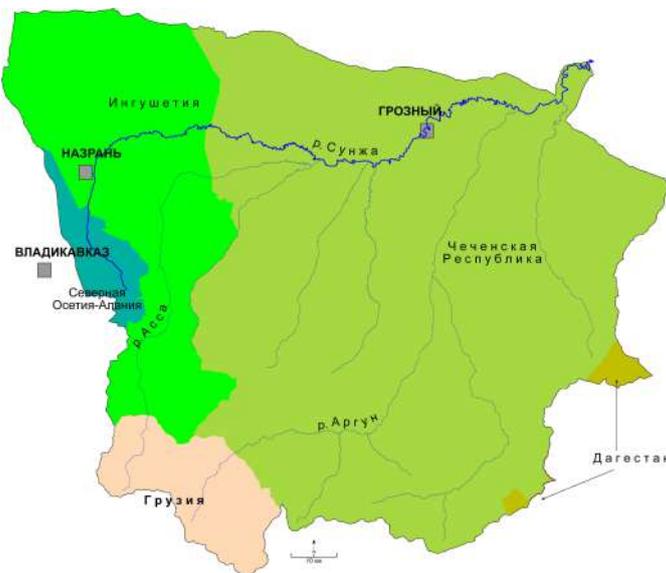


Рис. 1. Бассейн реки Сунжа в административных границах

**Международные аспекты трансграничного природопользования в бассейне реки Сунжа.** Вопросы трансграничного природопользования на Кавказе являются весьма актуальными в связи с изменением климата и другими глобальными проблемами современности [1]. Известно, что ось максимальных горизонтальных неотектонических движений на Большом Кавказе не совпадает с главным водоразделом, смещённым к югу и представленным Главным, или Водораздельным,

хребтом. Большая часть государственной границы России на Северном Кавказе проходит по наиболее высоким хребтам. Однако восточнее горы Казбек граница проходит по Боковому хребту, поэтому верховья таких рек, как Терек, Асса, Аргун и Андийский Койсу, находятся на территории Грузии. В бассейне Сунжи южные районы Ингушетии граничат с ареалом грузинского населения в верховьях р. Асса — местом проживания нескольких семей хевсуров-орхотов. Этот крайне удалённый и труднодоступный ареал поддерживается государственными проектами, здесь начинает развиваться туризм. В советское время именно по р. Асса планировалось строительство транскавказской железной дороги, прервавшееся с развалом СССР.

Другой известный ареал за Главным Кавказским хребтом расположен в верховьях Аргуна. Здесь находится агломерация нескольких населённых пунктов, образующих группу поселений Шатили. До недавнего времени там находились 8 населённых селения и 4 покинутых, а также 3 села для зимовок [2]. Однако с ростом популярности Шатили для туристов заброшенные селения активно реновируются, здесь строятся гостиницы и другая инфраструктура. Селение административно подчиняется Душетскому району региона Мцхета-Мтианети. Постоянное население составляет около 200 человек (грузины, этническая группа хевсуры). Местное население возлагает надежды на туризм и ориентируется на собственное хозяйство (животноводство и очаговое земледелие с выращиванием картофеля, производством сыра и топлёного масла). Уникальным для Шатили является культурный ландшафт — в первую очередь башни и средневековые укрепления. Именно они привлекают туристов в летнее время. Некоторые строения адаптированы для приёма туристов.

Населённые пункты разбросаны на высотах от 1400 до 1800 м над уровнем моря. До районного центра около 100 км, до Тбилиси 150 км. При этом для связи существуют только грунтовые дороги, используемые преимущественно для автомобилей с улучшенной проходимостью, а движение прерывается с ноября по июнь из-за закрытия перевала Датвис Джвари (2676 м). Туристы вынуждены преодолевать труднодоступные перевалы, чтобы достичь Шатили. При возможной организации пограничного пропускного пункта в районе Цой-Педе в Чеченской Республике дорога в Шатили по долине р. Аргун займёт пару часов. Потенциал взаимовыгодного развития туризма и сельского хозяйства по обе стороны границы очевиден. Однако реализация проектов в этой области остаётся приостановленной в связи с необходимостью решения проблем безопасности.

**Основные аспекты межрегионального природопользования в бассейне р. Сунжа. Северная Осетия — Алания — Ингушетия.** Сложный рельеф территории и активное хозяйственное освоение привели к появлению нескольких проблемных аспектов межрегионального природопользования. Ярким примером является междуречье Сунжи и Терека в районе селений Камбилеевка и Сунжа. Вода из р. Камбилеевка, впадающей в Терек, подавалась по каналам в Сунжу. Ныне оросительная сеть приходит в упадок. Мониторинг стока из реки Камбилеевка и рядом протекающей Сунжи затруднён. Требуется мероприятия по упорядочению водопользования, основанные на учёте и мониторинге использования водных ресурсов.

**Чеченская Республика — Дагестан.** Имеются два небольших участка бассейна Сунжи на территории Дагестана. Это верховья рек Шарой-Аргуна и Хулхулау, которые находятся в Дагестане. Они в основном представляют собой летние пастбища аварских субэтносов. Межрегиональное природопользование может потребовать упорядочения выпаса, а также проведения мероприятий по санации пастбищ и обеспечению возобновления лесных участков для повышения устойчивости склонов к стихийно-разрушительным процессам.

**Чеченская Республика — Ингушетия.** Наиболее острая институциональная проблема возникла при размежевании Чеченской Республики и Ингушетии. На границе этих регионов находится государственный природный заповедник «Эрзи». Для оптимизации природоохранной деятельности, в том числе с учётом сохранения буферной зоны заповедника, на территории Чеченской Республики начато проектирование Национального парка Даймохк.

**Основные мероприятия для оптимизации трансграничного природопользования в бассейне реки Сунжа** должны опираться на согласованную систему мер по мониторингу и охране окружающей среды.

Приоритетными направлениями являются:

- Мониторинг снежно-ледовых ресурсов в высокогорных районах бассейна Сунжи. В настоящее время многие участки вследствие их нахождения в пограничной зоне недоступны для полевых исследований. Анализ динамики ледников в верховьях Аргуна и Ассы показывает сокращение ледников и снежников, что в будущем грозит снижением доли ледникового питания рек бассейна Сунжи.
- Оптимизация выпаса, в особенности на субальпийских и альпийских пастбищах, находящихся в верховьях притоков Сунжи. Многие пастбища испытывают в настоящее время большую нагрузку вследствие неконтролируемого роста поголовья скота в частном пользовании. Яркий пример — верховья Шарой-Аргуна, в районе селения Кенхи на границе с Дагестаном.

Важно отметить следующее: неравномерная нагрузка на пастбища привела к тому, что в различных районах динамика верхней границы леса характеризуется разными трендами. Это хорошо заметно по снимкам высокого разрешения. Во многих случаях отмечается зарастание мелколесьем и азалией пастбищ [3].

Особое место должен занимать мониторинг стихийно-разрушительных процессов; в частности, следует вести наблюдения за селесборными бассейнами в верховьях рек, а также за приледниковыми озёрами, образовавшимися в связи с отступанием ледников. До сих пор такие наблюдения имеют эпизодический характер, и этого недостаточно для предупреждения катастрофических селей и паводков на реках бассейна Сунжи.

#### Список литературы

1. Гуня А. Н., Гуня Е. А. Современные проблемы трансграничного сотрудничества в области природопользования и охраны природы на Кавказе // *Природа и самоорганизация общества. Серия: Социоестественная история*. Москва : Московский лицей, 2002. Вып. 22. С. 181–182.
2. Гуня А., Рэппе С., Шатаберашвили Н. Современные тенденции развития на Кавказе на локальном уровне // *Кавказский географический журнал*. Географическое общество Грузии. 2007. № 7–8. С. 43–51.
3. Пуреховский А. Ж., Гуня А. Н., Колбовский Е. Ю. Динамика высокогорных ландшафтов Северного Кавказа по данным дистанционного зондирования в 2000–2020 гг. *Известия Дагестанского государственного педагогического университета // Естественные и точные науки*. 2022. Т. 16, № 2. С. 72–84. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-2-72-84>

УДК 551.583

## Пространственно-временная изменчивость температуры воздуха в бассейнах рек водосбора Каспийского моря

Дрыгваль П. В.<sup>1</sup>, Дрыгваль А. В.<sup>1</sup>, Горбунова Т. Ю.<sup>1,2</sup>, Никифорова А. А.<sup>1</sup>, Горбунов Р. В.<sup>1,2</sup>,  
Табунщик В. А.<sup>1,2</sup>, Керимов И. А.<sup>2</sup>, Киселева М. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова,  
Грозный, Россия

✉ [any-poly@mail.ru](mailto:any-poly@mail.ru)

Проведено исследование температурных аномалий в бассейнах малых и средних рек южной и западной части водосбора Каспийского моря: Горган (Иран), Карачай (Азербайджан), Атачай (Азербайджан), Сулак (Россия), Сунжа (Россия), Уллучай (Россия) и Хераз (Иран), впадающих в Каспийское море, за три временных периода: 1961–1981, 1982–2004 и 2005–2023 гг. Результаты исследования включают определение значений температурных аномалий и их пространственное распределение в пределах рассматриваемых бассейнов рек. На основе полученных данных были созданы карты аномалий средних многолетних значений температуры воздуха, а также выявлены основные тенденции изменения этого метеопараметра в рассматриваемом регионе за период с 1961 по 2023 г.

**Ключевые слова:** климатические аномалии, температура воздуха, бассейны рек, Каспийское море, Z-анализ, изменение климата

Изучение изменений климата в водосборных бассейнах, особенно в уникальном Прикаспийском регионе, является актуальной задачей [1–4]. Для адаптации к возможным изменениям климата необходимо глубокое понимание текущих и будущих климатических условий. Анализ климатических данных и определение климатических аномалий являются важными инструментами для изучения изменений климата.

В некоторых работах [5–8] рассматриваются климатические аномалии в Каспийском регионе, при всём этом понятие «аномалия» может интерпретироваться по-разному. Чаще всего аномалиями считают отклонения метеорологических параметров от их средних значений.

Для оценки изменений температуры воздуха в бассейнах рек водосбора Каспийского моря: Горган (Иран), Карачай (Азербайджан), Атачай (Азербайджан), Сулак (Россия), Сунжа (Россия), Уллучай (Россия) и Хераз (Иран) — использовались данные цифровой модели рельефа [9], векторные слои границ речных бассейнов [10], а также данные реанализа ERA5 [11]. Обработка и визуализация данных проводились с помощью ArcGIS 10.2, платформы облачных вычислений Google Earth Engine и MS Office Excel 2013.

Достоверность данных реанализа была проверена с помощью корреляции с данными метеорологических станций за период 1961–2023 гг. (табл. 1). Для выявления аномалий использовался метод Z-анализа.

Проверочный коэффициент	Температура
Коэффициент корреляции Пирсона	0,99
Коэффициент детерминации	0,97
	Весьма высокая корреляционная связь по шкале Чеддока
	Регрессионная модель хорошего качества

Таблица 1. Проверочные коэффициенты сравнения данных метеорологических станций и данных реанализа

Был проведён анализ тенденций изменения температуры за 1961–2023 гг., который позволил выделить три временных периода: 1961–1981, 1982–2004 и 2005–2023 гг. Каждый из них характеризуется своей динамикой изменения среднегодовой температуры воздуха.

Для общей территории всех рассматриваемых бассейнов рек были рассчитаны значения аномалий средних многолетних температур (табл. 2).

Min, °C	Max, °C	Ср. знач., °C	Станд. от- клон., °C	Z = 1 (норма)	Положительные аномалии тем- ператур, °C		Z = -1 (норма)	Отрицательные аномалии тем- ператур, °C	
					Z = 2 (выше нормы)	Z = 3 (значи- тельно выше нормы)		Z = -2 (ниже нормы)	Z = -3 (значи- тельно ниже нормы)
<b>Бассейны изучаемых рек</b>									
1961–1981 гг.									
2,66	17,92	7,84	4,71	12,55	17,26	21,97	3,13	-1,58	-6,29
1982–2004 гг.									
2,66	18,43	7,99	4,83	12,82	17,65	22,48	3,16	-1,67	-6,50
2005–2023 гг.									
2,07	19,65	9,12	5,01	14,13	19,14	24,15	4,11	-0,90	-5,91

Таблица 2. Температуры, статистически соответствующие значениям аномалий температур воздуха в пределах изучаемых бассейнов рек (по данным реанализа)

На рис. 1–3 представлены поля распространения аномальных значений средних многолетних температур за рассматриваемые периоды времени — за 1961–1981 гг. (рис. 1), 1982–2004 гг. (рис. 2) и 2005–2023 гг. (на рис. 3).

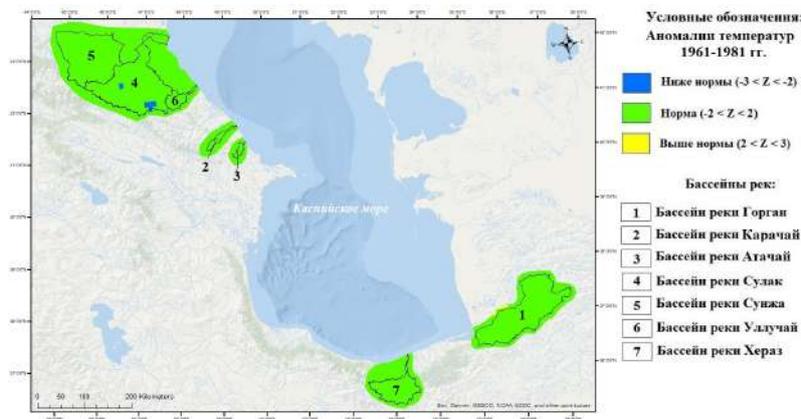


Рис. 1. Аномалии средних многолетних температур в пределах бассейнов малых и средних рек Каспийского водосбора в период 1961–1981 гг.

Анализ аномалий температуры в бассейнах рек показал, что в течение всех рассматриваемых периодов отсутствуют экстремальные отрицательные ( $Z = -3$ ) и положительные ( $Z = 3$ ) аномалии. Тем не менее отмечены следующие тенденции:

- отрицательные аномалии ( $Z = -2$ ) встречаются в южной части бассейна реки Сулак и в центре этого бассейна в первый временной период исследования (1961–1981 гг.);
- положительные аномалии ( $Z = 2$ ) присутствуют только в северо-западной части бассейна реки Горган, ближе к водоразделу;
- за три рассматриваемых временных периода зона распространения положительных температурных аномалий уменьшилась;
- значения температур, соответствующие аномалиям, увеличились (положительные аномалии — на 1,9 °C, отрицательные — на 0,7 °C).

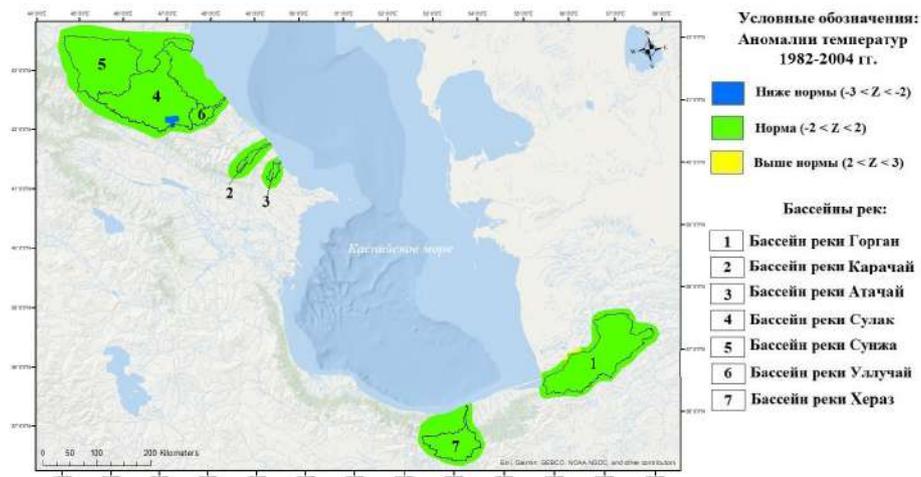


Рис. 2. Аномалии средних многолетних температур в пределах бассейнов малых и средних рек Каспийского водосбора в период 1982–2004 гг.

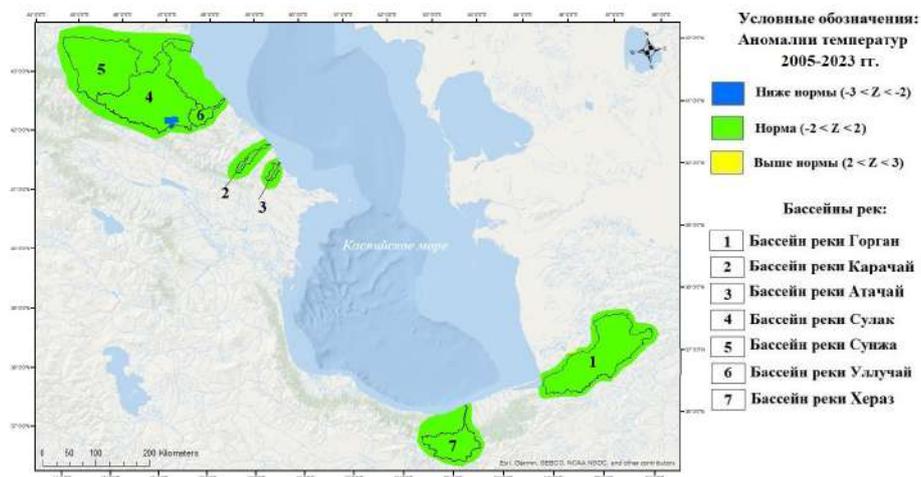


Рис. 3. Аномалии средних многолетних температур в пределах бассейнов малых и средних рек Каспийского водосбора в период 2005–2023 гг.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (соглашение № 075-15-2024-644).*

#### Список литературы

1. Moradi H. R. The role of the Caspian Sea in precipitation conditions on the shores of the north of Iran // Материалы международной научной конференции «Изменения климата и водного баланса Каспийского региона» (19–20 октября 2010 года, Астрахань). Астрахань : [б. и.], 2011. С. 244–250.
2. Rabbaniha M. Assessment of climate change impacts on the Caspian Sea Iranian coastal wetlands, using by GIS // INOC-IIUM-International Conference on Oceanography & Sustainable Marine Production: A Challenge of Managing Marine Resources under Climate Change. Kuantan, Malaysia, 2013.

3. Lebedev S. A. Investigation seasonal and interannual variability of the Caspian sea dynamics based on satellite altimetry data // Living Planet Symposium 2016 : Proceedings, Czech Republik, Prague, 9–13 May 2016. [Paris, France] : European Spase Agency, 2016. Vol. SP-740. P. 1–8.
4. Ibrayev R. A., Ozsoy E., Schrum C., Sur H. I. Seasonal variability of the Caspian Sea three-dimensional circulation, sea level and air-sea interaction // Ocean Science Discussions. 2010. Vol. 6, iss. 1. P. 311–329. <https://doi.org/10.5194/os-6-311-2010>
5. Efimov V., Volodin E., Anisimov A., Barabanov V. Regional projections of climate change for the Black Sea – Caspian Sea area in late XXI century // Physical Oceanography. 2015. No. 5. P. 49–66. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2015-5-49-66>
6. Татарников В. О., Гаврилова Е. В., Азмухамбетова Д.Х. Изменение увлажненности Прикаспийского региона России в связи с глобальным потеплением // Геосферные исследования. 2021. № 4, С. 103–109.
7. Хованова Н. В. Температурные аномалии на территории Южного Федерального округа (1998–2007 гг.) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 2. С. 69–71.
8. Голами М., Гиви Ф. А., Гадер С. Влияние аномалии температуры поверхности Каспийского моря на колебания количества осадков в южном прибрежном районе // Материалы международной научной конференции «Изменения климата и водного баланса Каспийского региона» (19–20 октября 2010 года, Астрахань). Астрахань : [б. и.], 2011. С. 65–66.
9. Ghaedi S. Anomalies of precipitation and drought in objectively derived climate regions of Iran // Hungarian Geographical Bulletin. 2021. Vol. 70 (2). P. 163–174. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.70.2.5>
10. OpenTopography. NASADEM Global Digital Elevation Model. URL: <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.2> (accessed: 01.08.2024).
11. HydroSHEDS. HydroRIVERS. URL: <https://www.hydrosheds.org/products/hydrorivers> (accessed: 01.08.2024).
12. Earth Engine Data Catalog. ERA5-Land Daily Aggregated – ECMWF Climate Reanalysis. URL: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF\\_ERA5\\_LAND\\_DAILY\\_AGGR#bands](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_LAND_DAILY_AGGR#bands) (accessed: 01.08.2024).

УДК 631.461

## Оценка бактериального разнообразия почв бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) и выявление ассоциаций с загрязнениями почв тяжёлыми металлами

Игнатъева Д. А.<sup>1,2,3</sup>, Горбунова Т. Ю.<sup>1</sup>, Алексеев Я. И.<sup>4</sup>, Горбунов Р. В.<sup>1</sup>, Фам К. Н.<sup>1</sup>, Братанов Н. С.<sup>1</sup>, Шварцев А. А.<sup>4</sup>, Монахова Ю. А.<sup>4</sup>, Волков А. А.<sup>4</sup>, Keita I.<sup>5</sup>, Diallo A. I. P.<sup>5</sup>, Андреевко Т. И.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии — филиал ФИЦ ИнБЮМ, Севастополь, Россия

<sup>3</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

<sup>4</sup>ООО «НПФ Синтол», Москва, Россия

<sup>5</sup>Marine and Coastal Research Center of Guinea (CEREMAC-G), Conakry, Guinea

✉ [da\\_ignateva@ibss-ras.ru](mailto:da_ignateva@ibss-ras.ru)

В Гвинейской Республике осуществляется добыча бокситов (алюминиевых руд), имеются месторождения железной руды, алмазов, золота, урана. Загрязнение почв тяжёлыми металлами может оказывать непосредственное влияние на состав микробных сообществ, что возможно объяснить ингибированием чувствительных к металлам видов и продвижением устойчивых, а также превращением тяжёлых металлов в менее токсичные формы. Это подтверждается зафиксированными корреляциями между содержанием тяжёлых металлов в почвах и численностью ряда бактерий и архей. Оценка загрязнения почв Гвинейской Республики путём анализа микробиома поспособствует контролю состояния окружающей среды и позволит не допустить возникновения очагов экологической напряжённости.

**Ключевые слова:** микробиом, метагеномное секвенирование, тяжёлые металлы, почва, загрязнение, река Фатала, Республика Гвинея

Крупнейшим экспортёром алюминиевой руды (бокситов) в Африке и вторым в мировом рейтинге является Гвинейская Республика. На территории государства также находятся месторождения железной руды, алмазов, золота, урана. Существует вероятность, что в ближайшее время Гвинейская Республика станет основным центром производства алюминия и глинозёма [6]. В связи с этим возникает необходимость проведения экологического мониторинга окружающей среды Гвинейской Республики; в частности, важно своевременное выявление загрязнения почв тяжёлыми металлами.

С развитием молекулярно-генетических методов исследования появилась возможность расширения метагеномов, идентификации микроорганизмов и нахождения ассоциаций бактериальных сообществ с поллютантами. Однако ранее не изучалась взаимосвязь загрязнения почв Гвинейской Республики бокситами с составом почвенного микробиома. Не проводилось и комплексного исследования по поиску ассоциаций бактериального состава почв с загрязнениями тяжёлыми металлами, однако существует ряд публикаций по взаимосвязи отдельных поллютантов с микробным разнообразием. Микроорганизмы также широко применяются в качестве индикаторов загрязнения экосистем других природных сред, поскольку их быстрый рост позволяет фиксировать реакции даже на поллютанты, содержащиеся в небольшом количестве [3].

Тип почвы, климатические условия, эдафические факторы, доступность кислорода и питательных веществ оказывают влияние на бактериальное разнообразие. Наличие тяжёлых металлов способно ингибировать чувствительные к данным металлам виды и продвигать устойчивые. Кроме того, тяжёлые металлы могут переходить в менее токсичные формы благодаря изменению растворимости под влиянием микробных сообществ, которые способны осуществлять окислительно-восстановительные реакции либо метилирование, а также трансформировать, накапливать либо выводить загрязняющие вещества [2].

Формы алюминия часто оказывают токсическое влияние на микробные сообщества. Известна положительная взаимосвязь между факторами, характеризующими степень токсичности данного металла в почве, и содержанием филумов Betaproteobacteria и NuPhomicrobiaceae. Так, закисление почв, повышающее токсичность алюминия, сопровождалось снижением бактериального разнообразия и возрастанием численности родов, способных к дегидрированию, а также организмов родов, известных в качестве кислотозависимых биомаркеров (*Rhodanobacter*, *Gemmatirosa*, *Sphingomonas* и *Streptomyces*) [5]. Литературные данные свидетельствуют о сокращении содержания филума Bacteroidetes и семейства Chitinophagaceae при наличии в почве алюминия [4].

Целью проведённого исследования являлась оценка микробного разнообразия почв бассейна реки Фатала с выявлением изменений в зависимости от загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

В ходе экспедиционных исследований было проведено описание 18 фаций в различных ландшафтных условиях, в каждой фации были заложены почвенные профили, выделены и описаны почвенные горизонты. Из каждого выделенного почвенного горизонта было отобраны образцы почв: в 50-мл пробирки отбиралась почва объёмом 15–20 мл и фиксировалась раствором 95%-ного этанола с целью сохранения бактериального состава в неизменном состоянии. Выделение тотальной ДНК осуществлялось из всех отобранных проб, за исключением фации 14 (в связи с необратимым повреждением образцов при транспортировке).

Разработана технология выделения тотальной ДНК бактерий из образцов почвы и оценки микробного состава почв посредством метагеномного секвенирования [1]. Бактериальный состав определялся методами массового параллельного секвенирования библиотек ампликонов V3 и V4 переменного региона гена, кодирующего 16S субъединицу рибосомальной РНК. Благодаря праймерам для секвенирования, комплементарным консервативным участкам, получили последовательности гипервариабельных участков. Ампликоновые библиотеки подготавливались путём постановки ПЦР с праймерами, содержащими адаптерные и индексные участки. Индексные последовательности располагались между адаптерным участком и локус-специфическим участком праймера.

В ходе биоинформатической обработки сырых данных формата .fastq, полученных на этапе массового параллельного секвенирования метагеномных библиотек, применялись утилиты FastQC и MultiQC. Для оценки качества исходных данных и получения основной статистической информации об эффективности работы прибора, необходимых для выделения параметров фильтрации данных для дальнейшей обработки, был сгенерирован подробный HTML-отчёт, отражающий качество и длину прочтений, распределение GC-состава, а также другие ключевые параметры. С помощью утилиты Trimmomatic исходные данные очищались от прочтений низкого качества. Таксономическая классификация прочтений проводилась с помощью программы Kraken2, содержащей собственную базу данных Minikraken v2. Выходные файлы использовались для создания таблиц и графиков, которые в дальнейшем подверглись статистической обработке. Для создания таблиц и графиков разработаны специальные скрипты на языке программирования Python, автоматизирующие обработку данных и генерацию визуализаций. Визуализация результатов и генерация HTML-отчёта, включающего sankey-диаграммы, проводились с помощью веб-версии утилиты Pavian.

По результатам работы получены филогенетические данные о микроорганизмах, составляющих микробиомы. Выявлены виды-доминанты, субдоминанты, второстепенные и редкие виды на каждом из исследуемых участков согласно стандартным критериям распределения численности особей в биоценозе. Для оценки альфа-разнообразия микробных сообществ рассчитаны индекс видового богатства Маргалефа, индекс Шеннона, индекс Симпсона, выравненность Пиелу. Для анализа бета-разнообразия между микробными сообществами рассчитаны индексы Жаккара, Сёренсена и Брея — Кёртиса. Вычисление корреляционного коэффициента производилось в программе MS Office Excel 2016. Рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона с дальнейшей проверкой достоверности корреляции. Для выявления достоверности различий производился расчёт  $p$  с помощью  $t$ -критерия Стьюдента. Достоверными считались результаты при  $p < 0,05$ .

В результате данного исследования обнаружены ассоциации почвенных микробиомов с рядом характеристик почв. Выявлено, что филумами-доминантами являются Proteobacteria, Firmicutes и Actinobacteria. Отмечено сокращение численности филума Proteobacteria на участках с мощными

слабогумусированными почвами (фации 5 и 6), а филум Actinobacteria доминировал в средне-легкосуглинистой почве (фация 16), характеризующейся также отсутствием филума Cyanobacteria. Снижение содержания в данной фации филумов Actinobacteria и Firmicutes с возрастанием количества филумов Planctomycetes, Thermotogae и Verrucomicrobia, а также исчезновение Candidatus Saccharibacteria и Euryarchaeota и преобладание вида *Acidisphaera* sp. G45-3 происходят, предположительно, из-за наличия злакового монодоминантного сообщества на литосолях маломощных малогумусных почв (фация 7).

На мало- и слабогумусированных литосолях и желтозёмах на поверхностях водораздела и их приводораздельных склонах (фации 7, 11 и 15) отмечается наибольшая численность филума Cyanobacteria. Данные бактерии также преобладают в районе, содержащем значительное количество предприятий по добыче бокситов (фация 11), что предварительно объясняется способностью цианобактерий к восстановлению плодородия почвы. В ряде пологих участков склона специфически фиксируется филум Caldiserica (фации 10, 15 и 17). На водораздельной поверхности хребта (фация 5) исчезает Dictyoglomi, но появляется филум Candidatus Gracilibacteria, а на участке поверхности высокой поймы реки Фатала (фация 3) возникает Candidatus Micrarchaeota. В склоновых фациях с супесчаными сильноскелетными почвами на каменисто-глыбистом делювии девонских и силурских алевро-аргиллитов, мелкозернистых песчаников и аргиллитов (фации 8 и 12) специфически присутствует тип Kiritimatiellaeota. В ряде скелетных и сильноскелетных почв на водораздельных поверхностях и в нижней части склона долины реки Фатала (фации 5, 7 и 9) исчезает филум Chlorobi; филум Deferribacteres отсутствует в некоторых участках с слабогумусированными почвами (фации 2 и 9).

Многие участки характеризуются доминированием вида *Candidatus Solibacter usitatus*, обладающего повышенной конкурентоспособностью за счёт наличия генов, обеспечивающих расширенный набор метаболических и регуляторных функций. В ряде слабогумусированных супесчаных и легкосуглинистых почв при разном положении в рельефе (фации 3, 5, 8, 11 и 15) доминирует вид *Candidatus Koribacter versatilis*. В нижней части склона долины реки Фатала (фация 9) выявлен вид-доминант *Aneurinibacillus soli*, полностью отсутствующий на поверхности высокой поймы (фация 3). На северо-северо-западной части бассейна реки Фатала (фация 2) видом-доминантом является *Cutibacterium acnes*, а в верховья бассейна реки (фация 4) — *Rhodoplanes* sp. Z2-YS6860. В богатом алюминием районе (фация 11) преобладает вид *Scytonema* sp. НК-05.

Наименьшее бактериальное разнообразие и слабая равномерность (табл. 1) распределения видов зафиксированы на литосолях маломощных малогумусных супесчаных сильноскелетных со злаковым монодоминантным сообществом (фация 7), при этом доминирующим является ацидофильный вид *Acidisphaera* sp. G45-3. Снижение альфа-разнообразия связано, предположительно, с увеличением количества планкомицетов, способных вырабатывать противомикробные вещества для устранения видов-конкурентов, активно потребляющих углерод. Наибольшее бактериальное разнообразие отмечается на желтозёмах мощных слабогумусированных среднесуглинистых с разреженным редколесьем (фация 18).

При анализе бета-разнообразия (табл. 2) выявлено, что наиболее отличными являются несколько фаций в северной части бассейна; это поверхность высокой поймы реки Фатала, сложенная девонскими крупными кварцевыми песчаниками, гравелитами и конгломератами с густым высокорослым двурярусным лесом на аллювиальной мощной слабогумусированной легкосуглинистой почве на аллювии девонских отложений (фация 3), водораздельная поверхность хребта, сложенная девонскими крупными кварцевыми песчаниками, гравелитами и конгломератами с густым высокорослым двурярусным лесом на желтозёмах мощных слабогумусированных супесчаных сильноскелетных на элюво-делювии девонских отложений (фация 5), и слабоволнистая поверхность водораздела, сложенная девонскими алевро-аргиллитами, аргиллитами с прослоями из мелкозернистых песчаников со злаковым монодоминантным сообществом на литосолях маломощных малогумусных супесчаных сильноскелетных на каменисто-глыбистом элювии девонских отложений (фация 7). Ряд фаций, несмотря на различие в растительном покрове и положении в рельефе, отличается наибольшим сходством бактериального состава (фации 10, 12 и 17).

Фация	Индекс Маргалефа	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона	Выравненность Пилу
1	10,60	3,84	0,96	0,83
2	9,89	3,68	0,95	0,81
3	9,69	3,48	0,94	0,76
4	10,06	3,71	0,96	0,81
5	10,14	3,55	0,95	0,78
6	9,20	3,77	0,96	0,84
7	8,58	3,13	0,93	0,70
8	9,55	3,69	0,95	0,81
9	9,42	3,54	0,94	0,79
10	9,30	3,88	0,96	0,86
11	8,61	3,57	0,95	0,80
12	9,62	3,86	0,96	0,85
13	9,32	3,72	0,96	0,82
15	9,14	3,73	0,96	0,83
16	10,51	3,76	0,96	0,82
17	9,51	3,92	0,97	0,86
18	9,44	3,85	0,97	0,85

Таблица 1. Индексы альфа-разнообразия бактериальных сообществ

Фация	Наиболее схожие сообщества	Средняя схожесть
1	16 (0,95)	0,85 ± 0,13
2	10 (0,98), 12 (0,96), 17 (0,95)	0,86 ± 0,14
3	5, 17 (0,53)	0,51 ± 0,01
4	8 (0,96), 12 (0,95)	0,85 ± 0,13
5	7, 9, 13 (0,58)	0,56 ± 0,02
6	16 (0,91), 12 (0,9)	0,82 ± 0,12
7	2, 12 (0,91)	0,84 ± 0,12
8	16 (0,98), 12 (0,97), 4 (0,96)	0,88 ± 0,14
9	4, 8 (0,94)	0,85 ± 0,12
10	17 (0,99), 2 (0,98)	0,86 ± 0,14
11	18 (0,9), 4, 12 (0,88)	0,82 ± 0,11
12	8, 16 (0,97), 2 (0,96)	0,88 ± 0,14
13	16 (0,95), 8, 17 (0,93)	0,86 ± 0,12
15	4, 8, 17 (0,91)	0,84 ± 0,13
16	8 (0,98), 12 (0,97), 17 (0,96)	0,88 ± 0,14
17	10 (0,99), 16 (0,96), 2 (0,95)	0,87 ± 0,13
18	8, 16 (0,95)	0,86 ± 0,13

Таблица 2. Выявленные при расчёте индексов бета-разнообразия схожие сообщества

Выявлены достоверно значимые корреляции содержания тяжёлых металлов с изменениями представленности ряда бактериальных филумов и отдельных видов бактерий, которые предлагается использовать в роли индикаторных штаммов для оценки загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами. Также выявлено повышение бактериального альфа-разнообразия при более высоких концентрациях никеля.

Таким образом, в результате анализа и аннотации полученной информации сформировано представление об ответе микробных сообществ на воздействие и изменение окружающей среды и содержание в ней микроэлементов и тяжёлых металлов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий в соответствии с п. 4 ст. 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации (соглашение № 075-15-2023-592 по теме № 13.2251.21.0216). Работа выполнена на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Филогеномика и транскриптомика» (ФИЦ ИнБЮМ).*

#### Список литературы

1. Заявление в ФИПС о выдаче патента на изобретение от 05.07.2024 W24041725, пер. № 2024118782.
2. Harms H., Schlosser D., Wick L. Y. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals // *Nature Reviews Microbiology*. 2011. Vol. 9. P. 177–192. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2519>
3. Khatri N., Tyag S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas // *Frontiers in Life Science*. 2015. Vol. 8, iss. 1. P. 23–39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
4. Navarrete A. A., Tsai S. M., Mendes L. W., Faust K., de Hollander M., Cassman N. A., Raes J., van Veen J. A., Kuramae E. E. Soil microbiome responses to the short-term effects of Amazonian deforestation // *Molecular Ecology*. 2015. Vol. 24, no. 10. P. 2433–2448. <https://doi.org/10.1111/mec.13172>
5. Shen J., Luo Y., Tao Q., White P. J., Sun G., Li M., Luo J., He Y., Li B., Li Q., Xu Q., Cai Y., Li H., Wang C. The exacerbation of soil acidification correlates with structural and functional succession of the soil microbiome upon agricultural intensification // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 828. Art. no. 154524 (13 p.). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154524>
6. Sidiki S. Bauxite Mining in the Boké region (Western Guinea): Method used and impacts on physical environment // *European Journal of Sustainable Development*. 2019. Vol. 3, no. 3. Art. no. em0087 (7 p.). <https://doi.org/10.29333/ejosdr/5735>

УДК 681.518, 551.435.1 (571.51)

## Состав и структура ГИС водосборных бассейнов горных рек

Корец М. А., Прокушкин А. С., Гейс Т. Н., Сулейманова Ж. Р.

Институт леса имени В. Н. Сукачёва СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

✉ [mik@ksc.krasn.ru](mailto:mik@ksc.krasn.ru)

На основе данных цифровых моделей рельефа местности ASTER DEM, FABDEM и ARCTICDEM, открытых климатических бах данных (CEDA Archive) и данных наземных измерений ИЛ СО РАН разрабатываются структура и состав геоинформационной системы (ГИС) с целью мониторинга латерального стока углерода горных рек в криолитозоне Центральной Сибири (Среднесибирского плоскогорья в районе среднего течения реки Нижняя Тунгуска).

**Ключевые слова:** ГИС, ЦМР, структура гидрографической сети, морфометрические характеристики водотоков, водотоки разных порядков, Среднесибирское плоскогорье

Роль горных рек очень существенна в процессах переноса и трансформации органического вещества. Перенос реками растворённого органического вещества из почв может достигать 20 % поступающего из почв в русловой сток [1; 2] с последующей минерализацией терригенного органического вещества до CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> [3]. Определяющую роль в этом процессе играет повышенная интенсивность взаимодействия и переноса веществ в системе почва — вода — атмосфера, обусловленная высокой относительной поверхностью контакта сред и турбулентностью потоков, наблюдаемых в максимально разветвлённой сети истоков горных рек [1].

Таким образом, нами рассматривается цель создания геоинформационной системы (далее — ГИС) водосборных бассейнов, включающей морфометрические характеристики речных бассейнов на основе иерархической структуры гидрографической сети (по системе Стралера). Исходными данными служили доступные в Сети открытые топографические данные и цифровые модели рельефа (далее — ЦМР): ASTER DEM (~ 20 м/пикс.), FABDEM (~ 20 м/пикс.) и ARCTICDEM (10 и 2 м/пикс.).

Территория объекта исследования включает фрагмент Среднесибирского плоскогорья в районе среднего течения р. Нижняя Тунгуска, находящийся в доступности Эвенкийского стационара ИЛ СО РАН (п. Тура). Исследования проводятся на более чем 100 водотоках разного порядка в среднем течении р. Нижняя Тунгуска (от 62° до 66° с. ш., от 96° до 102° в. д.).

Структура и состав ГИС водосборных бассейнов объекта исследования формировались с использованием программного обеспечения ESRI ArcGIS 10 и баз данных ГИС ИЛ СО РАН на территории района исследований [4].

Основными элементами ГИС являются:

- 1) топографический блок — векторная топографическая основа (реки, дороги, центры и границы административных объектов);
- 2) базовые слои для расчёта бассейнов рек и их морфометрических характеристик (доступные ЦМР местности в растровой форме, значение пикселя — высота над уровнем моря, м);
- 3) тематический блок — карты в векторных и растровых форматах для расчётов статистических (оценочных) характеристик бассейнов рек (табл. 1).

Топографический блок является основой для координатной привязки всех картографических данных и последующего оформления и визуальной интерпретации результатов (названия рек, населённых пунктов и границ административных объектов).

Растровые модели рельефа местности являются основой для расчёта орографической структуры территории [высота — elevation (H), крутизна — slope (S), экспозиция склонов — aspect (A)], а также для расчёта основных гидро-морфометрических характеристик [направление стока — flow direction (FD), накопленная (аккумулятивная) величина поверхностного стока —

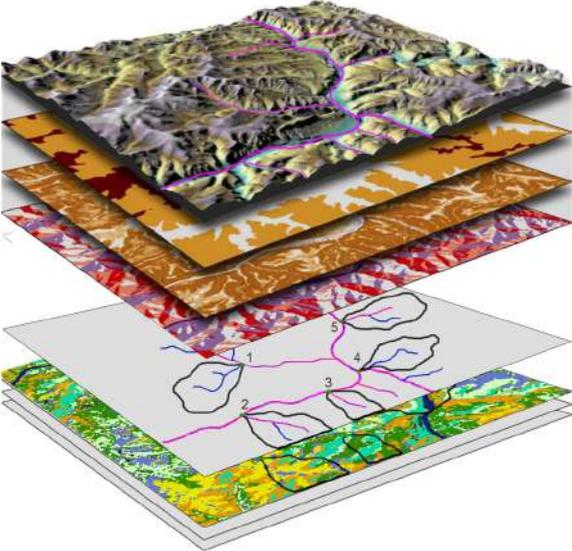
Слой данных ГИС	Содержание				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Топооснова</b> реки, дороги, границы</li> <li>– <b>ЦМР</b> высота (H), крутизна (S), экспозиция (A)</li> <li>– <b>Бассейны</b> направление стока (FD), поверхностный сток (FA), расчётные водотоки (FA – FA0), водосборы (WS)</li> <li>– <b>Тематический блок</b> данные полевых измерений, климатические данные, характеристики растительности, геология, почвы...</li> </ul>				
Атрибутивные базы данных	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Атрибуты водотоков</b> порядок, длина, уклон, ширина, площадь водного зеркала, коэффициент бифуркации...</li> <li>– <b>Атрибуты водосборов</b> климатические параметры (среднегодовые и сезонные), состав и основные параметры растительности, преобладающие геологические и почвенные классы...</li> </ul>				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Водотоки (сегменты)</td> <td style="width: 30%;">Порядок водотока</td> <td style="width: 20%;">Параметр 1</td> <td style="width: 30%;">...</td> </tr> </table>	Водотоки (сегменты)	Порядок водотока	Параметр 1	...	
Водотоки (сегменты)	Порядок водотока	Параметр 1	...		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Водосбор (WS)</td> <td style="width: 30%;">Порядок водотока</td> <td style="width: 20%;">Параметр 1</td> <td style="width: 30%;">...</td> </tr> </table>	Водосбор (WS)	Порядок водотока	Параметр 1	...	
Водосбор (WS)	Порядок водотока	Параметр 1	...		
... Вспомогательные базы данных и справочники полей					

Таблица 1. Состав и структура ГИС водосборных бассейнов

flow accumulation (FA)]. Для исключения разрывов в водотоках для растровых ЦМР предварительно используется операция заполнения локальных понижений — fill local sinks. Для получения расчётной сети водотоков используется слой FA с пороговой отсечкой низких значений FA [нулевого уровня водотоков (минимальная площадь водосбора истоков — FA0), начинающихся от линии водораздела]. Определение водосборных областей [watershed (WS)] осуществляется на основе слоя FD и слоя заданных точек устьев водосборов, скорректированных на основе пикселей расчётных водотоков (FA с порогом FA0). Слой водотоков (FA – FA0) используется для расчёта порядка водотоков [stream order (SO)] по методу Стралера. Далее для каждого сегмента водотока в сочетании с его порядком рассчитываются характеристики: длина, уклон, кривизна, коэффициент бифуркации и т. п. Пиксельные водосборные области WS и водотоки конвертируются в векторные объекты для последующей корректировки и наложения на слои тематического блока (включая данные полевых измерений), что позволяет рассчитать для них дополнительные характеристики: ширину водотока (трапецидную), площадь водного зеркала, а также статистические характеристики водосборов — климатические параметры (среднегодовые и сезонные), состав и основные параметры растительности, преобладающие геологические и почвенные классы.

Составными частями банка данных являются тематические базы данных, в которые включены данные наземных измерений на ключевых участках, а также литературные и фондовые материалы, полученные из различных доступных источников. Картографические материалы для территории района исследований включены в банк данных ГИС в виде цифровых векторных и растровых слоёв, связанных с описательными (атрибутивными) данными.

В состав банка данных ГИС включены:

- 1) цифровая векторная картографическая основа (объекты гидрологической сети, дорог, населённых пунктов, изолинии высоты для масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000);
- 2) растровые цифровые модели рельефа местности (SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, 30 м/пикс.; ASTGTM.003 – ASTER Digital Elevation Model, 20 м/пикс.; FABDEM – Forest And Buildings removed Copernicus DEM, 30 м/пикс.; ArcticDEM, 2–10 м/пикс.);
- 3) выборочные данные космической съёмки из открытых архивов USGS и ESA — мультиспектральные изображения Sentinel-2 (13 каналов, 10–60 м/пикс.), Landsat MSS/TM/ETM+/OLI/TIRS (4–8 каналов, 15–30 м/пикс.);
- 4) тематические материалы исследуемой территории — карта типов земного покрова бореальных экосистем Евразии (GLC-2000, растровый слой — 1 км/пикс.); карты типов земного покрова и преобладающих древесных пород Красноярского края и Иркутской области (ZAPAS RLC-2010 LAGMA, растровые слои — 230 м/пикс.); карта лесов РФ (векторный слой — масштаб 1 : 7 500 000); карта запасов наземной биомассы (BIOMASAR II, 2010 г., растровый слой — 1 км/пикс.); карта типов многолетней мерзлоты (NCSD, векторный слой — масштаб 1 : 1 000 000); почвенная карта Красноярского края и Иркутской области (SIBERIA-II, векторный слой — масштаб 1 : 1 000 000); база данных Лаборатории климатических исследований Университета Восточной Англии (CRU 4.1, среднемесячные значения температуры и осадков в форме матрицы с размером ячейки 0,5°, экстраполированных по данным метеостанций за период 1950–2016 гг.; климатическая база данных WorldClim 2.1 — Global climate and weather data, растровые слои среднемесячных значений основных климатических показателей с разрешением 30'' ~ 100 м/пикс. за период 1960–2018 гг. (<https://www.worldclim.org/>).

В настоящий момент продолжается разработка базы данных ГИС водотоков среднего течения р. Нижняя Тунгуска, северной части Среднесибирского плоскогорья, в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, и дополнение её структуры новыми расчётными характеристиками водосборов на основе данных дистанционного зондирования (Landsat 9 и Sentinel 2), а также доступных тематических баз данных (CEDA Archive) — классов земной поверхности, разновременных рядов измерений территории пожарами и вырубками, сезонной и ежегодной динамики стока и эвапотранспирации.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № FWES-2024-0023 и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

#### Список литературы

1. Прокушкин А. С., Гейс Т. Н., Колосов Р. А., Корец М. А., Панов А. В., Полосухина Д. А., Прокушкина М. П., Титов С. В., Токарева И. В., Сиденко Н. В., Шамонина Ю. В., Прокушкин С. Г. Латеральный сток углерода в криолитозоне Центральной Сибири // Сибирский лесной журнал. 2024. № 3. С. 67–82. <https://doi.org/10.15372/SJFS20240307>
2. Drake T. W., Raymond P. A., Spencer R. G. M. Terrestrial carbon inputs to inland waters: A current synthesis of estimates and uncertainty // Limnology and Oceanography Letters. 2018. Vol. 3. P. 132–142. <https://doi.org/10.1002/lol2.10055>

3. Goncharova O. Yu., Timofeeva M. V., Matyshak G. V. Carbon dioxide in soil, ground and surface waters of the northern regions: Role, sources, test methods (a review) // Eurasian Soil Science. 2023. No. 3. P. 278–293. <https://doi.org/10.1134/S1064229322602414>
4. Korets M. A., Ryzhkova V. A., Danilova I. V., Prokushkin A. S. Vegetation cover mapping based on remote sensing and digital elevation model data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July, 2016, Prague, Czech Republic. 2016. Vol. XLI-B8. P. 699–704. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-699-2016>

УДК 911.52:556.5

## Гидрологические и гидрогеологические условия ландшафтов горной криолитозоны Северного Забайкалья

Кулаков А. П.

Институт геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН, Москва, Россия

✉ [cryolithozone@mail.ru](mailto:cryolithozone@mail.ru)

В работе рассмотрены гидрологические и гидрогеологические условия ландшафтов горной криолитозоны Северного Забайкалья на примере ключевого района, расположенного в бассейнах рек Чара и Средний Саукан. Учёт поверхностных и подземных вод на территории с многолетнемёрзлыми породами играет важную роль в проектировании и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры и жизнедеятельности населения. Являясь компонентами ландшафта, они способны выполнять несколько функций одновременно (эстетические, бытовые, климаторегулирующие и т. д.), а также предупреждать о развитии опасных экзогенных процессов, связанных с гидрологическим режимом и состоянием водных объектов. Поэтому изучение гидрологических и гидрогеологических условий является неотъемлемой частью мероприятий перед организацией хозяйственной деятельности в районе.

**Ключевые слова:** гидрологические и гидрогеологические условия, горная криолитозона, мерзлотные ландшафты, Северное Забайкалье, река Средний Саукан, река Чара, Верхнечарская впадина, хребет Кодар

Территория исследования (бассейн реки Средний Саукан в пределах хребта Кодар и Верхнечарской впадины) характеризуется развитой сетью поверхностных вод и обладает значительными подземными запасами. Высокое разнообразие поверхностных вод представлено в виде равнинных и горных рек, озёр, болот, вод современных ледников и наледей.

**Реки.** Для равнинных и горных рек характерны смешанные источники питания, где принимают участие дождевые и подземные воды, а также талые снеговые и ледниковые воды, но небольшое преимущество имеет летнее дождевое питание. Устойчивый ледостав рек начинается во второй половине октября и продолжается до конца марта. Преобладающая часть годового стока характерна для тёплого периода времени — начиная с активного таяния наледей и снежного покрова в мае-июне и до окончания выпадения атмосферных жидких осадков циклонального характера в начале сентября. Водный режим рек характеризуется половодьями в тёплую часть года [3 ; 5].

Речная сеть принадлежит к бассейну стока Северного Ледовитого океана. Река Чара является самой крупной рекой по длине (851 км) и по площади водосбора (87 600 км<sup>2</sup>) в исследуемом районе [1]. В Верхнечарской впадине река имеет пояс меандрирования и широкую долину (до 5 км), значительную глубину (до 4–8 м) и ширину русла (в среднем 100–120 м). Чара считается большой рекой по общей классификации (площади водосбора и длине), а на территории исследования представлены верховья (от истока 70 км).

В пределах исследуемого района в Чару впадают малые (до 100 км) горные реки Верхний Саукан (длина 58 км), Средний Саукан (50 км) и Анарга (28 км), а также множество более мелких горных рек и ручьёв в виде коротких и относительно длинных боковых притоков.

Река Средний Саукан полностью входит (от истока до устья) в исследуемую территорию, подразделяясь на горный и равнинный участки. Равнинный участок реки начинается при выходе из горной долины в расширенный участок (перемытой) основной морены. Здесь река (как и другие горные реки) замедляет своё движение, образуя множество протоков и рукавов, вырабатывая в низкой пойме русловые формы (осередки, прирусловые отмели), типичные для равнинных рек. После выработанного прохода в конечной морене Средний Саукан в своих низовьях подвергается процессу меандрирования (как и Верхний Саукан), формируя большое количество песчано-галечных отложений.

Горные реки часто имеют глубокие узкие врезанные долины и твёрдое каменистое днище, иногда усложняющееся поперечными ригелями (вырабатывая в них теснины), тектоническими уступами (вызывая крутое падение воды в реках), порогами и перекатами, а также селевыми и обвальными осыпными завалами (смещая их русла). Горные реки — неглубокие (до 50–70 см, в период сильных дождей могут достигать 1 м и более), ширина в среднем составляет от 1 до 10 м. Они имеют быстрое течение и значительные уклоны, а в случае боковых притоков — отвесные устьевые уступы висячих долин. Также отмечаются высокие колебания уровней и расходов воды в реках.

Малые реки в период слабых дождевых осадков склонны к пересыханию (больше касается подгорных участков котловины), оставляя сухое завалуненное русло. Мутность рек проявляется в паводки и половодья. Аллювиальные отложения большинства рек характеризуются низкими показателями иловой фракции. Реки имеют низкую температуру воды, особенно горные; они достигают среднемесячных температур в +10...+12 °С при максимальных нагреваниях до +19 °С в отдельные жаркие дни. Отмечаются суточные перепады до 5 °С градусов [3 ; 5].

По химическому составу воды в реках преимущественно относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и имеют свойства мягких, слабоминерализованных, бедных органикой и биогенными веществами вод.

**Озёра.** Территория исследования представлена многочисленными озёрами на моренных отложениях, в поймах рек, на низких размытых террасах впадины, в верховьях горных рек перед ригелями и в карах. Озёрные котловины являются термокарстовыми, пойменными и ледниковыми по происхождению. Моренно-подпрудные озёра — достаточно глубокие (до 25 м), в отличие от термокарстовых и пойменных озёр, имеют глубину до 3 м и промерзают зимой до дна. По площади все озёра являются небольшими и в длину достигают максимум 1000 м [3 ; 5].

От горных каровых озёр до котловинных пойменных озёр повышается минерализация и количество органики в воде и уменьшается степень дисперсности материала. В неглубоких пойменных и термокарстовых озёрах происходят заиливание дна и выделение сероводорода. В озёрах представлено высокое количество органических веществ. Увеличивают происходящие процессы замедленный водообмен и высокая испаряемость озёр.

Как и реки, озёра в большинстве своём относятся в летний период к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и являются маломинерализованными. Среднемесячная температура воды в озёрах достигает +15 °С, но вода способна прогреваться до +22 °С.

**Болота.** В котловине широко представлены заболоченные территории — мари (от эвенкийского «болото»), которые располагаются преимущественно на низких озёрно-ледниковых и водноледниковых террасах, а также на крупных ложбинах стока, примыкая к речным долинам и озёрным западинам. В большинстве случаев болота представляют собой заросшие маловодные озёра, старицы и староречья.

Повышенная увлажнённость связана с многолетнемерзлыми породами, которые залегают достаточно близко к поверхности, затрудняя дренаж территории (особенно с наличием водоудерживающего мохового покрова) и характеризуюсь мерзлотным застойным режимом.

В горных условиях болотистые территории характерны для пологих террасированных склонов основных морен, однако суммарная их площадь незначительна.

**Наледи.** В пределах Верхнечарской впадины, а также на горных участках реки Средний Сакукан распространены процессы наледообразования и крупные наледные формы рельефа. По существованию и времени развития все наледи на изучаемой территории относятся к сезонным.

Формирование наледей происходит путём выклинивания подземных вод в местах подрусловых потоков и дальнейшего послойного намораживания воды в холодный период года.

Наледи непрерывно растут с начала октября до начала апреля. В начале апреля наступает тёплый период внутригодового режима, когда происходит постепенное разрушение наледей (таяние наледей происходит во время положительного радиационного баланса, но при отрицательной среднесуточной температуре). Характерная особенность наледей заключается в аккумуляции высокой доли зимнего стока и перераспределении его на тёплый период года.

**Ледники.** В условиях хребта Кодар распространено современное оледенение, но размер самих ледников небольшой. На рассматриваемом участке сосредоточен каровый ледник длиной чуть более километра и шириной 300 м на высоте 2150–2250 м. Второй ледник залегает на задней пологой стенке кара над истоком реки Средний Сакукан (на высоте 2250–2300 м) и находится на стадии дегляциации (размер 150 × 150 м) [2]. По результатам анализа космических снимков, сокращение видимых ледников за последние 45 лет достигло более чем 10 % от их первоначального размера.

Питание самих ледников происходит круглогодично. В тёплый период (с мая по август) ледник питается за счёт дождевых осадков и небольших снежных лавин. Зимой питание производится за счёт метелевого переноса и твёрдых атмосферных осадков.

В зоне ледника опасность могут представлять трещины (в небольшом количестве) между неподвижным снежно-фирновым склоном скалы и подвижным снежно-ледовым склоном основной части ледника (трещины шириной до 1–2 м и глубиной до 5 м), которые покрываются в разные сезоны года свежим или плотным фирновым полем.

Несмотря на свои небольшие размеры, ледники играют важную роль в питании горных рек и ледниковых озёр.

**Гидрогеологические условия.** Подземные воды представляют собой огромные запасы пресных вод на территории исследования. Их стоковый режим во многом зависит от многолетнемёрзлых пород, которые достигают больших мощностей или совсем отсутствуют, представляя сквозные и несквозные талики, по которым идёт разгрузка вод. Вторым фактором является не менее важным; он характеризуется развитием трещин (литологических окон) и разломных зон, через которые происходит разгрузка подземных вод. Подземные воды важны для формирования поверхностных вод и связанных с ними форм рельефа.

Важно отметить, что переувлажнение впадины (несмотря на малое количество дождевых осадков) во многом связано с интенсивной разгрузкой подземных вод, особенно у подножий склонов гор (подгорных наклонных равнин), что сопровождается постоянным надмерзлотным стоком грунтовых вод. Всё это происходит при значительной роли мерзлотных условий впадины [4].

Широко распространённые наледные поляны и процесс наледообразования во многом зависят от гидрогеологического режима разгрузки подземных вод и их дебитов.

Подземные воды представлены порово-пластовыми водами во впадине и трещинными водами в горах.

Порово-пластовые воды представляют надмерзлотный горизонт и таликовые воды рыхлых четвертичных отложений.

Надмерзлотный горизонт совсем не глубокий (до 0,5 м), в пределах него зимой часто образуются бугры пучения. Данный горизонт широко распространён во впадине, где отсутствуют таликовые зоны.

Таликовые воды распространены под русловыми потоками, долинами крупных рек, пролювиальными шлейфами и озёрными котловинами конечных морен, где развиты сквозные и несквозные талики. Сезонно-мёрзлый слой может достигать 3 м глубины зимой. Именно к этим водам преимущественно относятся формирования мерзлотных форм рельефа в виде наледных образований, гидролакколитов и бугров пучения на территории исследования. Воды характеризуются повышенной минерализацией.

Трещинные воды распространены на хребте Кодар в породах раннепротерозойских гранитоидов и характеризуются постоянным режимом. Воды слабокислые и мягкие. Подмерзлотные воды функционируют круглый год, образуя на реках протяжённые полыньи и крупные наледи, куда попадают через талики и трещины в холодный период.

**Заключение.** Рассмотренные в работе гидрологические и гидрогеологические условия ландшафтов горной криолитозоны Северного Забайкалья на примере мерзлотных ландшафтов бассейна рек Чара и Средний Сакукан — важная информация о гидрологическом режиме поверхностных и подземных вод, а также об общем состоянии водных объектов при хозяйственной деятельности в районе.

Список литературы

1. Государственный водный реестр. URL: <https://textual.ru/gvr/> (дата обращения: 18.10.2024).
2. Еникеев Ф. И. Плейстоценовые оледенения Восточного Забайкалья и востока Средней Сибири // Геоморфология. 2009. № 2. С. 33–49.
3. Кулаков В. С., Рыжий В. С., Снегур А. Е. География Каларского района. Чита, 2002. 252 с.
4. Михеев В. С. Верхнечарская котловина: опыт топологического изучения ландшафта. Новосибирск : Наука, 1974. 143 с.
5. Природные условия освоения севера Читинской области / отв. ред. А. А. Недешев, В. С. Преображенский. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. 127 с.

УДК [502.175:661.723](282.247.34)

## Потоки стойких органических загрязнителей в донные отложения крымских рек Чёрная и Салгир

Малахова Л. В.<sup>1,2</sup>, Мирзоева Н. Ю.<sup>1</sup>, Войцеховская В. В.<sup>1,2</sup>, Мосейченко И. Н.<sup>1,2</sup>,  
Малахова Т. В.<sup>1</sup>, Овечко С. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии — филиал ФИЦ ИнБЮМ, Севастополь, Россия

✉ [malakhovalv@ibss-ras.ru](mailto:malakhovalv@ibss-ras.ru)

Проведён анализ пространственно-временных изменений содержания и распределения стойких органических загрязнителей (СОЗ), таких как ДДТ и ПХБ, в донных отложениях рек Чёрная и Салгир в Крыму. Установлено, что распределение СОЗ носит очаговый характер. Определение потоков СОЗ в донные отложения позволило выявить участки и периоды времени с повышенным уровнем загрязнения, что может служить основой для разработки мер по его снижению в исследуемых регионах. Определено относительное снижение потоков ДДТ в донные отложения в последние годы в отдельных районах рек. Между тем стабильные или растущие потоки ПХБ свидетельствуют о продолжающемся загрязнении акватории рек этими опасными веществами.

**Ключевые слова:** ДДТ и его метаболиты, полихлорбифенилы, донные отложения, скорость осадконакопления, седиментационные потоки, река Чёрная, река Салгир, Крым

Среди глобальных органических загрязнителей наиболее опасной группой признаны стойкие органические загрязнители (далее — СОЗ), производство и применение которых с 2001 г. запрещены на международном уровне в рамках Стокгольмской конвенции. К СОЗ относятся такие хлорорганические пестициды, как ДДТ и его метаболиты, а также полихлорированные бифенилы (далее — ПХБ). ДДТ и ПХБ широко использовались в прошлом в сельском хозяйстве и промышленности, при этом их значительная часть поступала в окружающую среду. Эти вещества химически стабильны, не разлагаются под воздействием естественных факторов и сохраняются в окружающей среде на протяжении многих лет. Длительное воздействие СОЗ на живые организмы, включая человека, приводит к нарушениям репродуктивной, иммунной и нервной систем, а также вызывает генетические и эндокринные расстройства.

В речные бассейны СОЗ поступают со стоками с сельскохозяйственных и промышленных территорий, с атмосферными выпадениями. СОЗ имеют разную степень растворимости в воде, что сильно влияет на их поведение в речных системах: веществам с низкой растворимостью свойственно концентрироваться в донных осадках (ДО), а более растворимые вещества остаются в водной фазе и переносятся на дальние расстояния.

Крымские реки Чёрная и Салгир имеют важное значение в обеспечении водоснабжения населения, сельского хозяйства и промышленности своих регионов. Обе реки берут своё начало в Крымских горах, что определяет горный характер течения в их верховьях. Река Чёрная расположена на юго-западе полуострова Крым, берёт начало у подножья Крымской яйлы, на высоте 280 м над уровнем моря. Река Салгир начинается на северных склонах Крымских гор, течёт через весь Крым и впадает в залив Сиваш Азовского моря. Питание рек в значительной степени зависит от атмосферных осадков и талых вод, это приводит к сезонным колебаниям уровня воды. Исследования СОЗ в реках Крыма на сегодняшний день ограничены, что затрудняет понимание масштабов и истории загрязнения. В связи с этим целью настоящего исследования является определение потоков СОЗ в донные отложения (далее — ДО) рек Чёрная и Салгир, а также проведение ретроспективного анализа этих потоков для выявления динамики антропогенного воздействия на исследуемые районы.

**Материал и методы.** Материалом для такой оценки послужили результаты исследования рек Чёрная и Салгир, проведённые в 2020 и 2023 гг. соответственно. Районы исследования и схемы станций (ст.) отбора проб ДО показаны на рис. 1. Пробы поверхностного слоя ДО (0–2 см) в реке Чёрная отбирали от устьевой части в районе смешения речной и морской воды (ст. 1) до Байдарской долины (ст. 4) (рис. 1а).



Рис. 1. Расположение районов исследования (б) и станции отбора проб в реках Чёрная (а) и Салгир (в)

Отбор проб в реке Салгир проводили в 13 точках: выше и ниже г. Симферополя (село Доброе, Белоглинка, Совхозное), в среднем течении (от с. Красная зорька до с. Новогригорьевка) и в нижнем течении (с. Изобильное) (рис. 1в). Для выполнения датировки ДО и реконструкции осаждения СОЗ во времени в четырёх районах (ст. 1 на реке Чёрная и на ст. 7, 8 и 13 в реке Салгир) были отобраны керны грунтов. Керны разделяли на слои толщиной 1 см.

**Геохимический анализ.** В пробах ДО определяли СОЗ, естественную влажность (далее — ЕВ) и содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ). СОЗ определяли в НОЦ ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе «Кристалл 5000» («Хроматэк») с микродетектором электронного захвата. В пробах были измерены концентрации п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД, а также шести индикаторных конгенов ПХБ (28, 52, 101, 138, 153 и 180). Результаты представлены в виде суммы концентраций ДДТ и его метаболитов ( $\Sigma ДДТ$ ) и суммы концентраций индикаторных конгенов ПХБ ( $\Sigma 6ПХБ$ ), выраженных в  $нг \cdot г^{-1}$  сухой массы.

Оценка изменений в накоплении СОЗ по глубине ДО проведена на основе анализа кернов, датированных по радиоцезиевому методу [3]. Содержание  $^{137}Cs$  измеряли на полупроводниковом детекторе (НТЦ «РАДЭК») в НОЦ ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

**Расчёт потоков СОЗ в ДО.** Скорость осадконакопления ( $S$ ,  $г \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$ ) определяли для каждого слоя по количеству материала в слое ( $г$ ), объёму слоя ( $см^3$ ), плотности осадка ( $г \cdot см^{-3}$ ) и данным седиментации ( $см \cdot год^{-1}$ ). Поток СОЗ ( $П$ ,  $мкг \cdot см^{-2} \cdot год^{-1}$ ) определяли, как произведение концентрации СОЗ ( $нг \cdot г^{-1}$ ) на скорость осадконакопления, то есть  $П_{СОЗ} = C_{СОЗ} \cdot S$  [2].

**ХОС в поверхностном слое ДО рек.** Характеристика и концентрации СОЗ в поверхностном слое ДО рек Чёрная и Салгир представлены в табл. 1. В поверхностном слое ДО ЕВ изменялась от 22,9 до 87,8 % в пробах с большим количеством гальки и песка и в чёрных илах соответственно. Концентрация СОЗ в поверхностном слое ДО изменялась в широком диапазоне:  $\Sigma ДДТ$  — от  $7,3 нг \cdot г^{-1}$  в среднем течении реки Чёрная до  $270,7 нг \cdot г^{-1}$  в среднем течении реки Салгир,  $\Sigma 6ПХБ$  — от  $3,4 нг \cdot г^{-1}$  в верхнем течении Салгира до  $252,1 нг \cdot г^{-1}$  в его среднем течении. Содержание СОЗ в ДО показало высокую неоднородность значений, степень асимметрии была больше 1, поэтому для сравнительной оценки использованы медианные значения концентрации и межквартильные размахи (IQR). Медиана концентрации  $\Sigma ДДТ$  в ДО реки Салгир была значительно выше ( $38,0 нг \cdot г^{-1}$ , IQR [26,7; 71,7]  $нг \cdot г^{-1}$ ), чем в реке Чёрная ( $9,5 нг \cdot г^{-1}$ , IQR [7,52; 12,03]  $нг \cdot г^{-1}$ ), что указывает на статистически достоверный более высокий уровень загрязнения. Медианы концентрации  $\Sigma 6ПХБ$  ( $13,4 нг \cdot г^{-1}$ ) в Салгире незначительно отличались от таковых в реке Чёрная ( $12,3 нг \cdot г^{-1}$ ). IQR  $\Sigma 6ПХБ$  для Салгира, [6,7; 23,5]  $нг \cdot г^{-1}$ , немного больше, чем для реки Чёрная, [5,6; 20,7]  $нг \cdot г^{-1}$ , что указывает на большую изменчивость, но разброс значений в реках почти одинаковый.

Корреляционный анализ, проведённый для выявления взаимосвязи между геохимическими свойствами ДО и концентрацией СОЗ, показал слабую положительную связь между ЕВ и концентрацией  $\Sigma ДДТ$  ( $r = 0,34$ ) и  $\Sigma 6ПХБ$  ( $r = 0,66$ ), но статистически недостоверную ( $p > 0,05$ ).

Это означает, что грансостав ДО не являлся важным фактором, влияющим на накопление СОЗ. Значимая связь определена между содержанием  $C_{\text{орг}}$  и содержанием СОЗ ( $r = 0,7; p < 0,05$ ). Это свидетельствует о том, что органические вещества осадков влияют на адсорбцию и транспортировку загрязнителей в ДО.

Река	Номер станции	ЕВ, %	$C_{\text{орг}}$ , %	$\sum \text{ДДТ}$ , $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1}$	$\sum \text{БПХБ}$ , $\text{нг} \cdot \text{г}^{-1}$
Чёрная	1	50,5	1,8	7,6	27,4
	2	48,1	0,8	7,3	6,1
	3	52,7	0,2	11,5	3,9
	4	74,2	1,9	13,6	18,5
Салгир	1	28,2	0,9	9,1	6,5
	2	30,5	0,9	12,9	3,4
	3	24,2	0,8	55,2	10,7
	4	87,8	5,6	270,7	252,1
	5	30,6	4,0	16,3	17,2
	6	43,5	1,9	66,7	13,4
	7	46,1	3,6	135,1	224,4
	8	22,9	2,7	255,9	6,7
	9	40,2	1,9	71,7	61,9
	10	53,7	2,1	38,0	23,5
	11	36,9	0,9	26,7	10,6
	12	29,2	0,2	29,8	4,7
	13	44,2	1,2	34,4	16,2

Таблица 1. Естественная влажность (ЕВ), содержание  $C_{\text{орг}}$ , концентрация ДДТ и его метаболитов ( $\sum \text{ДДТ}$ ) и  $\sum \text{БПХБ}$  в поверхностном слое донных осадков рек Чёрная и Салгир

**Скорость осадконакопления и седиментационные потоки СОЗ.** Осадконакопление в реках может значительно меняться в зависимости от интенсивности паводков и других природных явлений. Река Салгир была зарегулирована в 1955 г., когда было построено Симферопольское водохранилище. В 1960-е гг. сток реки Чёрная и её притоков также был зарегулирован созданием больших и малых водохранилищ и прудов.

Геохимический анализ кернов осадков, полученных в трёх районах реки Салгир, показал, что вертикальное распределение  $C_{\text{орг}}$ , ЕВ и пористости осадка было относительно равномерными и не зависело от глубины залегания, что указывает на стабильный характер осадконакопления в районах отбора кернов.

Определённые на основе датировки ДО по  $^{137}\text{Cs}$  скорости осадконакопления в реке Салгир на ст. 7, 8 и 13 составили  $(0,37 \pm 0,06)$ ,  $(0,39 \pm 0,05)$  и  $(0,42 \pm 0,05)$   $\text{см} \cdot \text{год}^{-1}$  соответственно. С учётом этих данных был определён временной период накопления слоёв ДО в кернах и восстановлены годы накопления слоёв кернов. На ст. 7 керн ДО соответствовал периоду накопления с 1955 г. по настоящее время, на ст. 8 — с 1963 г., на ст. 13 — с 1971 по 2023 г. (рис. 2). Профиль концентрации  $\sum \text{ДДТ}$  выявил на ст. 7 увеличение содержания ДДТ с глубиной с максимумом в слоях осадка, соответствующих 1950–1960 гг. (рис. 2а), что указывает на период активного применения пестицида в этом районе в прошлом. На ст. 8, напротив, в верхних слоях осадков концентрации СОЗ оказались выше, чем в заглублённых (рис. 2б), что свидетельствует о продолжающемся загрязнении СОЗ этого района в настоящее время. На ст. 13 концентрации СОЗ оказались наименьшими из таковых для трёх исследованных районов Салгира (рис. 2в). Различия в профилях СОЗ на разных станциях могут быть связаны с локальными источниками загрязнения, такими как стоки с сельскохозяйственных полей и сбросы промышленных отходов. Течение также могло влиять на распределение осадков и на накопление СОЗ, приводя к более высоким концентрациям в районах с более низкой скоростью осадконакопления или в местах с активным накоплением  $C_{\text{орг}}$ . Согласно реконструкции осадконакопления, в керне реки Чёрная формирование слоёв ДО с пониженными значениями  $\sum \text{БПХБ}$  относится

к 2013–2014 гг. (рис. 2г), к началу переходного этапа в экономике Крыма и Севастополя, когда наблюдалось значительное уменьшение объёмов производства и снижение экономической активности в целом [1].

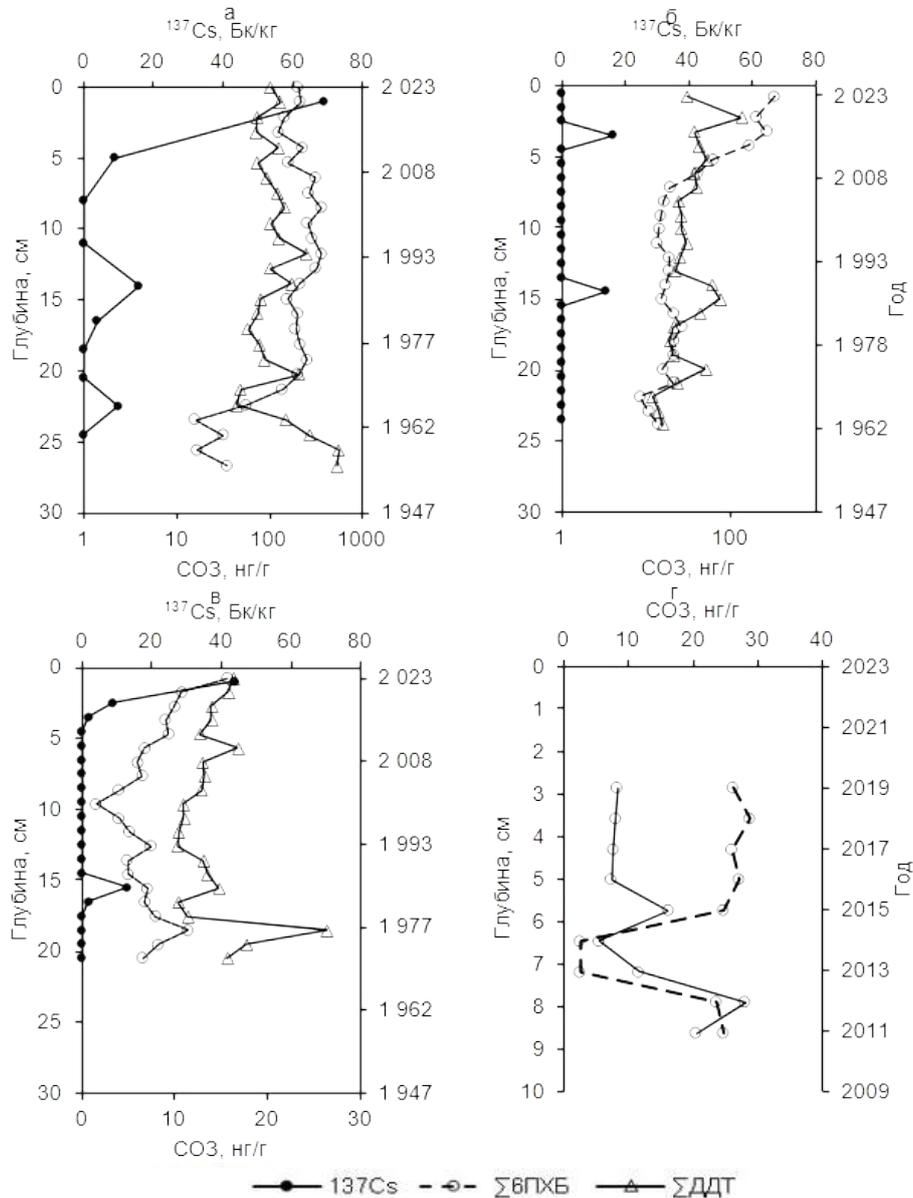


Рис. 2. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $\text{CO}_2$  в кернах донных осадков реки Салгир на ст. 7 (а), 8 (б) и 13 (в) и реки Чёрная на ст. 1 (г)

На рис. 3 представлены рассчитанные седиментационные потоки  $\text{CO}_2$  в ДО рек Чёрная и Салгир.

За последние 20 лет во всех исследованных районах, за исключением ст. 8 в реке Салгир, седиментационные потоки  $\Sigma\text{ДДТ}$  в ДО оказались схожими, при этом в более современных слоях ДО наблюдалось их статистически значимое снижение по сравнению с таковыми для заглоблённых ДО. На ст. 8 зафиксированы более высокие потоки  $\Sigma\text{ДДТ}$  по всему керну с максимальными значениями в слоях, соответствующих середине XX в., что связано, вероятно, с его историческим использованием в сельском хозяйстве в данном районе (рис. 3б). Также на ст. 8 обнаружены максимальные седиментационные потоки  $\Sigma\text{ПХБ}$ : их значения превышали в последние 20 лет более чем на порядок значения потоков  $\Sigma\text{ПХБ}$  в остальных исследованных районах (рис. 3а). Минимальные потоки  $\Sigma\text{ПХБ}$  определены на ст. 13.

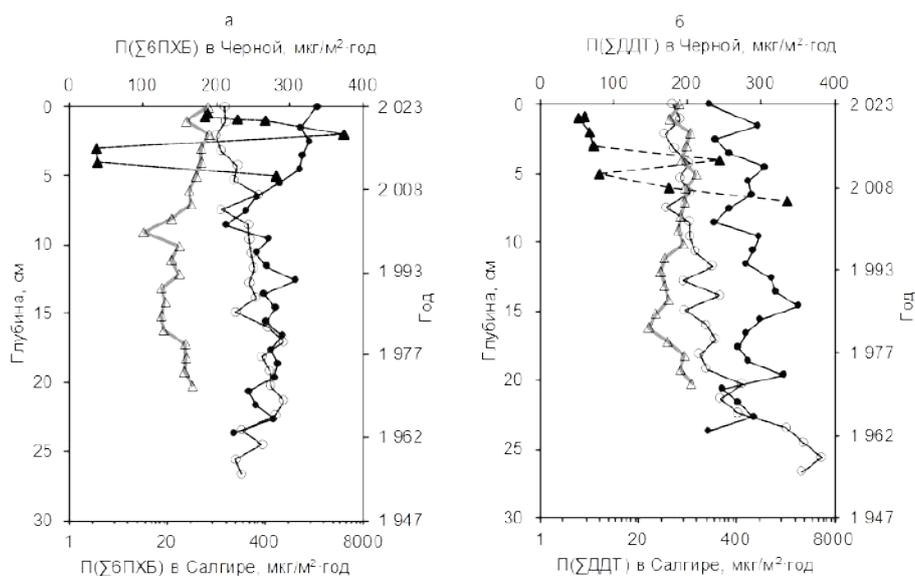


Рис. 3. Седиментационные потоки  $\Sigma 6\text{ПХБ}$  (а) и  $\Sigma\text{ДДТ}$  (б) в донные отложения в реках Чёрная и Салгир

До середины 2000-х гг. на ст. 1, 8 и 13 отношение потоков  $\Sigma\text{ДДТ}$  в ДО к потокам  $\Sigma 6\text{ПХБ}$  составляло в среднем 1,8 (рис. 4). За последние 20 лет на ст. 1, 7 и 8 отмечено снижение этого показателя, что может свидетельствовать о сокращении загрязнения ДДТ и увеличении загрязнения ПХБ, а также указывать на изменение в природе источников загрязнения. Так, если раньше ДДТ использовался широко, то сейчас на его место пришли другие инсектициды. Лишь на ст. 13, где потоки были невысокими, это отношение осталось выше 1.

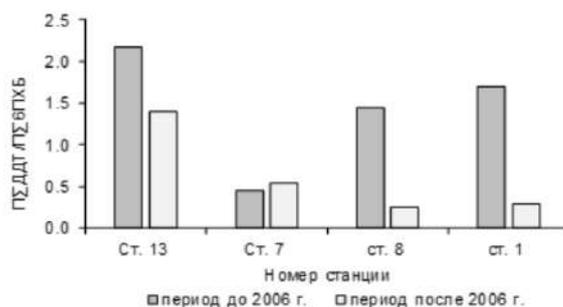


Рис. 4. Отношение седиментационных потоков  $\Sigma\text{ДДТ}$  и  $\Sigma 6\text{ПХБ}$  в ДО в реках Салгир и Чёрная в период до 2006 г. и с середины 2000-х гг. по настоящее время

Таким образом, загрязнение СОЗ донных отложений рек Чёрная и Салгир в пространстве и времени носит неравномерный и очаговый характер. Различия в уровнях загрязнения СОЗ в первую очередь связаны с неоднородным антропогенным воздействием. Определение распределения и потоков этих загрязнителей в донные отложения позволило выявить участки и периоды времени с повышенным уровнем загрязнения, что может служить основой для разработки мер по его снижению в исследуемых регионах. Снижение потоков ДДТ в донных отложениях в последние годы указывает на то, что приняты успешные меры по сокращению его использования, однако эти изменения наблюдались не во всех районах. При этом стабильные или растущие потоки ПХБ свидетельствуют о продолжающемся загрязнении рек этими опасными веществами.

*Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 124030100127-7 и НИЦ ПСГ – филиала ФИЦ ИнБЮМ № 123101900019-5.*

Список литературы

1. Анализ тенденций социально-экономического развития Республики Крым / под ред. Ю. П. Майданевич. Симферополь : ПОЛИПРИНТ, 2019. 362 с.
2. Egorov V. N., Gulin S. B., Malakhova L. V., Mirzoeva N. Yu., Popovichev V. N., Tereshchenko N. N., Lazorenko G. E., Plotitsina O. V., Malakhova T. V., Proskurnin V. Yu., Sidorov I. G., Stetsyuk A. P., Gulina L. V. Rating water quality in Sevastopol Bay by the fluxes of pollutant deposition in bottom sediments // Water Resources. 2018. Vol. 45, no. 2. P. 222–230. <https://doi.org/10.1134/S0097807818020069>
3. Gulin S. B., Aarkrog A., Polikarpov G. G., Nielsen S. P., Egorov V. N. Chronological study of <sup>137</sup>Cs input to the Black Sea deep and shelf sediments // International Symposium on Radionuclides in the Oceans – RADOS 96–97, Proceedings. Pt 1: Inventories, Behavior and Processes, Octeville-Cherbourg, France, 7–11 Oct., 1996. Les Éditions de Physique, 1997. Vol. 32. P. 257–262.

УДК 550.47

## Природные и искусственные радионуклиды в речной и наземной экосистемах бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика)

Мирзоева Н. Ю., Проскурнин В. Ю., Горбунова Т. Ю., Вахрушев М. О., Коротков А. А.,  
Братанов Н. С., Мосейченко И. Н., Мирошниченко О. Н., Сидоров И. Г.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [mirzoyevanyu@ibss-ras.ru](mailto:mirzoyevanyu@ibss-ras.ru)

Впервые определены современные уровни удельной активности природных ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{210}\text{Po}$ ) и антропогенного ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в речной и наземной экосистемах бассейна реки Фатала. Удельная активность растворённого  $^{210}\text{Po}$  было на три порядка ниже уровня вмешательства (УВ) для питьевой воды (НРБ-99/2009). Мощности доз внешнего поглощённого излучения для почвенной и бентосной биоты от исследуемых радионуклидов не превышали рекомендуемых предельно допустимых уровней, установленных для живых организмов. Выявлено, что изучаемые наземные растения являются безопасными для их использования в корм скоту в отношении радионуклидного загрязнения гамма-излучающими радионуклидами как природного ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ), так и искусственного происхождения ( $^{137}\text{Cs}$ ).

**Ключевые слова:** река Фатала, Гвинейская Республика, Атлантический океан, природные и искусственные радионуклиды, почвы, наземные растения, вода, донные отложения

Главная и быстро развивающаяся отрасль экономики Гвинейской Республики — горнодобывающая промышленность, на которую приходится 87 % валового объёма промышленной продукции [2 ; 9]. Известно [2 ; 9], что страна является мировым лидером по промышленным запасам высококачественных бокситов. В настоящее время бокситы и добываемый из них алюминий — единственные крупные статьи экспорта Гвинейской Республики. Отмечается, что 90 % горнодобывающих компаний в стране практикуют открытую добычу полезных ископаемых для извлечения руды, что наносит большой вред окружающей природной среде [2 ; 9 ; 13]. Кроме того, при открытой добыче полезных ископаемых возможно поступление природных и искусственных радионуклидов в окружающую среду в результате выбросов в виде пыли или из открытых отвалов пустой породы. Также радиоактивные вещества с дождевыми стоками могут поступать из мест разработки полезных ископаемых в близлежащие источники воды. Попав в наземные и речные экосистемы, радионуклиды переходят в наземные растения, через которые по пищевой цепи накапливаются в сельскохозяйственных животных и затем в человеке [3 ; 4 ; 7 ; 13].

Цель проводимого исследования — оценка современных уровней содержания природных и искусственных радионуклидов в компонентах экосистемы реки Фатала (Гвинейская Республика), а также в почве и наземной растительности бассейновой экосистемы этой реки. Задачей исследования было определить уровни концентрации природных ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{210}\text{Po}$ ) и антропогенного ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в изучаемых объектах бассейна реки Фатала (почвы, наземные растения, вода, взвешенное вещество, гидробионты и донные отложения).

Методы исследований: а) полевые; б) химико-аналитические; в) радиохимического экстрагирования; г) математической статистики.

Для выделения  $^{210}\text{Po}$  из отобранных образцов применяли радиохимические методы. Погрешность измерения не превышала 15 % [6 ; 8 ; 12]. Измерения активности природных радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$  и антропогенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемых пробах проводили с помощью гамма-спектрометрических комплексов НТЦ «РАДЭК» на основе полупроводникового детектора из особо чистого германия (GEM-30185) и сцинтилляционного БДЕГ-100 на основе NaI(Tl) [5 ; 6].

Пробы воды и донных отложений были отобраны в ходе совместных экспедиционных исследований учёных ФИЦ ИнБЮМ и CEREMAC-G (Конакри, Гвинейская Республика) с 29 октября по 8 декабря 2023 г. на 15 станциях по всему руслу реки Фатала (Гвинейская Республика). Также

пробы почв и наземных растений были отобраны на 18 станциях в бассейне этой реки. Всего отобрано 9 проб воды (по 10 л) на определение растворённого  $^{210}\text{Po}$  и 12 проб на определение  $^{210}\text{Po}$  на взвешенном веществе, 5 проб гидробионтов, 20 проб донных отложений (поверхностный слой), 64 пробы почв, 3 пробы наземной растительности.

Получено, что уровни удельной активности ( $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  сухой массы) природных радионуклидов в поверхностном слое почв бассейна реки Фатала изменялись в следующих диапазонах:  $^{238}\text{U}$  — 9,9–23,5;  $^{235}\text{U}$  — 9,9–23,4;  $^{232}\text{Th}$  — 18,3–171,3;  $^{40}\text{K}$  — 39,3–210,0;  $^{226}\text{Ra}$  — 88,6–260,0. Уровень удельной активности антропогенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  изменялся от значения ниже предела детектирования до 19,5. При сравнении полученных значений с кларками изучаемых элементов [1] было определено, что удельная активность таких природных гамма-излучающих радионуклидов, как  $^{238}\text{U}$  и  $^{40}\text{K}$ , в почвах исследованного региона Гвинейской Республики соответствовала их содержанию в почвах в естественных условиях. Для  $^{235}\text{U}$  эти значения были превышены в 9,9–14,6 раза, для  $^{232}\text{Th}$  — в 3,2 раза, для  $^{226}\text{Ra}$  — в 7,1 раза. Возможно, это связано с региональной геохимической обстановкой на исследуемых территориях. Считаем также, что на повышенное содержание  $^{235}\text{U}$  в почвах бассейна реки Фатала может влиять разработка одной из крупнейших жил уранита в мире (в Демократической Республике Конго, Центральная Африка).

Наиболее высокие значения удельной активности  $^{210}\text{Po}$  отмечены в верхнем почвенном горизонте, тогда как в более глубоких горизонтах показатель был в 2–5 раз ниже. Концентрации  $^{210}\text{Po}$  в почвах бассейна реки Фатала были незначительны и соответствовали таковым для почв Крыма (Россия) [6].

Распределение антропогенного  $^{137}\text{Cs}$  по фациям почв бассейна реки Фатала было неравномерным, что связано, очевидно, с характером его поступления — с атмосферным переносом после испытаний ядерного оружия в открытых средах [10]. В бассейне реки Фатала наибольшая концентрация искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  ( $19,5 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  сухой массы) была определена в рыхлой супесчаной почве степного района. Территория используется для выпаса скота. Ближайшее к исследуемому региону по широте (для  $25.57^\circ\text{N}$ ) значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пастбищных почвах было равно (с учётом коррекции активности на 2023 г.)  $25,1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  [10], что согласуется с полученным нами значением. Таким образом, такое распределение  $^{137}\text{Cs}$  связано с пятнистым распределением глобальных выпадений в указанных широтах.

Содержание и коэффициенты накопления ( $K_n$ ) гамма-излучающих радионуклидов в наземных лесных растениях бассейна реки Фатала представлены в табл. 1.

Номер фации и видовое название растения	Удельная активность ( $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы) и $K_n$							
	$^{235}\text{U}$	$K_n$	$^{226}\text{Ra}$	$K_n$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$K_n$	
Ф. 7 — <i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	3,0	0,2	51	0,6	н. п. д.	200,0	2,2	
Ф. 5 — <i>Anthonotha noldeae</i> (Rossberg) Exell & Hillc.	6,0	0,4	78	0,6	н. п. д.	192,0	2,8	
Ф. 9 — <i>Anthonotha noldeae</i> (Rossberg) Exell & Hillc.	3,5	0,4	54,5	0,6	н. п. д.	212,0	1,7	

Таблица 1. Гамма-излучающие радионуклиды и их коэффициенты накопления ( $K_n$ ) в наземных растениях бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) (н. п. д. — ниже предела детектирования)

Из полученных результатов (табл. 1) следует, что исследуемые наземные растения являются безопасными для их использования в корм скоту в отношении радионуклидного загрязнения гамма-излучающими радионуклидами как природного ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ), так и искусственного происхождения ( $^{137}\text{Cs}$ ). Общая мощность дозы облучения почвенной биоты на разных фациях почв в Гвинейской Республике от ионизирующего излучения гамма-излучающих  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{137}\text{Cs}$  была на 3–4 порядка величин ниже, чем принято в нормативных документах РФ. По шкале «зон мощностей доз и их действия в биосфере», предложенной академиком Г. Г. Поликарповым, рассчитанные нами мощности дозы внешнего облучения почвенной биоты в Гвинейской Республике лежали в пределах «зоны неопределённости», что соответствует наименьшим мощностям доз ионизирующей радиации в биосфере [5].

Впервые определено содержание природных радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{210}\text{Po}$  и антропогенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах водной экосистемы реки Фатала. Полученные результаты представлены в табл. 2 и 3.

№ станции	Место отбора (описание)	Дата отбора	$^{210}\text{Po}$ , МБк·л <sup>-1</sup>
2	Атлантический океан	03.11.2023	3,82 ± 0,10
3'	устье реки Фатала	03.11.2023	1,37 ± 0,07
4	Атлантический океан	03.11.2023	5,13 ± 0,14
7	река Фатала (участок реки после порта)	04.11.2023	1,51 ± 0,07
8	река Фатала (участок до порта)	04.11.2023	1,51 ± 0,06
9	ответвление реки Фатала	05.11.2023	0,45 ± 0,04
11'	река Фатала, пороги возле деревни Биндан	05.11.2023	1,43 ± 0,07
13	река Фатала	26.11.2023	0,56 ± 0,04
15'	река Фатала	23.11.2023	0,66 ± 0,05

Таблица 2. Удельная активность  $^{210}\text{Po}$  в профильтрованной (0,45 мкм) воде (растворённой фазе) реки Фатала и сопредельных акваторий Атлантического океана

№ станции	Удельная активность (Бк·кг <sup>-1</sup> сухой массы)					
	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
2	8,94	7,26	31,83	57,47	19,79	124,12
3	11,15	9,91	46,48	167,31	3,65	176,26
5	4,90	6,13	31,56	66,19	0,0	53,93
6	13,02	11,39	48,81	82,91	0,0	208,79
8	24,65	19,52	75,50	217,45	3,52	253,48
10	21,5	20,96	81,7	240,2	0,0	150,5
12	2,57	13,6	58,82	264,71	0,0	84,97
14	13,37	15,02	63,34	168,92	2,48	125,13

Таблица 3. Распределение гамма-излучающих радионуклидов в донных отложениях реки Фатала

Определено (табл. 2), что значение растворённого  $^{210}\text{Po}$  было на три порядка ниже уровня вмешательства ( $\text{УВ} = 0,11 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) для питьевой воды, рекомендованного Нормами радиационной безопасности РФ (НРБ-99/2009). Наибольшие значения удельной активности растворённой формы  $^{210}\text{Po}$  определены для приустьевых акваторий Атлантического океана. Это связано, вероятно, с прямой корреляцией между величиной удельной активности  $^{210}\text{Po}$  в растворённой фазе и солёностью воды из исследуемого района (рис. 1).

Для донных отложений реки Фатала удельные активности представленных радионуклидов (табл. 3) были в целом сопоставимы с таковыми в почвах, что связано с их общими источниками поступления. Наибольшая величина удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях была зарегистрирована на станции отбора проб в реке Фатала, расположенной в районе выхода из устья, —  $19,8 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  сухой массы. Известно, что  $^{137}\text{Cs}$  в большей степени накапливается на мелкозернистом литогенном веществе, что связано с присутствием в нём глинистых минералов. Наиболее благоприятные условия для накопления такого вещества сформировались в районах с небольшой скоростью течения — в устьевой зоне рек, более широких областях русла и прибрежных частях реки [11]. В центральной части и верховье реки Фатала удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях не превышала  $3,65 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  сухой массы. Определённые уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях реки Фатала соответствует таковым для глобальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  в указанных широтах [10].

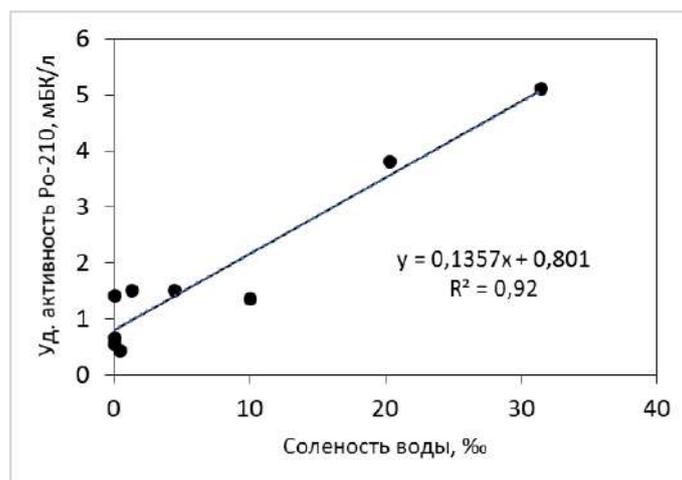


Рис. 1. Соотношение между удельной активностью  $^{210}\text{Po}$  в растворённой фазе и солёностью воды (река Фатала, Атлантический океан)

Среди гидробионтов было отобрано высшее водное растение из Атлантического океана (район устья реки Фатала) — *Zostera capensis*. Получено, что концентрации в этом гидробионте природных и искусственных радионуклидов были значительно ниже, чем в наземных растениях из бассейна реки Фатала ( $^{235}\text{U}$  — 6,  $^{226}\text{Ra}$  — 45,  $^{137}\text{Cs}$  — 0,2,  $^{40}\text{K}$  — 97 Бк·кг<sup>-1</sup> сырой массы).

Рассчитанные мощности доз поглощённого излучения для почвенной и бентосной биоты в отношении гамма-излучающих радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) не превышали рекомендуемых предельно допустимых уровней, установленных для живых организмов (не более 10 мГр·сутки<sup>-1</sup>). Как и в случае почв, основной вклад в мощность доз для высших водных растений вносили  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$ . Общая мощность доз внешнего облучения придонной и донной биоты от донных отложений реки Фатала лежала в пределах «зоны неопределённости» [6], что соответствует наименьшим мощностям доз ионизирующей радиации в биосфере.

Проведённые исследования стали пионерскими. Впервые для наземной и речной экосистемы бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика) определены современные уровни удельной активности наиболее распространённых гамма-излучающих природных ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$ ) и антропогенного ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов, а также основного дозообразующего альфа-излучающего радионуклида  $^{210}\text{Po}$ , что является научной базой для оценки влияния радиоактивности на окружающую среду и здоровье человека в данном регионе.

*Исследования проведены в рамках гранта в области науки № 075-15-2023-592 «Разработка технологии оценки антропогенного воздействия на бассейновые экосистемы тропической зоны для выработки рекомендаций по их охране и оптимизации природопользования на примере бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика)».*

*Авторы сердечно благодарят сотрудников CEREMAC-G (Конакри, Гвинейская Республика) Ибрагима Кейта, Альфа Палле Диалло, Абдула Ибрагим Камара и Бобукар Байло за бесценную помощь в организации исследований и отборе проб вдоль русла реки Фатала (Гвинейская Республика).*

#### Список литературы

1. Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
2. Камара Нфа Каба, Петровская М. В. Горнодобывающая промышленность Республики Гвинея: особенности и перспективы развития // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9, № 6. 12 с. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/63EVN617.pdf> (дата обращения: 05.10. 2024).
3. Ким Д., Геращенко Л. А. Радиационная экология : учеб. пособие. Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. 213 с.

4. Коршунов Г. И., Мироненкова Н. А., Потапов Р. В., Яковенко А. А. Радиационная обстановка на полиметаллических рудниках, золотодобывающих и железорудных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. № 2. 2013. С. 219–224.
5. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды / под общ. ред. А. Н. Марья, А. С. Зыковой. М. : Наука, 1980. 336 с.
6. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую аварию / под ред. Г. Г. Поликарпова, В. Н. Егорова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
7. Чумиченко А. М., Ананьев А. И., Голубкова И. Ф., Фомин И. А. О радиоактивной загрязнённости атмосферы рудников по добыче руд цветных редких металлов // Цветная металлургия. № 2. 1992. С. 66–70.
8. Chen Q., Dahlgard H., Nielsen S. P., Aarkrog A. Determination of  $^{210}\text{Pb}$  in mussels, fish, sediments and petroleum / Department of Nuclear Safety Research and Facilities. Roskilde, Denmark : RISØ National Laboratory, 1998. 10 p.
9. Diallo P. Regime Stability. Social Insecurity and Bauxite Mining in Guinea. Developments Since the Mid-Twentieth Century. London : Routledge, 2019. 142 p. <https://doi.org/10.4324/9780429286544>
10. Evrard O. et al. A global review of sediment source fingerprinting research incorporating fallout radiocesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) // Geomorphology. 2020. Vol. 362. Art. no. 107103. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107103>.
11. Fuller A. J. et al. Caesium incorporation and retention in illite interlayers // Applied Clay Science. 2015. Vol. 108. P. 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.02.008>.
12. Mirzoeva N. Yu., Korotkov A. A., Cogan S., Trapeznikov A. V., Lazorenko G. E.  $^{210}\text{Po}$  in Crimean salt lakes // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. Vol. 219. Art. no. 106270 (11 p.). <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106270>.
13. Rokhim R., Adawiyah W., Nasution R. E. F. The negative impact of coal mining company on health, environment, climate change, economic sustainability and macroeconomic // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 74. Art. no. 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187401004>.

УДК 550.47

## Особенности загрязнения алифатическими углеводородами донных отложений реки Эль-Аси (Оронт) в окрестностях города Хомс (Сирийская Арабская Республика)

Миронов О. А.<sup>1</sup>, Мирзоева Н. Ю.<sup>1</sup>, Маан С.<sup>2</sup>, Хадид М.<sup>2</sup>, Чёрный Г. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Al-Baath University, Homs, Syria

✉ [mironov\\_oa@ibss-ras.ru](mailto:mironov_oa@ibss-ras.ru)

Река Эль-Аси является одним из крупнейших водотоков Сирии, протекая при этом по территории трёх стран. Река испытывает существенное антропогенное воздействие; в частности, она загрязнена углеводородами, накапливающимися в донных отложениях. В работе приведены результаты предварительных исследований загрязнения донных отложений р. Эль-Аси в окрестностях крупного города Хомс. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения природоохранных мероприятий, а также продолжения мониторинговых исследований в данном регионе.

**Ключевые слова:** река Эль-Аси, алифатические углеводороды, донные отложения

Ближневосточные страны, в частности Сирийская Арабская Республика, считаются странами, испытывающими в наибольшей степени дефицит воды [6], что обусловлено рядом экономических, социальных, демографических, культурных, экологических и политических особенностей их развития. В регионе существуют трансграничные реки, одна из которых — Эль-Аси (Оронт). Она берёт начало в Ливане, протекает по территории Сирии и Турции и впадает в Средиземное море; эта река является одним из важных источников воды на Ближнем Востоке [4]. С учётом того, что население территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт) составляет почти 5,7 млн человек, имеющиеся там водные ресурсы не способны удовлетворить потребности людей, проживающих в данных странах; кроме того, санитарно-гигиенические показатели этих вод оставляют желать лучшего [2].

Река берёт начало в горах Ливана, примерно в 30 км к востоку от Бейрута. Длина р. Эль-Аси (Оронт) — 571 км, средний расход воды — около  $80 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  (рис. 1). Река течёт по направлению на север, в отличие от остальных рек в регионе, почти параллельно линии побережья Средиземного моря. Озеро Каттина (Хомс) появилось ещё в античные времена, когда древние греки пытались зарегулировать сток Эль-Аси и предотвратить разливы ниже по течению.

Ещё шире река становится в том месте, где русло подходит к городу Хама. Миновав город, русло поворачивает на запад, устремляясь на Антиохийскую равнину. В этих местах река принимает два крупных притока — Африн и Карасу. Устье реки — место её впадения в Средиземное море, у подножия горы Пиерия к югу от турецкого портового городка Самандаг. Судоходство в реке практически отсутствует. Эль-Аси (Оронт) является единственным постоянным водотоком в Западной Азии [1].

Сегодня р. Эль-Аси (Оронт) используется для орошения 6 % территории в Ливане, 36 % в Турции и 58 % в Сирии, что составляет ориентировочно 350 000 га земли. Мухафазат Идлеб и долина Аль-Габ в Сирии получают наибольшую ирригацию.

В настоящее время использование р. Эль-Аси (Оронт) в Ливане ограничивается мелкомасштабным сельским хозяйством, рыбоводческими хозяйствами и туризмом. В бассейне реки на территории Сирии интенсивно эксплуатируются как подземные, так и поверхностные воды для орошения. В Турции в последние годы запланировано и реализовано несколько десятков проектов по развитию водных ресурсов в турецкой части бассейна Эль-Аси (Оронт). Эти проекты направлены на регулирование стока реки и её притоков для ирригации и защиты от наводнений. Они также направлены на обеспечение водой бытовых нужд и на выработку электроэнергии [4]. В Турции

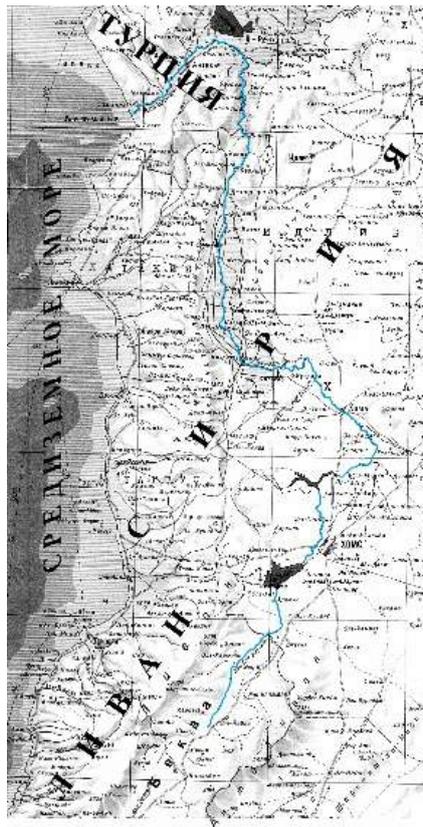


Рис. 1. Река Эль-Аси (Оронт) от истока до устья

проводятся многочисленные исследования загрязнения устья Эль-Аси (Оронт), так как протекающая через три страны река подвержена сильному антропогенному влиянию [5]. Кроме того, после 2011 г. в турецкой части р. Эль-Аси (Оронт) наблюдается снижение качества воды, связанное с военным конфликтом в Сирии.

Таким образом, очевидно высокое значение р. Эль-Аси (Оронт) для сельскохозяйственной деятельности, а также для обеспечения пресной водой населения Сирийской Арабской Республики, по территории которой протекает большая часть этой реки.

Одним из крупных городов, расположенных на р. Эль-Аси (Оронт), является Хомс, административный центр одноименной мухафазы (провинции) и третий по величине город в Сирии. Его население на 2017 г. оценивалось в 775 404 человека. Несмотря на то, что Хомс сильно пострадал во время гражданской войны, вторжения вооружённых бандитских формирований и освобождения в 2014 г., он остаётся крупным промышленным центром. Особо следует сказать о построенном в 1959 г. и функционирующем в настоящее время нефтеперерабатывающем заводе, являющемся крупнейшим в Сирии (проектная мощность нефтепереработки — до 1 млн т в год). Завод существенно пострадал во время боевых действий, однако не прерывал свою работу, что сказалось на функционировании систем очистки нефтесодержащих сточных вод, попадающих в р. Эль-Аси (Оронт) в его окрестностях.

Для оценки экологического состояния р. Эль-Аси (Оронт) совместно с коллегами из Университета Аль-Баас (Хомс) в 2023 г. мы провели рекогносцировочные исследования в окрестностях г. Хомс, охватывающие четыре станции (одну в районе озера Каттина (Хомс), куда впадает река до того, как достигает города, и три на р. Эль-Аси) (рис. 2).

Ст. 1 была расположена на берегу озера Каттина (Хомс) неподалёку от места, где из него вытекает р. Эль-Аси. Ст. 2 располагалась на реке вблизи озера Каттина в месте впадения стоков с завода по производству фосфатных удобрений. Ст. 3 была расположена в окрестностях нефтеперерабатывающего завода, где сточные воды попадают в р. Эль-Аси (Оронт). Ст. 4 располагалась на окраине городской застройки г. Хомс, рядом с автомобильным мостом, проходящим над р. Эль-Аси.



Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб

На данных станциях были отобраны пробы донных отложений как окончательного «депо», где депонируются загрязняющие вещества из водной толщи реки, в том числе углеводороды алифатического ряда. Донные отложения являются более информативным объектом оценки загрязнённости нефтяными углеводородами, чем вода, поскольку они накапливают в себе поллютанты и позволяют регистрировать не только свежее загрязнение, но и хроническое.

Донные отложения отбирали ручной дночерпательной колонкой, они захватывали верхний 10–15-см слой. Далее пробы донных отложений высушивали до воздушно-сухого состояния, перетирали в инертной ступке пестиком и просеивали ситом с диаметром ячеек 0,25 мм. Аликвотную часть сконцентрированного экстракта (1 мкл) вводили микрошприцем в нагретый до +250 °С испаритель газового хроматографа «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Разделение углеводородов осуществляли на капиллярной колонке НТ8 25 м × 0,32 мм с толщиной неподвижной фазы 0,25 мкм (SGE Analytical Science). Температура колонки программировалась от +40 до +330 °С (скорость подъёма температуры — 10 °С·мин<sup>-1</sup>). Поток газа-носителя (гелий) в колонке — 2,5 мл·мин<sup>-1</sup> без деления потока. Температура детектора — +320 °С. Определение углеводородов проводили на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Количественное определение суммарного содержания нефтяных углеводородов (нефтепродуктов) проводили путём абсолютной калибровки ПИД смесью углеводородов, которую готовили гравиметрическим методом, с содержанием в диапазоне 0,1–5,0 мг·л<sup>-1</sup>. В качестве смеси углеводородов использовали стандартный образец ASTM D2887 Reference Gas Oil (фирма SUPELCO, США). Для обработки результатов использовали программное обеспечение «Хроматэк Аналитик 3.0», метод абсолютной калибровки и процентной нормализации.

Следует отметить, что на сегодняшний день не существует законодательно установленных нормативов содержания нефтяных углеводородов в донных отложениях, однако есть ряд классификаций, позволяющих оценить степень загрязнённости отложений. Согласно классификации В. И. Уваровой [3], по содержанию нефтяных углеводородов (мг·кг<sup>-1</sup> сухого грунта) грунты могут быть разделены на чистые (0–5), слабо загрязнённые (5–25), умеренно загрязнённые (25–55), загрязнённые (55–205), грязные (205–500) и очень грязные (свыше 500). Результаты определения содержания алифатических углеводородов в донных отложениях представлены в табл. 1.

№ станции	Содержание алифатических углеводородов в донных осадках	Степень загрязнённости по классификации Уваровой
1	40,6	умеренно загрязнённые
2	117,8	загрязнённые
3	1276,4	очень грязные
4	459,6	грязные

Таблица 1. Содержание алифатических углеводородов, мг·кг<sup>-1</sup>, и степень загрязнённости донных осадков

Как видно из представленных данных, донные отложения озера Каттина (Хомс) наименее загрязнены углеводородами. При этом анализ хроматограммы углеводородного состава показывает (рис. 3), что максимумы приходятся на высокомолекулярные нечётные пики с одномолекулярным распределением гомологов; это может свидетельствовать о преимущественно аллохтонном происхождении углеводородов, что является характерным для внутренних водоёмов. Также на биогенное происхождение обнаруженных углеводородов указывает отношение изопреноидных алканов пристана к фитану  $> 1$ . Присутствуют выраженные пики  $C_{20}$  и  $C_{22}$ , что может свидетельствовать о бактериальном разложении фитопланктона. Таким образом, можно предположить следующее: несмотря на принадлежность донных отложений озера Каттина к категории умеренно загрязнённых, большая часть углеводородов, обнаруженных в отложениях, имеет биогенную природу (не связана с хозяйственной деятельностью человека).

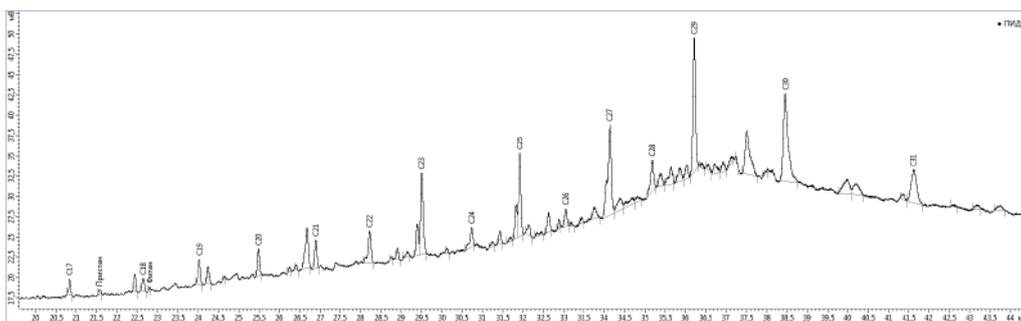


Рис. 3. Углеводородный состав донных отложений озера Каттина (Хомс)

Донные отложения ст. 2, расположенной рядом со сточным каналом функционирующего поблизости завода по производству фосфатных удобрений, относились к загрязнённым. При этом также обнаружены маркеры биогенного происхождения углеводородов, что может свидетельствовать о насыщении воды биогенными элементами в результате эвтрофикации, а также увеличения продукции фитопланктонного сообщества.

На ст. 3, расположенной в непосредственной близости от нефтеперерабатывающего завода, в воде и на берегах визуально фиксировались нефтяные остатки, что, как указано выше, является свидетельством повреждения либо недостаточного функционирования очистных сооружений завода, вследствие чего высокие концентрации нефтяных углеводородов попадают с его сточными водами в прилегающие водоёмы и сильно загрязняют окружающую среду. Сирийские коллеги поделились информацией, что нефти выбрасывается настолько много, что зачастую местные жители собирают её ручным способом и используют в холодное время года для отопления своих жилищ. Концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях была выше  $1200 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ , и это притом, что во время пробоподготовки пришлось разбавлять экстракт, чтобы не загрязнить ПИД хроматографа. На хроматограмме, что естественно, обнаружены как признаки свежего нефтяного загрязнения, так и наличие старых разложившихся соединений, а также неразделимого хроматографического «горба».

В районе ст. 4, расположенной ниже по течению в окрестностях г. Хомс, в донных отложениях также обнаружены существенные концентрации алифатических углеводородов (рис. 4).

Обнаружены углеводороды в диапазоне от  $C_{16}$  до  $C_{31}$  с максимумами в высокомолекулярной области, что говорит об отсутствии свежего загрязнения. Фиксировались значимые пики  $C_{28}$  и  $C_{30}$ , что свидетельствует о наличии антропогенных углеводородов. Соотношение изопреноидов пристана к фитану тоже было  $< 1$ , что является признаком нефтяного загрязнения. Также на хроматограмме присутствует неразложимый фон, который может быть связан с хроническим нефтяным загрязнением. По-видимому, сюда попадают загрязнённые воды со ст. 3, однако они несут существенно меньше углеводородов, что отображается в их содержании в донных отложениях.

Таким образом, можно констатировать, что река Эль-Аси (Оронт) в окрестностях города Хомс испытывает существенное антропогенное воздействие, что негативно сказывается на её состоянии и требует осуществления комплекса мер, направленных на оздоровление данного водотока. В первую

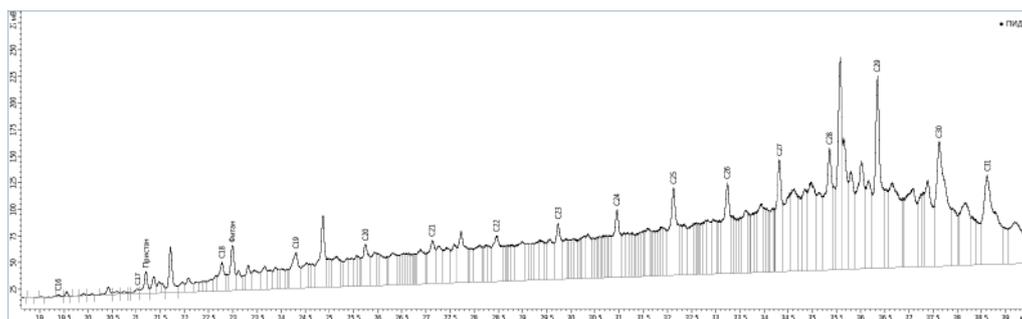


Рис. 4. Углеродный состав донных отложений на станции 4 в район г. Хомс

очередь следует отремонтировать или установить новые, современные очистные сооружения в районе нефтеперерабатывающего завода, деятельность которого крайне пагубно сказывается на экологическом состоянии близлежащих территорий и водотоков. По информации от сирийских коллег, такая работа уже ведётся, поэтому будет целесообразно оценить её результаты в дальнейшем. Также представляет определённый интерес отбор проб воды и донных отложений выше по течению р. Эль-Аси, за пределами г. Хомс, что является целью дальнейших исследований в данном районе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозкологических процессов в экосистемах водоёмов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).*

#### Список литературы

1. Реки Ближнего Востока. Ч. 1. Ефрат, Оронт / Науч.-информ. центр Межгос. координац. водохозяйств. комис. Центр. Азии ; ред. Е. Мухина. Ташкент : НИЦ МКВК, 2015. 80 с. (Информ. сб. ; № 42).
2. Табунщик В. А., Никифорова А. А., Линева Н. П., Мирзоева Н. Ю., Черный Г. С., Керимов И. А., Махмудова Л. Ш., Гагаева З. Ш., Андрончик Я. О. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг. Биоразнообразие и устойчивое развитие. 2023. Т. 8, № 3. С. 40–55. <https://eco-ibss.ru/bio/article/view/199>
3. Уварова В.И. Современное состояние уровня загрязненности вод и грунтов Обь-Иртышского бассейна // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 305. 1989. С. 23–33.
4. Orontes river basin // Inventory of shared water resources in Western Asia / UN, Econ. And Social Commis. for Western Asia [et al.]. Beirut : ESCWA, 2013. Chap. 7. URL: [https://waterinventory.org/sites/waterinventory.org/files/chapters/Chapter-07-Orontes-River-Basin-web\\_1.pdf](https://waterinventory.org/sites/waterinventory.org/files/chapters/Chapter-07-Orontes-River-Basin-web_1.pdf) (дата обращения: 10.10.2024).
5. Turan F., Eken M. D., Ergerler A. Assessment of water quality of the Orontes River basin, Turkey // The 1<sup>st</sup> International conference on environment, technology and management (ICETEM), 27–29 June, 2019, Niğde, Turkey: proc. book / Niğde Ömer Halisdemir Univ. ; ed. by I. Kacar. Niğde, Turkey : [s. n.], 2020. P. 821–826.
6. Zaki N. A., Kløve B., Haghghi A. T. Expanding the irrigated areas in the MENA and Central Asia: Challenges or opportunities? // Water. 2022. Vol. 14, iss. 16. Art. no. 2560. <https://doi.org/10.3390/w14162560>

УДК 528.9:556.51

## Использование данных дистанционного зондирования Земли для выделения эрозионной сети и сети временных водотоков водосбора Капсельской бухты (Крымский полуостров)

Никифорова А. А.<sup>1</sup>, Матвеева А. Д.<sup>2</sup>, Миронова А. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ [nikiforova\\_a@ibss-ras.ru](mailto:nikiforova_a@ibss-ras.ru)

В работе представлены материалы моделирования сети временных водотоков на территории водосбора Капсельской бухты с использованием методов дистанционного зондирования Земли, а также цифровой модели рельефа SRTM30 с пространственным разрешением 30 м·пиксель<sup>-1</sup>.

**Ключевые слова:** Крымский полуостров, Юго-Восточный Крым, бухта Капсель, ГИС, ЦМР

Капсельская бухта расположена в юго-восточной части Крымского полуострова, рядом с городом Судак. Она простирается от мыса Алчак до мысы Рыбачий. При этом её водосборный бассейн формирует чётко обособленную физико-географическую единицу исследования с однонаправленными потоками вещества и энергии — в сторону Чёрного моря (рис. 1).

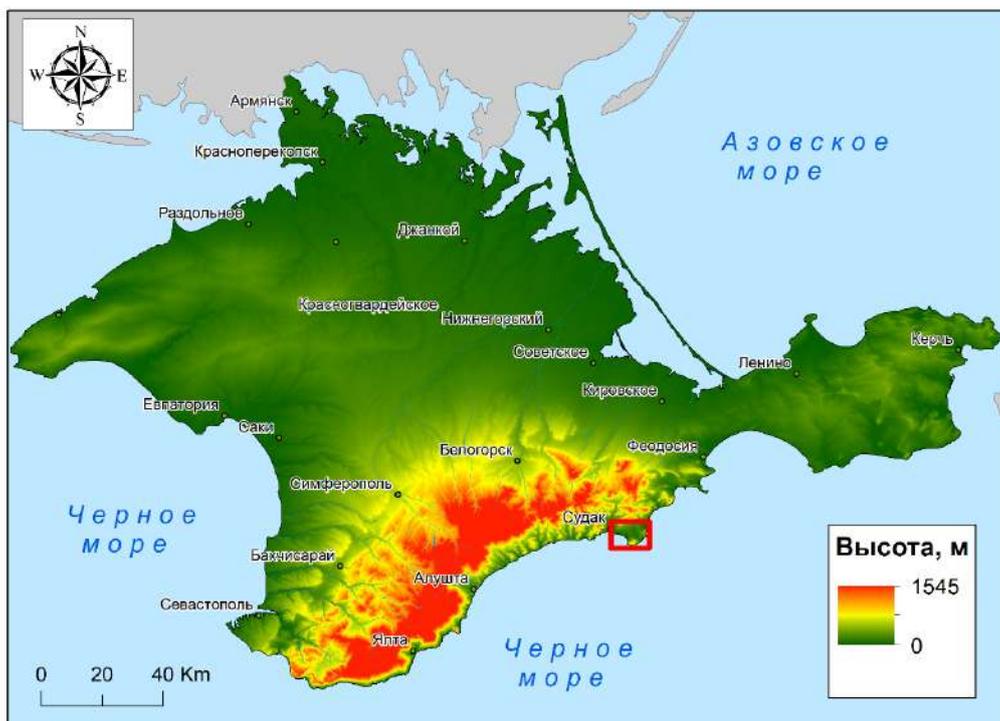


Рис. 1. Географическое положение района исследования

В последние годы использование дистанционных методов и наборов открытых пространственных данных сформировало новую парадигму исследований [1]. Не являются исключением и исследования, связанные с анализом цифровых моделей рельефа и выделением элементов эрозионной сети [2-4]. Для территории Крымского полуострова эти исследования активно развиваются в последнее

десятилетие. Можно отметить ряд работ А. Н. Власовой [5], А. Г. Нарожной [6], З. В. Тимченко с соавторами [7 ; 8], В. А. Табунщика [9], Р. В. Горбунова с соавторами [10], А. В. Дрыгваль [11], А. А. Никифоровой [12], М. Н. Игнатьевой [13] и др.

В настоящем исследовании предпринята попытка выделения сети временных водотоков для территории водосбора Капсельской бухты. Для выделения использовалась цифровая модель рельефа Soternicus DEM с пространственным разрешением 30 м·пиксель<sup>-1</sup>. Обработка данных производилась с использованием программного комплекса ArcGIS 10.8.

На первом этапе работ производилось выделение водосбора Капсельской бухты по методике, опубликованной в работах [13 ; 14]. Затем, согласно методике [15], производилось гидрологическое моделирование и выделение эрозионной сети и сети временных водотоков.

В результате исследования составлена карта, на которой отмечены элементы развития ложбинно-овражно-балочной сети в пределах водосбора Капсельской бухты (рис. 2) и формируемые в их границах временные водотоки.

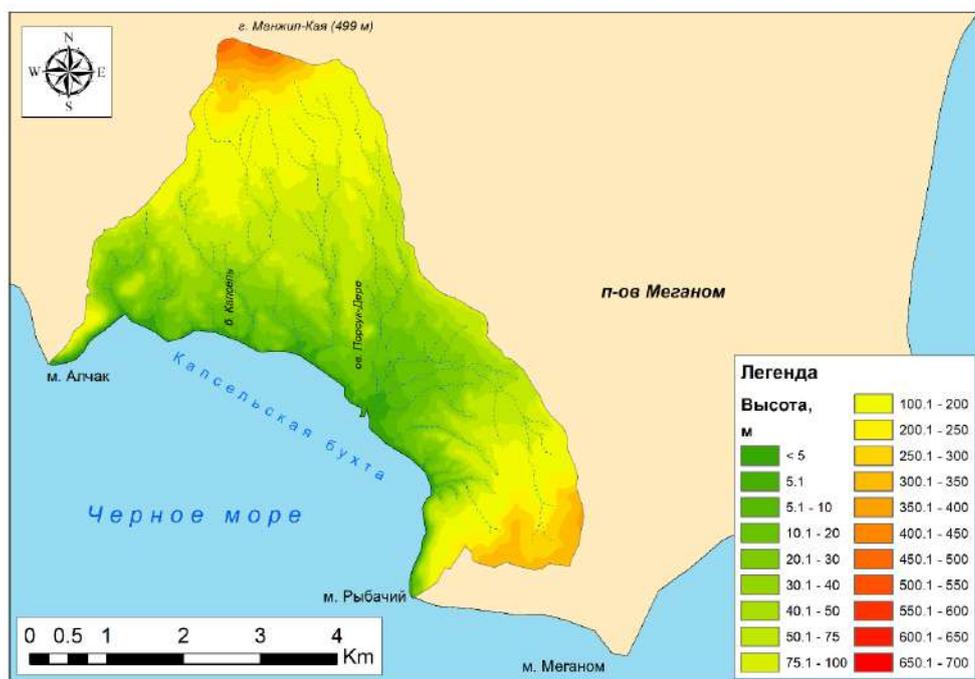


Рис. 2. Временные водотоки на территории водосбора Капсельской бухты

Практически все выделенные временные водотоки являются безымянными и слабоизученными. Гидрографические и гидрологические исследования выделенных водосборных бассейнов водотоков являются перспективными.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FZEG-2024-0006 «Формирование устойчивой системы зелёных насаждений арт-кластера «Таврида» (Юго-Восточный Крым)», а также частично в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).*

### Список литературы

1. Гарскова И. М. Историческая информатика: после точки бифуркации // Круг идей: модели и технологии исторических реконструкций, Подмоскowie, 03–05 октября 2008 г. / под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимирова, Г. В. Можяевой. Подмоскowie : Издательство Московского государственного университета, 2010. С. 5–33. EDN: [QILAUC](#).
2. Погорелов А. В., Думит Ж. А. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования // Географические исследования Краснодарского края : сборник научных трудов / отв. ред. А. В. Погорелов. Т. 2. Краснодар : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет», 2007. С. 7–23. EDN: [SWTJMJ](#).
3. Павлова А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. Т. 9, № 1. С. 39–44. EDN: [JVCBHW](#).
4. Шекман Е. А., Гарцман Б. И. Моделирование структуры речного бассейна на основе средств ГИС // III Виноградовские чтения. Грани гидрологии : сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 г. / под ред. О. М. Макарьевой. Санкт-Петербург : Издательство «Наукоёмкие технологии», 2018. С. 263–267. EDN: [XUSSAH](#).
5. Власова А. Н. Применение ГИС-технологий при выделении позиционно-динамической структуры бассейновых территорий (на примере Крыма) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2012. Т. 8, № 1–2. С. 56–61. EDN: [VLOQAR](#).
6. Нарожняя А. Г. Морфометрический анализ рельефа бассейнов рек Крыма с использованием ГИС // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 2. С. 218–232. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-218-232>. EDN: [SFYKZX](#).
7. Timchenko Z. V., Tabunshchik V. A., Zelentsova M. G. The characteristics of the Dzhankoy Region Rivers and Dzhankoy Town Okrug of the Republic of the Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 June, 2020 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 52038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052038>. EDN: [ZNKDZO](#).
8. Тимченко З. В., Табунщик В. А. Гидрологическая характеристика реки Самарли (Керченский полуостров, республика Крым) // Природа и общество: интеграционные процессы : материалы международной научно-практической конференции, Севастополь, 12–16 сентября 2022 г. / ред. Е. А. Позаченюк [и др.]. Симферополь : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. С. 83–88. EDN: [XCVANH](#).
9. Табунщик В. А. Оценка геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор : дис. ... канд. геогр. наук: 1.6.21 / Владимир Александрович Табунщик, 2024. 290 с. EDN: [WPJYND](#).
10. Горбунов Р. В., Власова А. Н., Гапон С. В., Горбунова Т. Ю. Ландшафтная структура территории бассейна ручья Курцы // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 1. С. 464–470. EDN: [VQDWGL](#).

11. Дрыгваль А. В. Морфометрический анализ бассейна реки Шелен (Южный берег Крыма) // Геология и водные ресурсы Крыма. Полевые практики в системе высшего образования : материалы Шестой Всероссийской конференции : посвящается 70-летию Крымской учебной практики по геологическому картированию Ленинградского – Санкт-Петербургского государственного университета, 90-летию профессора Владимира Анатольевича Прозоровского, Республика Крым, 29 августа – 08 сентября 2022 г. / Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, ООО «Водный центр СПбГУ», МОО «Крымская академия наук». Республика Крым : ООО «Издательство «ЛЕМА», 2022. С. 43–45. EDN: [EIURZJ](#).
12. Никифорова А. А., Табунщик В. А., Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Анализ наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) в 2021 г.: сравнение баз данных ESRI land cover и ESA World cover // Материалы I Белорусского географического конгресса : материалы конгресса к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества. В 7 ч. Минск, 08–13 апреля 2024 г. Минск : Белорусский государственный университет, 2024. С. 132–136. EDN: [LZQTDE](#).
13. Игнатьева М. Н. Сравнение использования различных цифровых моделей рельефа для выделения водосборного бассейна реки Али-Бай // Ломоносов-2023 : материалы XXIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 12–15 апреля 2023 г. Севастополь : Филиал МГУ в г. Севастополе, 2023. С. 44–45. EDN: [RKWVKQ](#).
14. Самсонов Т. Е. Основы геоинформатики: практикум. М. : Географический факультет МГУ, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1167857>
15. Обутов К. А., Данилов Ю. Г. Автоматизация определения границ речных бассейнов малых рек на примере Хангаласского района РС (Я) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2024. № 2 (34). С. 60–67. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-60-67>. EDN [QOENPK](#).
16. Курлович Д. М. Морфометрический ГИС-анализ рельефа Беларуси // Земля Беларуси. 2013. № 4. С. 42–48. EDN: [WCBUNV](#).

УДК 504.75.05

## Геоэкологическая оценка территориальной организации природопользования Магаданской области

Окаёмова Е. С., Лепёхин П. П.

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

✉ [katyaokayhi@gmail.com](mailto:katyaokayhi@gmail.com)

Актуальность исследования обусловлена возросшей интенсивностью использования природных ресурсов Магаданской области, что может привести к негативным последствиям для окружающей среды. Поэтому проведение геоэкологической оценки территориальной организации природопользования в данном регионе позволит выявить основные проблемы.

**Ключевые слова:** Магаданская область, комплексные показатели, загрязнение компонентов экосистемы, ИЗА, ИЗВ, ИЗП, СПЗ

Влияние загрязнения воздуха и почвы на воду является комплексным и многослойным процессом. Оно включает перенос химических соединений, твёрдых частиц и биологических агентов из одного компонента окружающей среды в другой. Это может приводить к снижению качества воды, нарушению экологического равновесия в водоёмах и появлению угрозы здоровью человека.

За основу исследования взяты семь категорий земель Магаданской области, которые отражают специфику использования различных типов земель с учётом их природных характеристик, экономического потенциала и социальной значимости.

В структуре земельного фонда Магаданской области преобладают земли лесного фонда — 96,4 %, или 44,6 млн га. Также в области есть земли сельскохозяйственного назначения (0,65 %, или 0,3 млн га), земли запаса (0,61 %, или 0,28 млн га), земли промышленности и иного специального назначения (0,12 %, или 0,012 млн га), земли природоохранного назначения (1,9 %, или 0,88 млн га), земли населённых пунктов (0,18 %, или 0,08 млн га) и земли водного фонда (0,15 %, или 0,07 млн га).

Магаданская область является местом, где проходит водораздел между Тихим и Северным Ледовитым океаном. Речная система региона относится к бассейнам этих океанов.

Речная сеть Магаданской области состоит примерно из 250 тыс. рек общей протяжённостью более 380,1 тыс. км. Большинство из них являются малыми реками и ручьями, причём 99 % из них имеют длину менее 10 км.

На рис. 1 представлена гидрографическая карта рек Магаданской области [2].

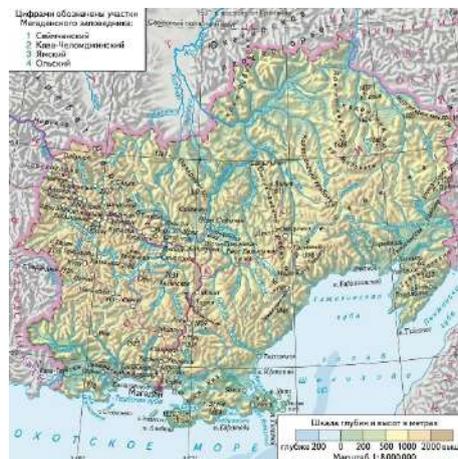


Рис. 1. Реки Магаданской области [2]

**Методика.** Для того чтобы оценить уровень загрязнения атмосферы вредными примесями, используют комплексный показатель — индекс загрязнённости атмосферы (далее — ИЗА). Это обобщённый санитарно-гигиенический показатель. Величина ИЗА зависит от среднегодовой концентрации вещества в атмосфере, его ПДК с. с. и класса опасности, а также показателя  $p_i$ . Расчёт производился по формуле из опубликованной методики [1]. В табл. 1 представлено соотношение величины ИЗА и характеристики загрязнённости атмосферы.

Величина ИЗА	Характеристика загрязнённости атмосферы
< 2,5	Чистая
2,5–7,5	Слабо загрязнённая
7,5–12,5	Загрязнённая
12,5–22,5	Сильно загрязнённая
22,5–52,5	Высоко загрязнённая
> 52,5	Экстремально загрязнённая

Таблица 1. Соотношение величины ИЗА и характеристики загрязнённости атмосферы [1]

Для оценки уровня загрязнения воды в водоёмах используется индекс загрязнённости воды (далее — ИЗВ). Это комплексный санитарно-гигиенический показатель, который позволяет сравнивать степень загрязнения воды и выявлять приоритетные загрязнители и их источники. ИЗВ представляет собой относительный показатель, величина которого зависит от среднегодовой концентрации вещества в воде относительно его ПДК. Показатель рассчитывается по формуле из опубликованной методики [1]. В табл. 2 приведено соотношение ИЗВ и характеристика загрязнённости воды.

Величина ИЗВ	Характеристика загрязнённости воды
< 0,2	Очень чистая
0,2–1	Чистая
1–2	Умеренно загрязнённая
2–4	Загрязнённая
4–6	Грязная
6–10	Очень грязная
> 10	Чрезвычайно грязная

Таблица 2. Соотношение величины ИЗВ и характеристика загрязнённости воды [1]

Загрязнение почв количественно оценивают по индексу загрязнения почвы (далее — ИЗП), рассчитываемому по формулам из опубликованной методики [1]. В табл. 3 представлены соотношение величины ИЗП и характеристика загрязнённости почвы.

Величина ИЗП	Характеристика загрязнённости почвы
< 0,2	Очень чистая
0,2–1	Чистая
1–2	Умеренно загрязнённая
2–4	Загрязнённая
4–6	Грязная
6–10	Очень грязная
> 10	Чрезвычайно грязная

Таблица 3. Соотношение величины ИЗП и характеристика загрязнённости почвы [1]

Для проведения оценки территориальной организации природопользования Магаданской области был применён средний показатель загрязнённости (далее — СПЗ). Это комплексный параметр, который используется для оценки экологического состояния территории. Он рассчитывается

на основе анализа различных факторов загрязнения окружающей среды путём проведения сравнительной оценки среднего значения ИЗА, ИЗВ и ИЗП. Расчёт СПЗ проводится по формуле (2):

$$\text{СПЗ} = \frac{\text{ИЗА} + \text{ИЗВ} + \text{ИЗП}}{3} \quad (2)$$

Исходя из ФЗ «Об охране окружающей среды», были установлены оптимальные нормативы соотношения величины СПЗ и характеристики загрязнённости территории (табл. 4) [3].

Величина СПЗ	Характеристика загрязнённости территории
< 1	Чистая
1–3	Умеренно загрязнённая
> 3	Загрязнённая

Таблица 4. Соотношение величины СПЗ и характеристика загрязнённости территории

**Результаты расчётов.** На основании проведённых исследований были получены следующие результаты. Характеристика загрязнённости воздуха Магаданской области приведена в табл. 5. Расчёт ИЗВ для каждого из семи типов земель Магаданской области представлен в табл. 6. Расчёт ИЗП для каждого из семи типов земель Магаданской области приведён в табл. 7. Результаты расчёта СПЗ для каждой категории земель представлены в табл. 8.

Категория земель	ВВ	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	P	ИЗА
Сельскохозяйственные	25	83	46	43	369	998,3	5,39
Земли населённых пунктов	23	89	47	42	385	1009,3	5,43
Земли промышленности	48	143	63	59	469	1030,4	7,52
Земли ООПТ	14	47	29	23	159	953	2,43
Земли лесного фонда	23	69	33	36	309	1007,3	4,67
Земли водного фонда	20	72	29	40	324	1013	4,64
Земли запаса	24	76	33	45	356	1003,5	5,04
ПДК	30	100	50	50	400	1013	
Класс опасности	4	3	3	3	4	4	
Коэффициент	0,85	1	1	1	0,85	0,85	

Таблица 5. Характеристика загрязнённости воздуха Магаданской области

Тип земель	Ph	Zn	NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	ИЗВ
Сельскохозяйственные	7,5	0,66	7	0,25	0,33	7	2,09
Земли населённых пунктов	7,6	0,59	8	0,29	0,37	9	2,06
Земли промышленности	8,16	0,71	9	0,35	0,44	7	2,03
Земли ООПТ	6,81	0,21	3	0,05	0,12	2	0,15
Земли лесного фонда	7,4	0,32	4	0,05	0,2	3	0,72
Земли водного фонда	7,6	0,46	4,1	0,1	0,21	3	0,87
Земли запаса	7,5	0,43	3,9	0,1	0,19	3	0,83
ПДК	7,5	0,5	5	0,1	0,25	5	

Таблица 6. Характеристика загрязнённости воды Магаданской области

Как следует из табл. 2 и 6, очень чистыми по показателю ИЗВ (< 0,2) считаются земли ООПТ (ИЗВ = 0,15). Чистыми по показателю ИЗВ (0,2–1) считаются земли лесного фонда (ИЗВ = 0,72), земли водного фонда (ИЗВ = 0,87) и земли запаса (ИЗВ = 0,83). Загрязнёнными по показателю ИЗВ (2–4) считаются сельскохозяйственные земли (ИЗВ = 2,09), земли населённых пунктов (ИЗВ = 2,06) и земли промышленности (ИЗВ = 2,03).

Тип земель	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Cr	ИЗП
Сельскохозяйственные	4	3,1	2,8	2,9	18	4	0,68
Земли населённых пунктов	6	4	12,7	4,8	39	8	2,26
Земли промышленности	6	4,3	13,4	5,2	44	9,7	2,38
Земли ООПТ	1,8	0,4	2,3	1,2	10	1,8	0,27
Земли лесного фонда	4,1	3,3	2,7	3,1	19	4	1,70
Земли водного фонда	3,3	2,9	4	3	21	3,9	1,68
Земли запаса	3,5	3,1	7	3	26	4,1	1,78
ПДК	5	3	10	4	32	6	

Таблица 7. Характеристика загрязнённости почвы Магаданской области

Категория земель	Площадь (всего 462 464 км <sup>2</sup> )	ИЗА	ИЗВ	ИЗП	СПЗ
Сельскохозяйственные	26 356	5,39	2,09	0,67	2,72
Земли населённых пунктов	24 861	5,43	2,06	2,26	3,25
Земли промышленности	24 623	7,52	2,03	2,38	3,98
Земли ООПТ	32 833	2,43	0,15	0,27	0,95
Земли лесного фонда	304 682	4,67	0,72	1,70	2,36
Земли водного фонда	24 749	4,64	0,87	1,68	2,40
Земли запаса	24 308	5,04	0,83	1,78	2,55

Таблица 8. Результаты расчёта СПЗ для каждой категории земель

Как следует из табл. 4 и 8, чистыми по показателю СПЗ ( $< 1$ ) считаются земли ООПТ (СПЗ = 0,95). Умеренно загрязнёнными по показателю СПЗ (1–3) считаются сельскохозяйственные земли (СПЗ = 2,72), земли лесного фонда (СПЗ = 2,36), земли водного фонда (СПЗ = 2,40) и земли запаса (СПЗ = 2,55). Загрязнёнными по показателю СПЗ ( $> 3$ ) считаются земли населённых пунктов (СПЗ = 3,25) и земли промышленности (СПЗ = 3,98).

**Заключение.** Проведённые исследования позволяют выявить основные направления загрязнения данной территории. В результате проделанной работы проведена оценка геоэкологического состояния территориальной организации природопользования Магаданской области и дана характеристика загрязнённости каждого типа земель (табл. 9). Для этого использован показатель СПЗ. Для получения характеристики СПЗ рассчитаны показатели ИЗА, ИЗВ и ИЗП для всех категорий земель.

Величина СПЗ	Чистые ( $< 1$ )	Умеренно загрязнённые (1–3)	Загрязнённые ( $> 3$ )
Категория земель	Земли ООПТ (0,95)	Сельскохозяйственные земли (2,72); земли лесного фонда (2,36); земли водного фонда (2,4); земли запаса (2,55)	Земли населённых пунктов (3,25); земли промышленности (3,98)

Таблица 9. Распределение категорий земель Магаданской области по уровням загрязнённости

Такая обстановка даёт понять, что земли населённых пунктов и земли промышленности требуют особого внимания. На данных территориях следует усилить мероприятия по минимизации пагубного влияния от антропогенного фактора.

На конец 2024 г. геоэкологическая обстановка улучшилась. Магаданская область вошла в десятку экологически чистых регионов России [4].

#### Список литературы

1. Белых Л. И., Тимофеева С. С. Мониторинг экологической безопасности // Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск : ИГТУ, 2015. С. 5–11.
2. Реки Магаданской области на карте : [сайт]. URL: <https://oreke.ru/evraziya/rossiya/reki-magadanskoy-oblasti> (дата обращения: 10.10.2024).
3. Российская Федерация. Законы. ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция).
4. Самые чистые и грязные регионы нашей страны : [сайт]. URL: <https://medservise24.ru/blog/interesno-znat/gde-na-rusi-zhit-khorosho-samye-chistye-i-gryaznye-regiony-nashey-strany/> (дата обращения: 10.10.2024).

УДК 504:556.53:661.711(6)

## Загрязнение полиароматическими углеводородами различных компонентов окружающей среды в бассейне реки Фатала (Гвинейская Республика)

Соловьёва О. В.<sup>1</sup>, Проскурнин В. Ю.<sup>1</sup>, Тихонова Е. А.<sup>1</sup>, Мирзоева Н. Ю.<sup>1</sup>, Барабашин Т. О.<sup>2</sup>,  
Альфа Иссага Палле Диалло<sup>3</sup>, Ибраима Кейта<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО),  
Москва, Россия

<sup>3</sup>Marine and Coastal Research Center of Guinea (CEREMAC-G), Conakry, Guinea

✉ [kozl\\_ya\\_oly@mail.ru](mailto:kozl_ya_oly@mail.ru)

Река Фатала является одной из самых крупных судоходных рек в Гвинейской Республике. На территории её водосборного бассейна ведётся активная добыча полезных ископаемых и сельское хозяйство. При этом состояние окружающей среды в данном регионе изучено плохо. Целью исследования было определение источников поступления и особенностей распределения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в компонентах водных и наземных экосистем бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика). В результате впервые получены данные о концентрации ПАУ во взвешенном веществе и донных отложениях водной экосистемы и в почвах бассейна реки Фатала на всём её протяжении; выявлены источники поступления ПАУ в исследуемые объекты; дана оценка степени загрязнения (токсичного эквивалента) водных и наземных экосистем бассейна реки Фатала по отношению к общему содержанию в них ПАУ.

**Ключевые слова:** полиароматические углеводороды, вода, взвешенное вещество, почва, река Фатала

Река Фатала в Нижней Гвинее является одной из самых крупных судоходных рек в Гвинейской Республике. Её длина составляет 205 км, исток находится в регионе Фриа. Площадь бассейна — 6092 км<sup>2</sup>. Река протекает по территории префектуры Боффа. Является притоком Рио-Понго [7]. С учётом постоянной эксплуатации реки, а также того факта, что Гвинея регулярно экспортирует добываемый ею природный газ и импортирует очищенную нефть [8], можно говорить о том, что при добыче горючих ископаемых в окружающую среду поступают полициклические ароматические углеводороды (далее — ПАУ) природного происхождения, а при эксплуатации судов и транспортировке нефти — ПАУ антропогенного происхождения. Последние, в свою очередь, являются токсичными для гидробионтов и долго сохраняются в воде и донных отложениях.

Экономика Гвинеи зависит главным образом от сельского хозяйства и добычи природных ресурсов (бокситов, высококачественной железной руды, алмазов и золота) [2]. Гвинея обладает крупнейшими в мире запасами бокситов, а также большими запасами железной руды, золота и алмазов. Боксит является самым крупным горным ресурсом, находящимся в настоящее время в эксплуатации. Запасы гвинейских бокситов оцениваются более чем в 40 млрд т [5]. Залежи руды в месторождениях находятся близко к поверхности, поэтому добыча ведётся открытым способом. Добыча полезных ископаемых сопровождается загрязнением окружающей среды [9]. Для открытых работ обычно требуется крупная строительная техника (экскаваторы, роторные колеса, драглайны, самосвалы и буровые установки), что необычно для других секторов промышленности. При её эксплуатации, а также в рамках технологических процессов и операций на бокситовых рудниках (геологические работы, георазведка, бурение, подрыв, обработка руд, транспортировка и т. д.) [1] в окружающую среду поступают ПАУ различного происхождения.

Таким образом, в данном регионе велика вероятность загрязнения ПАУ различных компонентов окружающей среды, прежде всего почвы, воды и, как следствие, донных отложений. Вещества этой группы из-за своего широкого распространения в окружающей среде и из-за токсичных и канцерогенных свойств ПАУ включены в списки опасных веществ [6]. В водной экосистеме ПАУ, благодаря своим гидрофобным свойствам, быстро связываются с органическими частицами, взвешенными в толще воды, и осаждаются в донных отложениях [13].

Целью исследования было определение источников поступления и особенностей распределения ПАУ в компонентах водных и наземных экосистем бассейна реки Фатала, Гвинейская Республика.

Пробы почвы были отобраны из поверхностного горизонта на полигоне, находящемся на территории бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика), донных отложений (верхний окисленный слой от 0 до 5 см) и воды для получения взвеси на различных участках реки с разным уровнем антропогенной нагрузки (рис. 1). Почву и донные отложения перед химическим анализом подготавливали следующим образом: высушивали до воздушно-сухого состояния в естественных условиях в специальной посуде, освобождали от крупных включений, камней и растительности, растирали в специально подготовленной ступке пестиком и просеивали через сита с диаметром ячеек 0,25 мм. Взвесь отбирали методом вакуумной фильтрации с применением вакуумного насоса, колбы Бунзена, фильтровальной установки и соответствующих фильтров. Объём профильтрованной речной воды варьировал в зависимости от скорости осаждения взвеси на фильтры и учитывался при пересчёте содержания углеводов во взвеси. Фильтры высушивали в естественных условиях, хранили в эксикаторе и транспортировали в герметичных зиплок-пакетах.

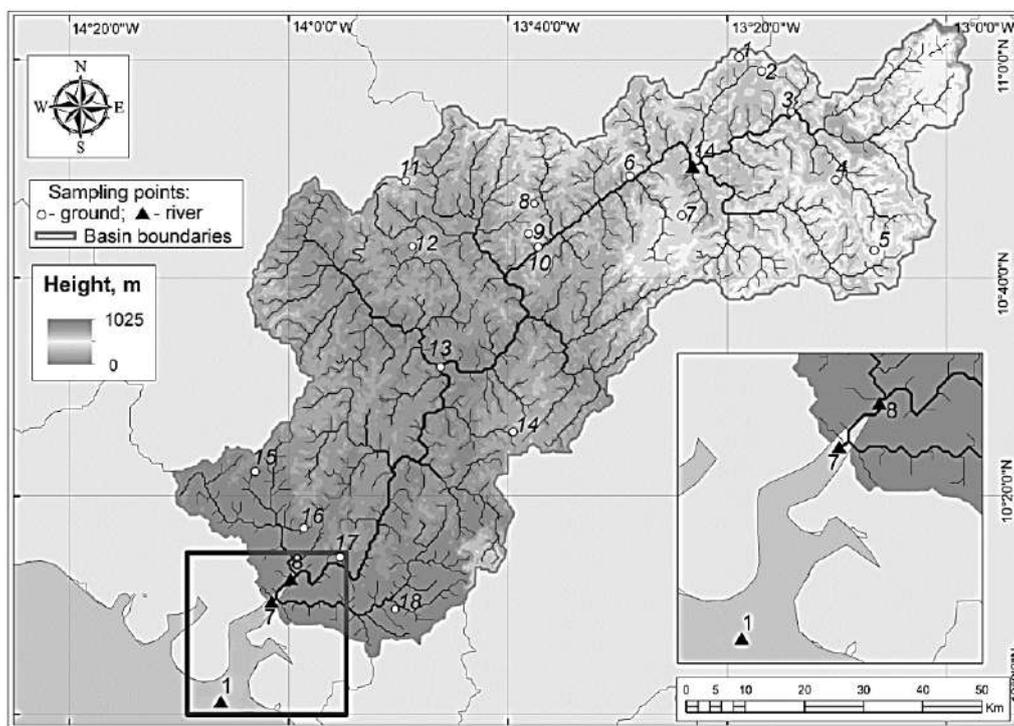


Рис. 1. Схема отбора проб в бассейне реки Фатала (Гвинейская Республика) в 2023 г.

Определение ПАУ в почвах проводили согласно [3]. Эта методика основана на выделении ПАУ из донных осадков и почв экстракцией смесью гексана и ацетонитрила (10 : 1), концентрировании экстракта и хроматографическом отделении углеводородной фракции в тонком слое оксида алюминия. Идентификацию и определение индивидуальных ПАУ в почве проводили на жидкостном хроматографе Beta-10US (ЕКОМ) с люминесцентным детектором (RF-5301 PC) и колонкой Yanapak ODS-T. В настоящем исследовании определены приоритетные ПАУ: нафталин (Naph), 2-метилнафталин (2-mNaph), флуорен (Flu), фенантрен (Phe), антрацен (Ant), флуорантен (Fln), пирен (Pyr), трифенилен (Trp), хризен (Chr), бенз(b)флуорантен (BbFln), бенз(k)флуорантен (BkFln), бенз(a)пирен (BaP), дибенз(a,h)антрацен (DbA), бенз(g,h,i)перилен (Bghi).

Содержание в почвах  $\Sigma$ ПАУ на исследуемом полигоне колебалось в широких пределах, составляя от 13 до 50 920  $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$  (рис. 2), при природных уровнях не более 200  $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$ . Высокие уровни ПАУ формировались за счёт низкомолекулярных соединений, существенное преобладание которых над высокомолекулярными при повышенных значениях  $\Sigma$ ПАУ также свидетельствует в пользу наличия нефтяного загрязнения почв.

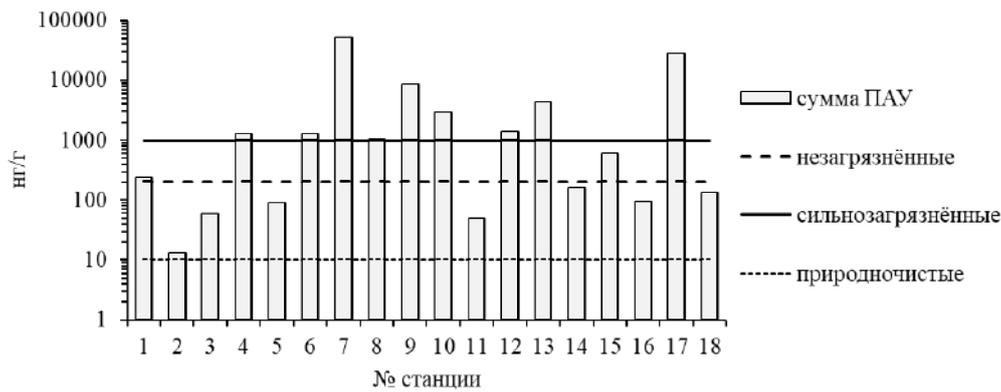


Рис. 2. Суммарное содержание ПАУ в почвах, отобранных на территории бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика), 2023 г.

Судя по составу ПАУ, в данном регионе существует существенное антропогенное воздействие на почвы, которое выражается в различной мере в наличии петрогенных и пирогенных соединений. Зафиксированы маркеры свежего и деградированного нефтяного загрязнения; также отмечено наличие пирогенных соединений, образующихся в результате сжигания жидкого и твёрдого топлива. Загрязнение ПАУ в исследуемом районе имеет смешанную природу. Поскольку его уровни повышены, можно полагать, что оно связано с преимущественным поступлением веществ нефтяной природы. Также выявлено загрязнение пиролитическими компонентами на уровне урбанизированных территорий [4]. При этом загрязнённые станции локализованы в центральной части исследуемого полигона. Токсический эквивалент [11 ; 12] почв на изучаемом полигоне находился в диапазоне от 0,05 до 53,16 нг ТЕQ·г<sup>-1</sup>, что соответствует невысокой токсичности почв. В среднем по полигону существенный вклад в формирование токсичности почвы вносили нафталин, 2-метилнафталин, бенз(б)флуорантен и бенз(а)пирен. Последние два соединения являются антропогенными, пиролитическими, что говорит о весомом вкладе антропогенной деятельности в формирование токсичности почв в регионе.

Содержание  $\Sigma$ ПАУ во взвешенном веществе было в диапазоне от 33,3 до 1316,11 нг·л<sup>-1</sup> (табл. 1). Концентрация ПАУ во взвеси не была сопряжена с их содержанием в донных отложениях.

№ станции	Солёность, ‰	$\Sigma$ ПАУ д. о., нг·г <sup>-1</sup>	$\Sigma$ ПАУ в. в., нг·л <sup>-1</sup>	Характеристика донных отложений
1	28,0	35,88	1316,11	океан, песок
7	4,4	94,32	34,33	река, песок с илом
8	1,3	862,45	33,3	река, глинистые донные отложения
14	0,0	6943,34	582,9	река, почва с илом

Таблица 1. Суммарное содержание ПАУ в донных отложениях (д. о.) и взвешенном веществе (в. в.) реки Фатала (Гвинейская Республика), 2023 г.

Общее содержание  $\Sigma$ ПАУ в донных отложениях изучаемого района колебалось от 35,88 до 6943,34 нг·г<sup>-1</sup> (табл. 1), что соответствует чистым и умеренно загрязнённым донным отложениям. В пределах исследованного бассейна содержание  $\Sigma$ ПАУ в донных отложениях зависело не только от антропогенной нагрузки на район, но и от характера донных отложений.

В донных отложениях удалось идентифицировать более широкий спектр ПАУ, чем во взвеси, где содержание отдельных соединений было ниже предела определения используемого метода. В составе ПАУ как донных отложений, так и взвешенного вещества преобладают петрогенные соединения; отмечено и наличие пиролитических соединений (их доля незначительна). При переходе из взвешенного состояния в донные отложения происходит аккумуляция ПАУ, при этом увеличивается доля антропогенных соединений, которые менее подвержены биотрансформации. Донные отложения и взвешенное вещество имели невысокий бенз(а)пиреновый токсический эквивалент. Установлено,

что на станциях 8 и 14 существует вероятность негативного воздействия на биоту (превышение токсических уровней ERL и ERM [10 ; 14]) смеси ПАУ донных отложений, которая связана с наличием в них низкомолекулярных, наименее токсичных ПАУ, в частности нафталина и 2-метилнафталина. Вероятность негативного воздействия на биоту содержащихся в них ПАУ — менее 10 %.

В исследуемом районе, судя по содержанию и составу ПАУ, зафиксировано существенное нефтяное (петрогенное) загрязнение почв, донных отложений и воды (взвешенного вещества). Станции с неблагоприятными уровнями ПАУ в почве преимущественно сосредоточены в центральной части полигона. Вода была наиболее загрязнённой во внешней части устья реки Фатала, донные отложения — в её верховье, что обусловлено, вероятно, смывом ПАУ с прилегающих территорий, характеризующихся высоким уровнем загрязнения. Отмечен низкий вклад техногенных источников ПАУ в формирование общего загрязнения. Наличие пиролитических соединений связано, вероятнее всего, с их атмосферным переносом и сжиганием природного топлива.

*Исследования проведены при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта в области науки № 075-15-2023-592 «Разработка технологии оценки антропогенного воздействия на бассейновые экосистемы тропической зоны для выработки рекомендаций по их охране и оптимизации природопользования на примере бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика)».*

#### Список литературы

1. Ба Мамаду Мусса. Проект исследования воздействия на окружающую среду в компании по добыче бокситов // Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», 7–10 ноября 2021 г. URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018025760?ysclid=lpqqksz1ia35746995> (дата обращения: 04.12.2023).
2. Белякова О. И., Юшин В. В., Барков А. Н., Курасова Ю. Ю. Оценка воздействия горнодобывающей промышленности Гвинеи на загрязнение атмосферного воздуха при добыче бокситов // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10, № 3. URL: <https://resources.today/PDF/05NZOR323.pdf>, <https://doi.org/10.15862/05NZOR323>
3. Методика измерений массовой доли полициклических ароматических углеводородов в пробах гидробионтов пресных и морских водных объектов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ФР.1.31.2011.10982). Ростов-на-Дону : ФГУП «АзНИИРХ», 2011. 15 с.
4. Пиковский Ю. И., Смирнова М. А., Геннадиев А. Н. и др. Параметры нативного углеводородного состояния почв различных биоклиматических зон // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1307–1321. <https://doi.org/10.1134/S0032180X1911008X>. EDN: LTTWVE.
5. Assad M. Transfert des éléments traces métalliques vers les végétaux: mécanismes et évaluations des risques dans des environnements exposés à des activités anthropiques : Thèse de doctorat / Université Bourgogne Franche-Comté. Besançon, Français, 2017. 217 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01787667/document>
6. Baran A., Klimkowicz-Pawlas A., Ukalska-Jaruga A. et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the bottom sediments of a dam reservoir, their interaction with organic matter and risk to benthic fauna // Journal of Soils and Sediments. 2021. Vol. 21. P. 2418–2431. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02968-1>.
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fatala\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Fatala_River)
8. <https://www.mapsofworld.com/answers/geography/what-are-the-key-facts-of-guinea/>
9. Keita M., Traore O. Environmental Impact of Open PIT Mining: Case of Bauxite Mining in Guinea // International Journal of Applied Environmental Sciences. 2020. Vol. 15, iss. 2. P. 167–177.

10. Ning X. et al. Levels, composition profiles and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sludge from ten textile dyeing plants // *Environmental Research*. 2014. Vol. 132. P. 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.041>.
11. Petry T., Schmid P., Schlatter C. The use of toxic equivalency factors in assessing occupational and environmental health risk associated with exposure to airborne mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // *Chemosphere*. 1996. Vol. 32, iss. 4. P. 639–648. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(95\)00348-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(95)00348-7).
12. Pufulete M., Battershill J., Boobis A., Fielder R. Approaches to carcinogenic risk assessment for polycyclic aromatic hydrocarbons: A UK perspective // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2004. Vol. 40. P. 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2004.04.007>.
13. Qiao M., Wang C., Huang S., Wang D., Wang Z. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China // *Environment International*. 2006. Vol. 31, iss. 1. P. 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.04.005>.
14. US-EPA. Method 610: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons / United States Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA, 1984. 25 p. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/method\\_610\\_1984.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/method_610_1984.pdf)

УДК 528.9:556.51

## Выделение границ водосборных бассейнов горных рек с использованием цифровых моделей рельефа: современное состояние и проблемы

Табунщик В. А.<sup>1,4</sup>, Джамбетова П. М.<sup>2</sup>, Горбунов Р. В.<sup>1,4</sup>, Горбунова Т. Ю.<sup>1,4</sup>,  
Никифорова А. А.<sup>1</sup>, Дрыгваль П. В.<sup>3</sup>, Керимов И. А.<sup>4</sup>, Киселева М. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова, Грозный, Россия

<sup>3</sup>Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН —  
филиал ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия

<sup>4</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова,  
Грозный, Россия

✉ [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)

В работе представлен анализ семи цифровых моделей рельефа (ALOS, ASTER GDEM, Copernicus 30m, Copernicus 90m, NASA DEM, SRTM 30m и SRTM 90m) для моделирования и выделения границ водосборных бассейнов средних и малых рек юго-западной части водосбора Каспийского моря.

**Ключевые слова:** водосборный бассейн, ГИС, ЦМР, рельеф, картирование

Речные бассейны являются целостными географическими образованиями, имеющими чётко обособленные границы [1–3]. Однако выделение границ водосборных бассейнов остаётся задачей, часто игнорируемой во многих исследованиях, которые при этом теряют аспекты территориальности и не отслеживают дифференциацию изучаемого явления в пределах всего исследуемого водосборного бассейна. Наиболее часто это связано с невозможностью покрытия данными об анализируемом явлении в пределах всей территории водосборного бассейна. Особенно это характерно для полевых исследований в обширных бассейнах при незначительных затратах времени на экспедиционные исследования. Сейчас проблема частично решается дистанционными методами, где возможно получение большого количества непрерывных геоданных [4–6].

В качестве района исследования были выбраны семь малых и средних бассейнов рек водосбора Каспийского моря на территории Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана (Сунжа, Сулак, Уллучай, Карачай, Атачай, Хераз и Горган), которые представлены на рис. 1.

На современном этапе развития науки цифровые модели рельефа (далее — ЦМР), которые могут быть использованы для выделения границ речных бассейнов, гидрологического моделирования и анализа морфометрических характеристик речных бассейнов, постоянно пополняются и улучшаются. Можно выделить несколько групп ЦМР, используемых исследователями с различными целями. В большинстве своём ЦМР, которые наиболее широко применяются и распространяются по открытой лицензии, имеют пространственное разрешение 90 или 30 м·пиксель<sup>-1</sup>. В то же время бытует мнение что ЦМР с разрешением больше чем 90 м·пиксель<sup>-1</sup> не представляют интереса, так как проигрывают конкурентам и не подходят для региональных и локальных исследований. Но в то же время такие ЦМР хорошо зарекомендовали себя для глобальных и частично региональных исследований. ЦМР с разрешением менее 30 м·пиксель<sup>-1</sup> имеют ограниченный пространственный охват и не покрывают глобально территорию планеты. К таким ЦМР можно отнести, например, ArcticDEM. Среди основных ЦМР, которые используются в мире, выделяются главным образом следующие: ALOS, ASTER GDEM, Copernicus 30m, Copernicus 90m, NASA DEM, SRTM 30m и SRTM 90m. Они и будут анализироваться в этом исследовании.

Пространственные модели ГИС играют ключевую роль в автоматизации рабочих процессов, объединяя различные задачи и операции в единую последовательность действий. Они не только позволяют автоматизировать выполнение сложных аналитических операций, но и предоставляют

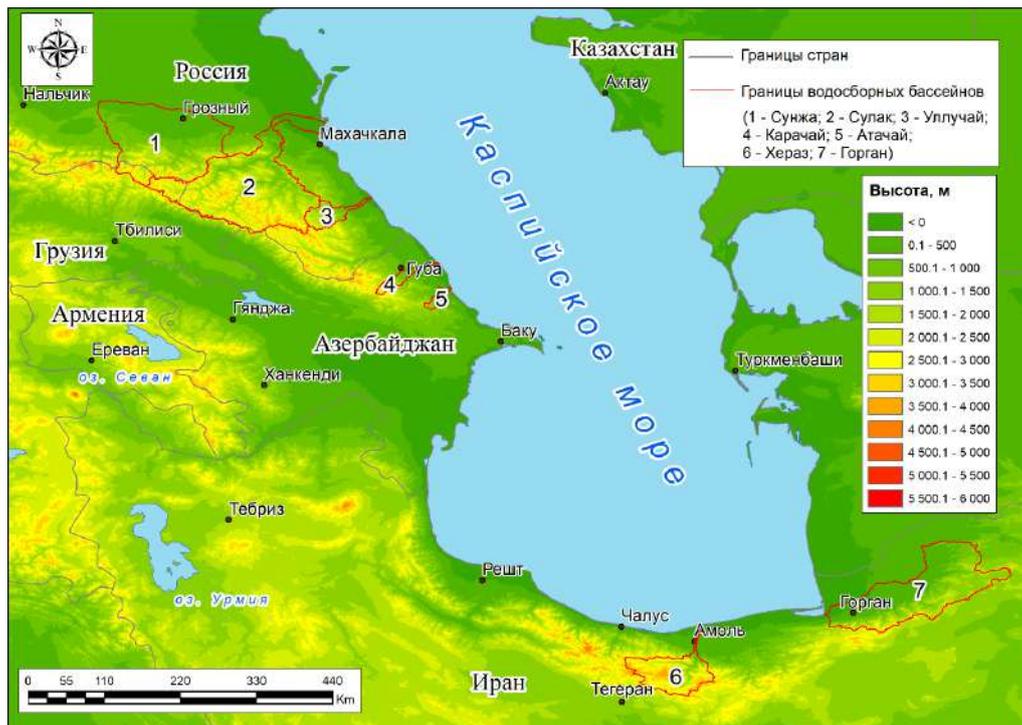


Рис. 1. Географическое положение района исследования

возможность гибкого управления и изменения процессов на каждом этапе. Это упрощает и ускоряет выполнение задач, делая их более структурированными и последовательными. Пространственные модели ГИС автоматизируют рабочие процессы, связывая задачи и процессы воедино, а также позволяют выполнять рабочий процесс, изменять его и повторять его несколько раз, упрощая управление им и повышая эффективность геообработки [7 ; 8].

ModelBuilder ArcGIS представляет собой приложение в составе программного комплекса ArcGIS, которое используется для создания, редактирования и управления моделями — рабочими процессами, которые соединены друг с другом в последовательности инструментов геообработки и передают выходные данные одного инструмента в другой инструмент в качестве входных данных [7 ; 8]. Использование ModelBuilder ArcGIS в последние годы находит всё большее применение в различных областях исследований.

На рис. 2 представлена модель, созданная с использованием ModelBuilder ArcGIS; она позволяет выделять границы водосборных бассейнов и строить сеть постоянных и временных водотоков на исследуемой территории.

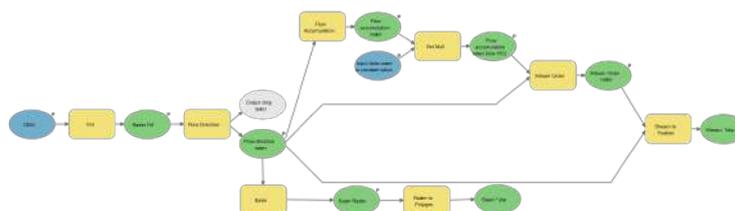


Рис. 2. Модель выделения бассейнов и водотоков в пределах исследуемой территории

Модель, которая представлена на рис. 2, позволяет выделить растровые и векторные границы водосборного бассейна и сети водотоков на основании загруженной ЦМР. Первый этап работы включает обработку ЦМР, заполнение понижений, на основании чего определяется направление стока воды (flow direction) и накопление потока (flow accumulation). Эти данные дают возможность выявить ключевые элементы речной системы — русла рек, их начало и точки соединения. Затем с использованием инструментов гидрологического анализа создаются границы водосборных бассейнов рек. Выделение бассейнов рек основано на методике, подробно описанной во многих работах [9–12]. После получения результирующих данных выполнялась ручная и полуавтоматическая проверка на поиск ошибок выделения границ водосборных бассейнов и сети водотоков.

На рис. 3 представлены результаты выделения водосборного бассейна реки Горган.

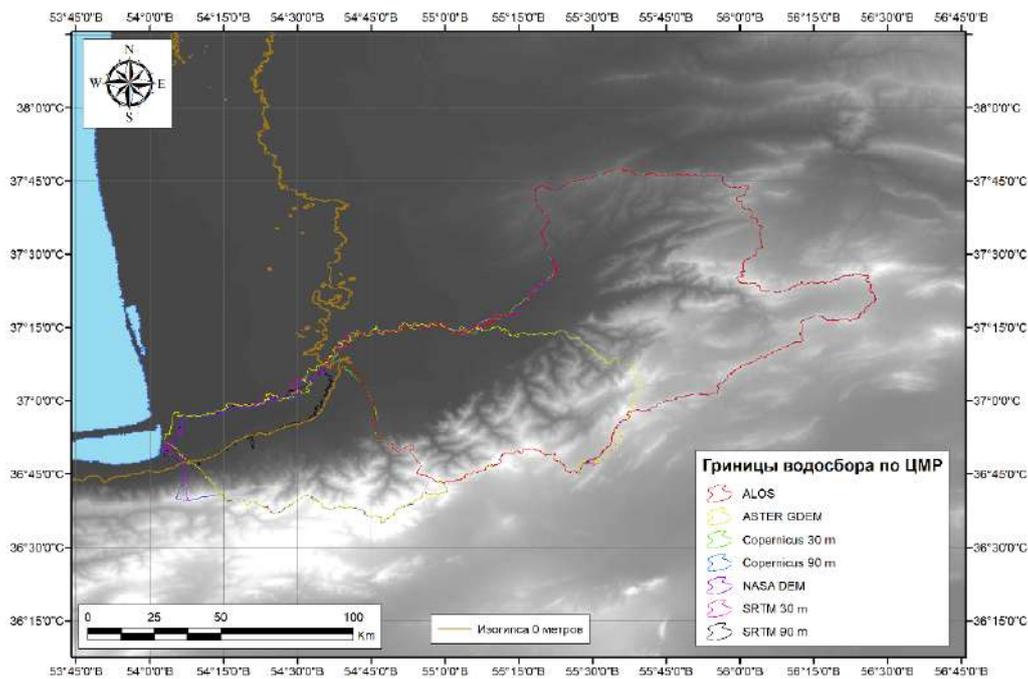


Рис. 3. Сравнение границ водосборного бассейна реки Горган, выделенного по различным ЦМР

В ходе исследования было установлено, что не все ЦМР могут быть применены для моделирования водосборных бассейнов малых и средних рек. Возможность использования различных ЦМР в моделировании водораздельных бассейнов горных рек каспийского региона представлена в табл. 1.

ЦМР	Бассейн реки						
	Сунджа	Сулак	Уллучай	Карачай	Атачай	Хераз	Горган
ALOS		+		+			
ASTER GDEM			+		+	+	
Copernicus 30m		+	+	+	+	+	
Copernicus 90m	+	+	+		+	+	+
NASA DEM			+		+		+
SRTM 30m	+		+		+	+	+
SRTM 90m	+						

Таблица 1. Пригодность выбранных ЦМР для выделения водосборного бассейнов рек

Таким образом, если рассматривать результаты полученного моделирования (табл. 1), то можно утверждать следующее. Для рассматриваемых семи ключевых участков выбранных бассейнов рек наилучшим образом с моделированием границ водосборных бассейнов справились ЦМР Copernicus 90m, по которой было выделено 6 водосборных бассейнов рек без ошибок, и Copernicus 30m и SRTM 30m, по которым было выделено без ошибок по 5 бассейнов рек. По ЦМР NASA DEM и ЦМР ASTER GDEM без ошибок выделено 3 речных бассейна. По ЦМР ALOS выделено без ошибок 2 речных бассейна. По ЦМР SRTM 90m без ошибок выделен только 1 речной бассейн.

Если сравнивать сложности с моделированием границ водосборных бассейнов рек, можно заключить, что наиболее сложным к выделению оказался бассейн реки Карачай: он был безошибочно выделен лишь по двум ЦМР. Водосборные бассейны рек Сунжа, Сулак и Горган были выделены только по трём ЦМР, а водосборный бассейн реки Хераз — по четырём ЦМР. Наилучшие данные по моделированию и выделению водосборных бассейнов были получены для водосборных бассейнов рек Уллучай и Атачай, где были выделены данные водосборных бассейнов по пяти из семи рассматриваемых ЦМР.

Таким образом, учитывая результаты моделирования и расчёты точности ЦМР, можно говорить, что для исследуемого района наиболее подходит использование Copernicus 30 m, а в отдельных случаях — Copernicus 90 m или SRTM 30 m (там, где использование ЦМР Copernicus 30 m сопряжено с ошибками выделения бассейнов).

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (соглашение № 075-15-2024-644).*

#### Список литературы

1. Zlatopolsky A. Constancy of the area of the total catchment of watercourses of the same scale and the distribution of this catchment between watercourses of a larger scale // Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2023. Vol. 20, iss. 5. P. 120–129. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-5-120-129>.
2. Vanik N., Patidar A. K., Kumar A., Alin A. L., Mishra V. Terrain analysis and hydrogeomorphic investigation of the sita-swarna river basin, udupi, SW India: Insights from remote sensing methods // Quaternary Science Advances. 2023. Vol. 12. Art. no. 100125. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100125>.
3. Lisetskii F. N., Pavlyuk Y. V., Kirilenko Z. A., Pichura V. I. Basin organization of nature management for solving hydroecological problems // Russian Meteorology and Hydrology. 2014. Vol. 39. P. 550–557. <https://doi.org/10.3103/s106837391408007x>.
4. Mustafin M. G., Valkov V. A., Pavlov N. S., Vinogradov K. P., Bogolyubova A. A. Monitoring of water bodies by remote methods // Vestnik SSUGT. 2023. Vol. 28, iss. 2. P. 67–75. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-2-67-75>.
5. Yang L., Driscoll J., Sarigai S., Wu Q., Lippitt C. D., Morgan M. Towards Synoptic Water Monitoring Systems: A Review of AI Methods for Automating Water Body Detection and Water Quality Monitoring Using Remote Sensing // Sensors. 2022. Vol. 22, iss. 6. Art. no. 2416. <https://doi.org/10.3390/s22062416>.
6. Salunke K. A., Wayal A. S. Quantitative Analysis of a River Basin – A GIS-based Approach // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 2021. Vol. 12, no. 3. P. 3429–3436. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i3.1610>.
7. Schaller J., Mattos C. ArcGIS ModelBuilder applications for landscape development planning in the region of Munich, Bavaria // Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010, Anhalt University of Applied Sciences / Buhmann, Pietsch, Kretzler (Eds). Wichmann Verlag, Heidelberg, Mai 2010. P. 42–52.

8. Tabunshchik V., Gorbunov R., Gorbunova T., Pham C. N., Klyuchkina A. Identification of river basins within northwestern slope of Crimean Mountains using various digital elevation models (ASTER GDEM, ALOS World 3D, Copernicus DEM, and SRTM DEM) // *Frontiers in Earth Science*. 2023. Vol. 11. Art. no. 1218823 (11 p.). <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1218823>. EDN: DWRVVX.
9. Скрипко В. В., Платонова С. Г. Пример использования ГИС для анализа структуры речных бассейнов равнинной части Алтайского края // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2011. Т. 17. С. 326–330. EDN: QZPFPN.
10. Singh P., Thakur J. K., Singh U. C. Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques // *Environmental Earth Sciences*. 2013. Vol. 68, iss. 7. P. 1967–1977. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1884-8>
11. Nirmala R., Singh R. P., Verma N., Bongale P. A GIS-Based Approach in Drainage and Morphometric Analysis of Suvarnavathi River Basin and Sub-watersheds, Karnataka, India // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 81–87. <https://doi.org/10.3233/ajw200054>.
12. Rahmati O., Haghizadeh A., Stefanidis S. Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran // *Water Resources Management*. 2016. Vol. 30, iss. 3. P. 1131–1150. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1215-4>.

УДК 551.50(282.247.3/.4)

## Пространственно-временная изменчивость поля содержания диоксида азота в юго-западной части водосборного бассейна Каспийского моря

Табунщик В. А.<sup>1,2</sup>, Никифорова А. А.<sup>1</sup>, Линева Н. П.<sup>1</sup>, Дрыгваль П. В.<sup>1</sup>, Горбунов Р. В.<sup>1,2</sup>, Горбунова Т. Ю.<sup>1,2</sup>, Фам К. Н.<sup>1</sup>, Керимов И. А.<sup>2</sup>, Братанов Н. С.<sup>1</sup>, Киселева М. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

✉ [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)

Процесс урбанизации и экономическое развитие значительно увеличивают загрязнение воздуха, что негативно влияет на здоровье населения и экосистемы. Использование спутниковых данных Sentinel-5P, платформы Google Earth Engine (GEE) и программного комплекса ArcGIS способствует объективному анализу уровня и динамики загрязнения воздуха. В рамках работы проведён анализ концентраций диоксида азота в бассейнах рек прикаспийского региона за период 2018–2023 гг. В качестве ключевых участков выбраны бассейны рек Сунжа, Сулак, Уллучай, Карачай, Атачай, Хераз и Горган. Результаты исследования показали, что наибольшие концентрации диоксида азота наблюдаются на юге региона, особенно в бассейнах рек Хераз и Горган, а минимальные значения — на севере (бассейны рек Сулак и Уллучай). Влияние пандемии COVID-19 в 2020 г. выразилось в снижении концентраций загрязняющих веществ. Выявлены тенденции роста содержания диоксида азота в южных бассейнах, обусловленные антропогенными выбросами, например в районе Тегерана, который находится за пределами водосборного бассейна Каспийского моря. Данные Sentinel-5P доказали свою значимость в экологическом мониторинге, предоставляя ключевую информацию для анализа загрязнения атмосферы и обеспечения устойчивого развития бассейнов рек.

**Ключевые слова:** Прикаспий, загрязнение воздуха, диоксид азота, Sentinel-5P, Google Earth Engine (GEE), пространственно-временной анализ, устойчивое развитие

Бурный процесс урбанизации привёл к сильному загрязнению воздуха [1]. В связи с быстрым развитием экономики и общества ухудшается экологическая обстановка, что становится фактором, значительно влияющим на здоровье человека [2]; также увеличиваются заболеваемость и смертность людей [2 ; 3]. Таким образом, чистый воздух рассматривается как одно из основных условий здоровья и благополучия человека [3]. С помощью анализа пространственно-временной дифференциации полей загрязняющих веществ можно определить состояние распределения загрязнения воздуха и получить базовые данные для рационального природопользования [4].

С помощью геоинформационных технологий можно более точно и объективно определить площадь и уровень загрязнения воздуха [5]. Геоинформационные методы позволяют определять местонахождение источников загрязняющих веществ и отслеживать пространственно-временную изменчивость регионов загрязнения с целью сохранения качества воздуха. В последние годы для этого активно используются спутниковые снимки Sentinel-5, облачная вычислительная платформа Google Earth Engine (GEE) и программный комплекс ArcGIS.

В качестве района исследования выступает Прикаспийский регион в границах, представленных на рис. 1.

В качестве ключевых участков исследования выбраны бассейны рек Сунжа, Сулак, Уллучай, Карачай, Атачай, Хераз и Горган.

Методика исследования подробно описана в работах [6 ; 7] и основана на использовании данных спутника Sentinel-5. Получение данных о содержании диоксида азота стало возможным благодаря использованию платформы облачных вычислений GEE. Для визуализации данных и построения географических карт использовался программный комплекс ArcGIS 10.8.

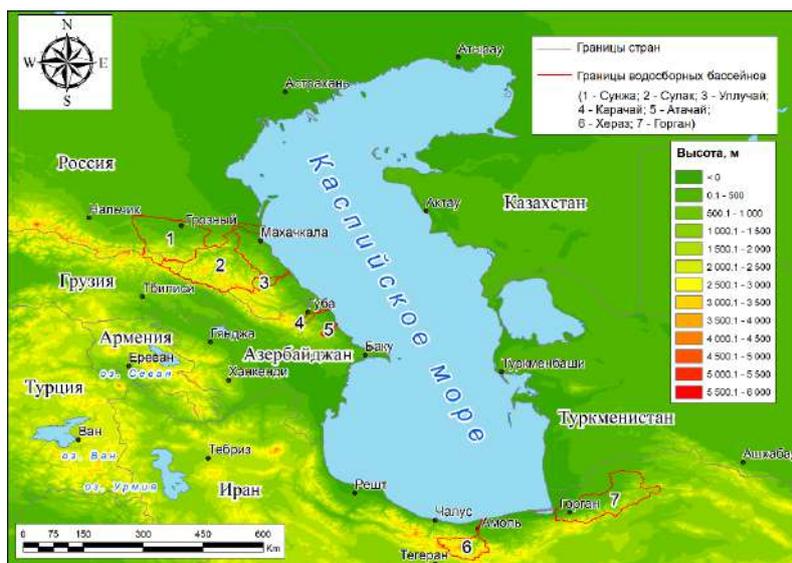


Рис. 1. Географическое положение района исследования

С использованием данных Sentinel-5P и облачной платформы GEE была получена динамика полей концентрации по семи загрязняющим веществам для территории бассейнов семи рек Каспийского бассейна: Сунжа, Сулак, Уллучай, Карачай, Атачай, Хераз и Горган. Диоксид азота, относясь к малым газовым примесям, распространён в основном в тропосфере и стратосфере и играет важную роль в химии атмосферы. Диоксид азота не только является газом, загрязняющим воздух, но и способствует образованию озона, кислотных дождей, фотохимического смога [8]. Пространственно-временное распределение полей содержания диоксида азота в Прикаспийском регионе показано на рис. 2.

Наибольшие концентрации диоксида азота характерны для южной части Прикаспийского региона, особенно территории Ирана. Также повышенные значения наблюдаются на побережье Азербайджана, в частности в районе Баку. В то же время минимальные концентрации диоксида азота фиксируются на севере и северо-западе Казахстана.

Общие закономерности распределения диоксида азота в пределах ключевых участков представлены в табл. 1.

Год	Бассейн реки						
	Сунжа	Сулак	Уллучай	Карачай	Атачай	Хераз	Горган
2018	24,5	14,4	16,1	17,4	17,9	42,7	26,4
2019	24,1	13,1	15,3	16,9	18	45,6	26,8
2020	24,3	13,1	16,1	16,8	17,7	43,4	26,6
2021	29,0	14,1	16,1	17,4	18,5	52,8	33,4
2022	26,8	13,3	15,5	17,5	19,2	53,1	32,5
2023	27,8	14,2	17,0	18,1	20,5	56,4	35,6

Таблица 1. Средние значения концентрации диоксида азота ( $\text{мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$ ) с 2018 по 2023 г. в бассейнах малых и средних рек Каспийского моря

Как можно видеть из табл. 1, среднегодовые значения содержания диоксида азота в бассейне реки Сунжа демонстрируют относительно стабильные значения с небольшими колебаниями — с  $24,5 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$  в 2018 г. до  $27,8 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$  в 2023 г. При этом пик значений был зафиксирован в 2021 г. ( $29,0 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$ ). В бассейне реки Сулак наблюдаются меньшие значения с колебаниями от  $13,1$  до  $14,4 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$ , без существенных изменений за исследуемый период. В бассейне реки Уллучай имеются небольшие изменения — с  $16,1 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$  в 2018 г. до  $17,0 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$  в 2023 г.

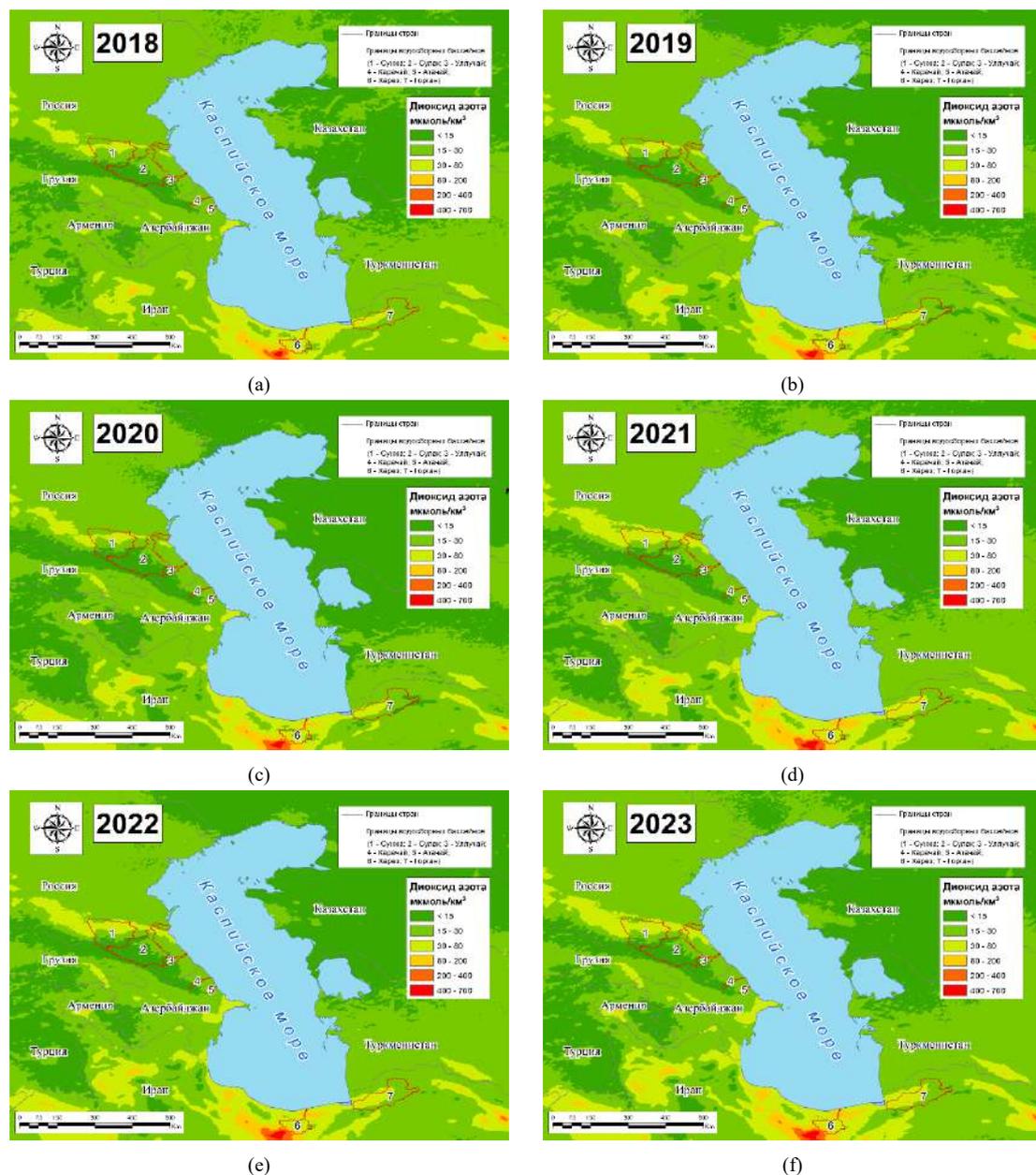


Рис. 2. Распределение содержания диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) в 2018 г. (а), 2019 г. (б), 2020 г. (с), 2021 г. (д), 2022 г. (е) и 2023 г. (ф)

В бассейне реки Карачай выявлены более стабильные значения поля диоксида азота — в пределах  $16,8\text{--}18,1$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в исследуемые годы. В бассейне реки Атачай наблюдается рост концентрации диоксида азота с  $17,9$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2018 г. до  $20,5$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2023 г. Бассейн реки Хераз характеризуется наивысшими значениями: концентрация составила  $42,7$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2018 г. и увеличилась до  $56,4$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2023 г. Бассейн реки Горган также демонстрирует рост — с  $26,4$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2018 г. до  $35,6$   $\mu\text{моль}\cdot\text{км}^{-2}$  в 2023 г.

Концентрации диоксида азота в выбранных бассейнах существенно варьируют, причём в пределах территории бассейнов рек Хераз и Горган наблюдаются наибольшие значения и наиболее выраженный рост за период исследования. Стоит также отметить снижение значений в 2020 г., что связано с влиянием пандемии COVID-19.

Значительные концентрации диоксида азота для бассейнов рек Ирана наблюдаются из-за высоких выбросов диоксида азота над Тегераном и последующего его переноса, в особенности в бассейн реки Хераз. Самый низкий уровень загрязнения выявлен для рек Сулак ( $14,2 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$ ) и Улучай ( $17,0 \text{ мкмоль} \cdot \text{км}^{-2}$ ).

Таким образом, данные космического спутника Sentinel-5P играют важную роль в мониторинге загрязнения воздуха и анализе пространственно-временной изменчивости полей загрязнителей. Они предоставляют ценную информацию для принятия обоснованных решений в области экологии и устойчивого развития. Благодаря глобальному охвату Sentinel-5P становится незаменимым инструментом для сохранения окружающей среды и улучшения качества жизни на планете.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (соглашение № 075-15-2024-644).*

#### Список литературы

1. Sun B., Fang C., Liao X., Guo X., Liu Z. The relationship between urbanization and air pollution affected by intercity factor mobility: A case of the Yangtze River Delta region // *Environmental Impact Assessment Review*. 2023. Vol. 100. Art. no. 107092 (13 p.). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107092>
2. Yang T., Zhou K., Ding T. Air pollution impacts on public health: Evidence from 110 cities in Yangtze River Economic Belt of China // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 851, pt 1. Art. no. 158125 (8 p.). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158125>
3. Juginović A., Vuković M., Aranza I., Biloš V. Health impacts of air pollution exposure from 1990 to 2019 in 43 European countries // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Art. no. 22516 (15 p.). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01802-5>
4. Hu M., Wang Y., Wang S., Jiao M., Huang G., Xia B. Spatial-temporal heterogeneity of air pollution and its relationship with meteorological factors in the Pearl River Delta, China // *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 254. Art. no. 118415 (14 p.). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118415>
5. Pior M.-Y., Osman O. Air pollution assessment applying GIS integrated system // *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 1997. Vol. 2, no. 6. P. 2071–2081.
6. Tabunschik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Unveiling air pollution in Crimean mountain rivers: Analysis of Sentinel-5 satellite images using Google Earth Engine (GEE) // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15, iss. 13. Art. no. 3364 (25 p.). <https://doi.org/10.3390/rs15133364>
7. Tabunschik V., Gorbunov R., Bratanov N., Gorbunova T., Mirzoeva N., Voytsekhovskaya V. Fatała River basin (Republic of Guinea, Africa): Analysis of current state, air pollution, and anthropogenic impact using geoinformatics methods and remote sensing data // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, iss. 22. Art. no. 15798 (29 p.). <https://doi.org/10.3390/su152215798>
8. Crutzen P. J. The role of NO and NO<sub>2</sub> in the chemistry of the troposphere and stratosphere // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 1979. Vol. 7. P. 443–472. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.07.050179.002303>

УДК 556.55

## Гидрологическая характеристика реки Чурбашская (Керченский полуостров, Крым)

Тимченко З. В.<sup>1</sup>, Табунищик В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГБУ РК «Крымская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция», Симферополь, Россия

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

✉ [tim4enko.zin@yandex.ru](mailto:tim4enko.zin@yandex.ru)

Территория Керченского полуострова Республики Крым является практически неизученной в гидрологическом отношении. В статье приводятся гидрографические и гидрологические характеристики реки Чурбашская (Чурубашская), которая протекает в Республике Крым на территории Керченского полуострова. Представлены данные о гидрографических и гидрологических характеристиках. Река впадает в озеро Чурбашское, повышая уровень воды в нём во время паводков, что приводит к затоплению домовладений в селе Приозёрное Ленинского района.

**Ключевые слова:** река, бассейн реки, озеро Чурбашское, река Чурбашская, гидрологические характеристики

Керченский полуостров является восточной оконечностью Крымского полуострова, административно это территория Ленинского района и городского округа Керчь. Засушливый климат определил бедность полуострова водными ресурсами. Главный водораздел Керченского полуострова проходит по Парпачскому хребту. Водотоки несут воды в трёх направлениях: на север — в Азовское море, на восток — в Керченский пролив, на юг — в Чёрное море. В [8] приведён список 25 главных водотоков с притоками, протекающих по территории Керченского полуострова.

В гидрологическом отношении территория Керченского полуострова является неизученной. В 1925 г. ботаник Е. В. Вульф вместе с исследователем Крыма И. И. Пузановым провёл Керченскую экспедицию, выполняя заказ Крымводхоза, на предмет изучения вопросов обводнения пастбищ и полей полуострова [7]. В 1948 г. Севастопольское УГМС провело рекогносцировочное гидрографическое обследование на всём протяжении р. Мелек-Чесме, протекающей через г. Керчь; на ней же в 1953–1954, 1956 и 1958–1959 гг. действовал гидропост [9].

Работы по исследованию рек Керченского полуострова связаны с работами по установлению зон затопления, подтопления, выделению водоохраных зон и прибрежных защитных полос, проведению экологического мониторинга на водных объектах [5]. Данное исследование продолжает серию работ авторов по изучению гидрологических характеристик неизученных водотоков Керченского полуострова [4 ; 11–13]. При определении гидрологических характеристик р. Чурбашская использовались методы расчётов при отсутствии данных наблюдений [6 ; 10].

Ввиду неизученности водотоков Керченского полуострова важно получить их гидрологическую характеристику. Цель данной работы — получение гидрологической характеристики р. Чурбашская. Задачами являются анализ и систематизация имеющихся материалов по водотокам Керченского полуострова, а также расчёт современных гидрографических и гидрологических характеристик р. Чурбашская.

Согласно [8], р. Чурбашская (р. Чурубашская) впадает в солёное озеро Чурбашское в западной его части, у села Приозёрное (бывш. Чурбаш, Чурубаш). Длина реки — 22 км, площадь водосбора — 112 км<sup>2</sup>. В реку впадают 14 притоков общей длиной 23 км.

Р. Чурбашская относится к водохозяйственному участку «реки Керченского полуострова бассейна Азовского моря». Река делит село Приозёрное на две части — северную и южную. В пределах села протяжённость реки составляет 2,8 км.

Название реки и озера происходит от «чурбаш», «чурюк» — «гнилой» и «баш» — «исток», «начало». Согласно местной легенде, один из поселенцев построил свой дом на противоположном берегу реки. Чтобы попасть в село, ему приходилось переходить балку, заливаемую водой, брести по грязи. За это его прозвали «чурбаш» («дурная голова»). Постепенно так стали называть всё селение, которое

расположилось по обоим берегам. Есть и другая версия. По ней, название происходит от «черебашы», «субашы» — слова, которым называли начальника войска у турок, предводителя отборной конницы в пределах казы (судебного округа), выполнявшего в мирное время функции публичного стража порядка. Имеется предание, что на местном кладбище до Великой Отечественной войны было дюрбе (гробница) знатного воина. Надгробие украшали перекрещённые сабли, а надпись гласила: «Здесь спит Черешашы». Старинное название села — Черваш, искажённое звучание названия — «Чербаш» (происходит от Черешашы).

Исток реки находится северо-восточнее с. Горностаевка. Течение реки направлено с северо-запада на юго-восток. Водосборный бассейн расположен в юго-восточной части Керченского полуострова, граничит со следующими водосборными бассейнами: на северо-западе — балка Зелёный Яр; на западе — р. Ичкин-Джилга; на северо-востоке — р. Артезиан; на востоке — р. Мелек-Чесме. Высшая точка водораздела — 189,8 м (северо-восточнее с. Либкнехтовка). Рельеф мелкохолмистый, пересечённый многочисленными балками. Почвы представлены преимущественно каштановыми суглинками, растительность степная. Характерно распространение ковыльно-полынных степей, остаточных кустарниковых зарослей, лесопосадок. Гидрографическая сеть представлена р. Чурбашская и её притоками, а также четырьмя русловыми прудами общим объёмом 1,4 млн м<sup>3</sup>, общая площадь водного зеркала — 27 га. Пруды строились как противоэрозионные в 1950–1970 гг.

Местоположение реки Чурбашская показано на рис. 1.

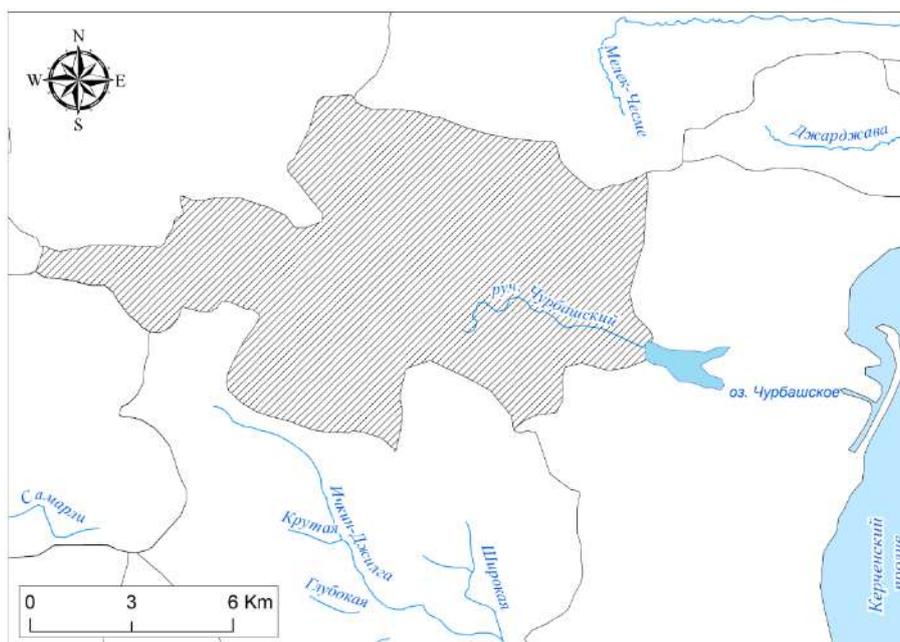


Рис. 1. Местоположение реки Чурбашская

Долина р. Чурбашская — неясно выраженная, прилегающая к ней местность — мелкохолмистая. Склоны долины рассечены притоками, оврагами и балками. Большинство притоков впадает в верхнем течении, имеет временный характер и совершенно пересыхает летом. Самый крупный приток — балка Терновья — впадает с левого берега в 1 км от устья в с. Приозёрное. В верхнем течении этого притока, выше карьера, обустроена земляная дамба высотой 3–4 м.

Основные гидрографические характеристики р. Чурбашская и б. Терновья приведены в табл. 1.

Река Чурбашская, как и все реки Крыма, согласно классификации Б. Д. Зайкова, который учитывал внутригодовое распределение годового стока, относится к рекам с паводочным режимом, крымского типа. Для них характерными являются наступление вызванных ливнями паводков в любое время года и устойчивая летняя межень. Основным фактором, влияющим на водность рек, являются осадки. Норма осадков, по данным метеостанции Керчь, составляет 433 мм, в то время как испарение с водной поверхности — 903 мм [9]. Основной сток воды проходит весной. В многоводный год весной

Водоток	Река				Водосбор		
	Длина, км		Средний уклон, м·км <sup>-1</sup>		Площадь, км <sup>2</sup>	Средняя высота, м	Средний уклон, м·км <sup>-1</sup>
	от уд. точки	от истока	от уд. точки	от истока			
Чурбашская	29	25	6	4	112	70	32
Терновая	10,6	4,64	17	14	27,9	95	25

Таблица 1. Основные гидрографические характеристики реки Чурбашская

проходит 92 % годового стока; в средний по водности год — летом 88 % и зимой 10 %; в маловодный год — 100 % весной. В отдельные годы и месяцы наблюдается пересыхание русла. Ледовые явления на реке не отмечены [9].

На былую многоводность р. Чурбашская указывает заселение её долины с давних времён, о чём свидетельствуют археологические находки, а также множество курганов (отдельных и групп) вокруг с. Горностаевка, в верховьях р. Чурбашская и соседней р. Ичкин-Джилга; в 5 км западнее с. Горностаевка находится античное городище Савроматий II–III вв. [2]. В настоящее время в верхнем течении расположены с. Горностаевка (Горностаевское с/п) и с. Ивановка (Багеровское с/п), а в устье — с. Приозёрное (Приозёрновское с/п).

Гидрологические характеристики рек включают годовой сток, максимальные расходы воды, минимальные расходы воды, твёрдый сток.

**Годовой сток.** Водность реки количественно определяется характеристиками годового стока, которыми являются годовой расход воды, объём, модуль и слой годового стока. Годовой сток р. Чурбашская рассчитывался исходя из значения слоя годового стока согласно модели климат — сток [3], который для рек Керченского полуострова составляет 10 мм. Количественные характеристики годового стока р. Чурбашская приведены в табл. 2.

Водоток	Слой, мм	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Расход, м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup>	Объём, млн м <sup>3</sup>	Модуль, л·с <sup>-1</sup> ·км <sup>-2</sup>
Чурбашская	10	112	0,036	1,12	0,32
Терновая	10	27,9	0,009	0,284	0,32

Таблица 2. Количественные характеристики годового стока реки Чурбашская

Коэффициент вариации (*CV*) для рек равнинного Крыма составляет 1,5 [9]. Соотношение коэффициента асимметрии (*CS*) к коэффициенту вариации (*CS/CV*) — 2 [9]. Расчётные значения расходов и объёмов годового стока в годы разной водности (*P*, %) приведены в табл. 3.

Водность года	<i>P</i> , %	Модульный коэффициент	Расход, м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup>		Объём, млн м <sup>3</sup>	
			Чурбашская	Терновая	Чурбашская	Терновая
Норма годового стока	×	×	0,035	0,009	1,12	0,284
Очень многоводный	1	7,08	0,248	0,064	7,93	2,01
Многоводный	5	3,96	0,139	0,036	4,44	1,12
Средний по водности	50	0,405	0,014	0,004	0,454	0,115
Маловодный	75	0,077	0,003	0,001	0,086	0,022
Очень маловодный	95	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001

Таблица 3. Годовой сток реки Чурбашская в годы разной водности

Для характеристики внутригодового распределения годового стока взята типовая схема внутригодового распределения стока для малых рек Причерноморской низменности и периодических водотоков Равнинного Крыма [9], приведённая в табл. 4.

Расходы воды р. Чурбашская по месяцам приведены в табл. 5.

P, %	Месяц года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1–5	2,3	7	81	4	2,5	1,5	0,5	0,5	0	0	0	0,7
50	4	10	73	5	4,5	2,5	0	0	0	0	0	1
75	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0

Таблица 4. Типовая схема внутригодового распределения стока, %

P, %	Месяц года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,068	0,208	2,41	0,119	0,074	0,045	0,015	0,015	0	0	0	0,021
5	0,038	0,117	1,35	0,067	0,042	0,025	0,008	0,008	0	0	0	0,012
50	0,007	0,017	0,123	0,008	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0,002
75	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0

Таблица 5. Расходы воды по месяцам, река Чурбашская, м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>

**Максимальные расходы воды.** Характерной особенностью рек Крыма является их паводочный режим, обусловленный ливнями. Следует отметить, что продолжительность стояния высоких уровней незначительна из-за их кратковременности. Максимальные расходы дождевых паводков для неизученных рек определяются, согласно [6 ; 10], по формуле предельной интенсивности стока с использованием гидрографических характеристик рек и их водосборных бассейнов (табл. 2), а также гидравлических параметров, характеризующих состояние и шероховатость русла водотока; коэффициента, характеризующего поверхность склонов водосбора [6]; максимального суточного слоя осадков  $P = 1 \%$ , который составляет, по данным метеостанции Керчь, 115 мм.

Максимальные расходы воды и объёмы дождевых паводков р. Чурбашская приведены в табл. 6.

Обеспеченность	P = 1 %		P = 2 %		P = 3 %		P = 5 %		P = 10 %			
	Переходный коэффициент		1,0		0,75		0,65		0,50		0,34	
Створ	Чурбашская		Терновья		Чурбашская		Терновья		Чурбашская		Терновья	
	Максимальные расходы воды, м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup>	87,6	16,7	65,7	12,6	56,9	10,9	43,8	8,37	29,8	5,69	
Объём паводков, млн м <sup>3</sup>	5,15	1,29	3,86	0,97	3,35	0,84	2,58	0,64	1,75	0,44		

Таблица 6. Максимальные расходы воды дождевых паводков реки Чурбашская

В табл. 6 использованы переходные коэффициенты от максимальных расходов ежегодной вероятностью превышения 1 % к максимальным расходам воды другой вероятности превышения, приведённые в [8].

Паводки, которые проходят по реке, приводят к повышению уровня воды в озере Чурбашское и к затоплению приусадебных участков. Для отвода паводковых вод в 2019 г. хозяйственным способом был построен водоотводящий канал с земляным валом, защищающим домовладения по левому берегу реки. Летом 2021 г. по реке прошёл паводок, в результате которого, со слов местных жителей, уровень воды поднялся примерно на 2 м, что привело к затоплению приусадебных участков. Катастрофический паводок сформировался в том числе из-за частичного разрушения дамбы, построенной на левом притоке реки.

**Твёрдый сток.** Основным источником твёрдого стока являются ветровая и водная эрозия почв. Наибольшее количество твёрдого стока наблюдается при прохождении паводков. Согласно «Карте средней мутности вод рек и водотоков Крымского полуострова» [9], водосборный бассейн р. Чурбашская попадает в зону с мутностью  $50\text{--}100 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ . Учитывая малые средние уклоны реки, примем значение мутности  $50 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ . Расход взвешенных наносов в средний по водности год составляет  $0,002 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Река Чурбашская впадает в озеро Чурбашское, которое входит в Керченскую группу соляных озёр Крыма. Происхождение озера — лиманное. Само озеро расположено на побережье Керченского пролива Азовского моря, открывается в него урочищем Плавни, между мысами Камыш-Бурун (на севере) и Кара-Бурун (на юге). Озеро Чурбашское отделено от моря перешейком (Камыш-Бурунской косой) шириной 2 км. Питание озера — поверхностные и подземные воды Причерноморского артезианского бассейна. Озёрная котловина вытянута с северо-запада на юго-восток. Длина озёрной котловины составляет 4,7 км; максимальная ширина — 4,5 км. Уровень воды в озере в естественном состоянии составлял «минус» 0,1 м — «минус» 0,3 м БС [9].

В настоящее время озеро Чурбашское занимает только крайнюю западную часть озёрной котловины, так как большая её часть отделена дамбой, где было обустроено шламохранилище ныне неработающего Камыш-Бурунского железорудного комбината площадью 376 га (Верхне-Чурбашское шламохранилище), а в урочище Плавни — Нижне-Чурбашское хвостохранилище площадью 280 га. Нарушенный естественный водный режим озера Чурбашское регулировался ГТС. С южной стороны озера, в обход его, был построен обводной канал длиной 5 км, который пересекает дорогу Керчь — Героевское, затем проходит параллельно ей на северо-восток, поворачивает на юго-восток и впадает в Камыш-Бурунскую бухту Керченского пролива Азовского моря. Поскольку обводной канал имеет небольшой уклон (0,1 ‰), происходит накопление воды в озере. С 1990-х гг. озеро активно зарастает камышом. Во время паводков наблюдается резкое поднятие уровня воды в озере, что приводит к затоплению и подтоплению приусадебных участков в с. Приозёрное.

Таким образом, территория Керченского полуострова в гидрологическом отношении является неизученной. Один из крупных водотоков — река Чурбашская. В работе определены гидрологические характеристики, в том числе количественные характеристики годового стока, максимальные расходы воды дождевых паводков, твёрдый сток. Рассмотрена роль реки в повышении уровня воды в озере Чурбашское.

Так как реки Керченского полуострова являются самыми неизученными, перспективным представляется определение гидрологических характеристик других водотоков данного региона.

#### Список литературы

1. Водный кодекс РФ [электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_60683/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/)
2. Ковыркин К. К., Санжаровец В. Ф. Керченский полуостров. Географический словарь // Научный сборник Керченского заповедника. 2014. Вып. 4. С. 443–585.
3. Лобода Н. С., Отченаш Н. Д. Оцінка впливу антропогенної діяльності на водні ресурси Кримського півострова // Вісник ОДЕУ. 2012. Вип. 13. С. 153–157.
4. Олиферов А. Н. Реки и озёра Крыма / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко. Симферополь : ДОЛЯ, 2005. 214 с.
5. Отчёт по ГК № 14 от 24.03.2020 на выполнение работ по мероприятию «Определение границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос руч. Узунлар, руч. Шаклар, руч. Чит-Оба, р. Ичкин-Джилга, руч. бн/, р. Катарлез с притоками на территории РК». Т. 1. ПЗ. Казань – Симферополь, 2020. 200 с.
6. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 448 с.

7. Пузанов И. И. По нехоженому Крыму. М. : Изд-во географ. литературы, 1960. С. 136–161.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Крым. Л. : Гидрометеиздат, 1964. 127 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Л. : Гидрометеиздат, 1966. 344 с.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных характеристик (взамен СНиП 2.01.14-83) [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035578>
11. Тимченко З. В. Гидрографические и гидрологические характеристики реки Джарджавы // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 8 (60). С. 133–139. EDN: [YLVHAK](#).
12. Тимченко З. В. Табунщик В. А. Гидрологическая характеристика реки Ичкин-Джилга (Керченский полуостров, Крым) // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 3 (84). С. 81–90.
13. Тимченко З. В., Табунщик В. А. Гидрологическая характеристика р. Самарли (Керченский полуостров, Республика Крым) // Природа и общество: интеграционные процессы [электронный ресурс] : материалы международной научно-практической конференции «Пятое ландшафтно-экологические чтения, посвящённые Г. Е. Гришанкову», Севастополь, 12–16 сентября 2022 г. / под ред. Е. А. Позаченюк [и др.]. Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2022. С. 83–88.

УДК [556.535.8:556.114.7](597-751.2)

## Алифатические углеводороды в речной воде отдельных рукавов р. Меконг (на примере р. Тиен и р. Хау, Вьетнам)

Тихонова Е. А.<sup>1\*</sup>, Миронов О. А.<sup>1</sup>, Соловьёва О. В.<sup>1</sup>, Нгуен Чонг Хиен<sup>2</sup>, Ву Тхи Минь Чау<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского  
и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

✉ [tikhonova\\_ea@ibss-ras.ru](mailto:tikhonova_ea@ibss-ras.ru)

Определён качественный и количественный состав алифатических углеводородов в воде отдельных участков крупных рукавов р. Меконг (р. Тиен и р. Хау) в сухой сезон (июль — август 2023 г.), а также проанализированы вероятные источники их поступления на основании рассчитанных диагностических маркеров. Концентрации алифатических углеводородов в воде исследуемых рукавов р. Меконг колебались для р. Тиен в диапазоне от 0,024 до 0,21 мг·л<sup>-1</sup>, в среднем составляя (0,113 ± 0,021) мг·л<sup>-1</sup>, для р. Хау — от 0,018 до 0,066 мг·л<sup>-1</sup>, в среднем (0,0372 ± 0,0072) мг·л<sup>-1</sup>. Данные показатели являются достаточно высокими, превышая санитарные нормы (0,05 мг·л<sup>-1</sup>) для рыбохозяйственных водоёмов или приближаясь к этому значению, особенно в водах р. Тиен. Алифатические углеводороды в воде исследованных рукавов р. Меконг имеют смешанное происхождение и содержат в своём составе как биогенные компоненты автохтонного и аллохтонного происхождения, так и признаки нефтяного загрязнения.

**Ключевые слова:** алифатические углеводороды, *n*-алканы, вода, диагностические маркеры, рукава р. Меконг, Вьетнам

Загрязнённость р. Меконг органическими загрязнителями, в частности нефтяными углеводородами, обусловлена в первую очередь большим количеством промышленных и сельскохозяйственных производств, расположенных по берегам реки. Работа данных предприятий вызывает опасение у контролирующих экологическое состояние реки организаций. Неочищенные канализационные и сточные воды, попадающие в водоток исследуемого объекта, делают его одним из наиболее загрязнённых в мире. Кроме того, р. Меконг протекает по территории нескольких государств (Китая, Бирмы, Лаоса, Таиланда, Камбоджи и Вьетнама) и является достаточно длинной (длина около 4880 км), что не позволяет качественно контролировать её состояние из-за отсутствия единой системы мониторинга. В нижнем течении р. Меконг делится на два рукава — р. Хау и р. Тиен. Существующие в настоящее время нормативы содержания нефтяных углеводородов в воде свидетельствуют об их высокой токсичности. Поэтому контроль концентраций данных веществ, определение источников поступления поллютантов и факторов, влияющих на качество вод рек, являются сейчас актуальными задачами.

Цель настоящей работы — оценка современного уровня содержания алифатических углеводородов (далее — АУВ) в воде отдельных рукавов р. Меконг (р. Хау и р. Тиен), исследование качественного и количественного состава АУВ, определение вероятных источников их поступления в реки.

Пробы воды отбирали батометром в сухой сезон (июнь — июль 2023 г.) в р. Хау и р. Тиен (рис. 1). При пробоотборе учитывали наличие на берегах рек крупных промышленных и городских объектов.

Пробоподготовка воды проводилась непосредственно после её отбора в лаборатории Южного отделения СРВТНИИТЦ (Вьетнам). Определение качественного и количественного состава АУВ, *n*-алканов в воде рукавов р. Меконг проводили методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.2» на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Пробоподготовка проводилась в лабораторных условиях экстрагированием проб гексаном [4]. Полученную после экстракции жидкость очищали на стеклянной колонке, заполненной оксидом алюминия, для удаления полярных соединений. Полученный экстракт концентрировали до 1 мл.

Аликвоту экстракта (1 мкл) вводили микрошприцем в нагретый до +250 °С испаритель газового хроматографа «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Разделение УВ осуществляли на капиллярной колонке TR-1MS длиной 30 м, диаметром 0,32 мм и толщиной

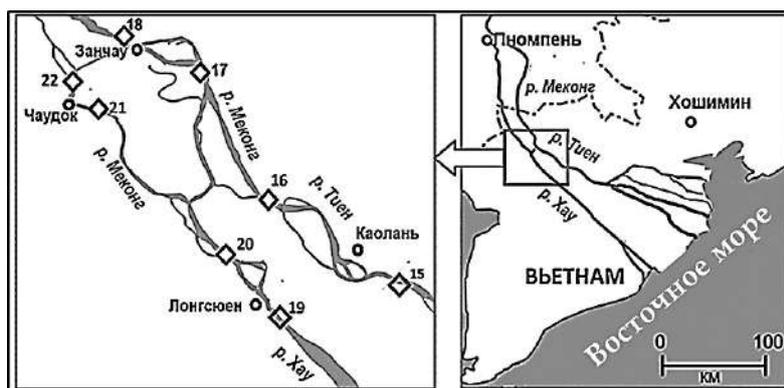


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб воды в крупных рукавах реки Меконг (река Тиен и река Хау, Вьетнам) в сухой сезон 2023 г.

неподвижной фазы 0,25 мкм (Termo Scientific). Температура колонки программировалась от +70 до +280 °С (скорость подъёма температуры — 8 °С·мин<sup>-1</sup>). Поток газа-носителя (азот) в колонке — 2,5 мл·мин<sup>-1</sup> без деления потока. Температура детектора — +320 °С.

Количественное определение содержания АУВ проводили путём абсолютной калибровки ПИД смесью углеводородов (УВ) (стандартный образец нефтяных углеводородов ASTM D2887 Reference Gas Oil, фирма SUPELCO, США). Определение АУВ и н-алканов проводили на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Для обработки результатов при определении концентраций АУВ использовали программное обеспечение «Хроматэк Аналитик 3.0» (метод абсолютной калибровки и процентной нормализации).

Для идентификации генезиса АУВ широко применяются различные маркеры. С целью дифференциации аллохтонного и автохтонного происхождения нередко используют соотношение терригенных и автохтонных соединений  $C_{31}/C_{19}$ ,  $C_{31}/C_{17}$ , соотношение низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов (LWH/HWH) [1 ; 7]. Отдельные биомаркеры позволяют уточнить характер биогенной природы соединений, в частности оценить вклад травянистой и древесной растительности (это, например, соотношения  $C_{31}/C_{29}$ ) [7]. Для дифференциации нефтяного и биогенного происхождения обнаруженных АУВ использовались такие соотношения, как индекс нечётности (СРІ), в частности  $СРІ_2$  (рассчитанный для высокомолекулярной части спектра), LWH/HWH, а также соотношение изопреноидных алканов (пристана и фитана) между собой и с отдельными нормальными гомологами (Pr/Ph,  $C_{17}/Pr$  и  $C_{18}/Ph$ ) [1 ; 7].

Концентрации АУВ в воде исследуемых рукавов р. Меконг колебались в диапазоне от 0,024 до 0,21 мг·л<sup>-1</sup> для р. Тиен, в среднем составляя  $(0,113 \pm 0,021)$  мг·л<sup>-1</sup>, и от 0,018 до 0,066 мг·л<sup>-1</sup> для р. Хау, в среднем составляя  $(0,0372 \pm 0,0072)$  мг·л<sup>-1</sup> (рис. 2).

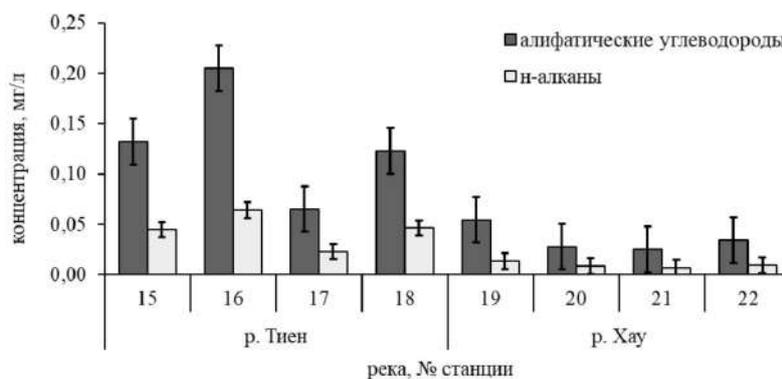


Рис. 2. Концентрация алифатических углеводородов и н-алканов в воде отдельных рукавов реки Меконг (река Тиен и река Хау) в сухой сезон 2023 г.

Данные показатели являются достаточно высокими и превышают санитарные нормы ( $0,05 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ) для рыбохозяйственных водоёмов [5] или приближаются к ним, особенно для р. Тиен. В ряде случаев показатель превышал и вьетнамские нормативы ( $0,1 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ) [6]. Поскольку исследуемая река используется как для рыбного промысла, так и для аквакультуры, эти показатели характеризуют её неудовлетворительное состояние.

Содержание н-алканов в воде составляло  $0,015\text{--}0,043 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  [среднее —  $(0,028 \pm 0,012) \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ]. Доля н-алканов от общего содержания АУВ составляла от 9,1 до 84,7 % для р. Тиен [в среднем  $(33,6 \pm 7,32) \%$ ] и от 21,3 до 36,7 % для реки Хау [в среднем  $(27,8 \pm 0,97) \%$ ] (рис. 3).

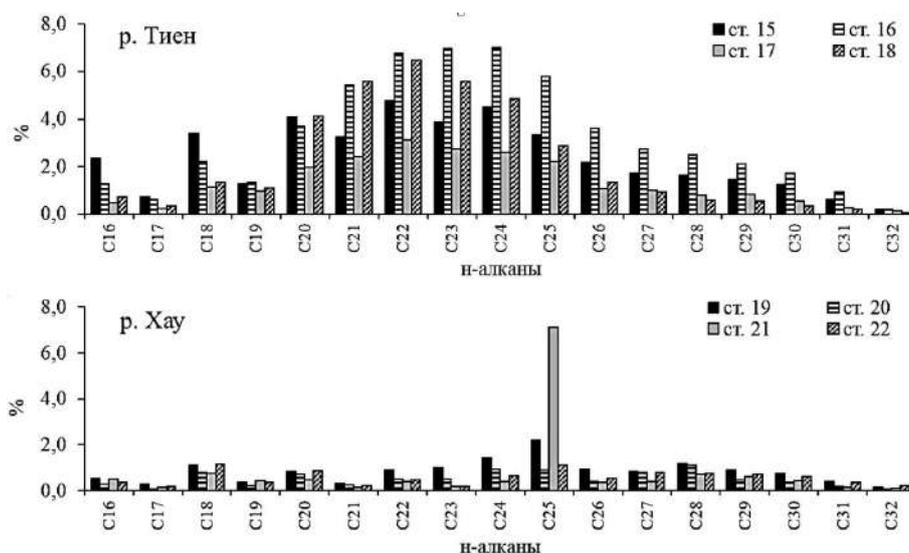


Рис. 3. Процентное содержание н-алканов в воде реки Тиен и реки Хау в сухой сезон 2023 г.

С целью идентификации потенциальных источников поступления АУВ были рассчитаны отдельные маркеры генезиса органического вещества, результаты приведены в табл. 1. Для воды индексы нечётности для высокомолекулярной области ( $\text{CPI}_2$ ) были достаточно близки и находились в пределах от 1,07 до 1,53, что может быть следствием либо наличия нефтяного загрязнения, либо биоразложения органических веществ, поступающих в воду исследуемых рек. Соотношение пристана и фитана также характеризовалось низкими значениями, около 0,5, что характерно для наличия нефти. Соотношение н-алкана  $\text{C}_{17}$  к пристану,  $\text{C}_{17}/\text{Pr}$  в табл. 1, указывает на наличие существенного количества разложившейся органики. При этом маркер  $\text{C}_{18}/\text{Ph}$  был  $> 1$  (табл. 1), что говорит о наличии как свежих, так и деградированных нефтепродуктов.

Маркер	№ станции							
	15	16	17	18	19	20	21	22
	река Тиен				река Хау			
$\text{CPI}_2$	1,11	1,25	1,24	1,29	1,53	1,07	1,25	1,41
$\text{Pr}/\text{Ph}$	0,61	0,31	0,54	0,52	0,30	0,27	0,54	0,32
$\text{LWN}/\text{HWN}$	0,52	0,37	0,45	0,49	0,46	0,34	0,52	0,50
$\text{C}_{31}/\text{C}_{19}$	0,49	0,79	0,39	0,26	0,84	1,25	0,56	1,21
$\text{C}_{31}/\text{C}_{17}$	0,94	2,35	2,36	0,77	1,23	3,23	2,37	1,96
$\text{C}_{31}/\text{C}_{29}$	0,42	0,44	0,34	0,46	0,38	0,40	0,33	0,53
$\text{C}_{17}/\text{Pr}$	1,48	2,01	1,65	1,64	1,79	1,12	1,13	1,98
$\text{C}_{18}/\text{Ph}$	3,06	2,33	1,88	3,49	2,58	3,26	3,22	3,20

Таблица 1. Значения рассчитанных биогеохимических маркеров для воды отдельных рукавов р. Меконг (Вьетнам), 2023 г.

Таким образом, отмечено, что в воде содержатся свежие и разложившиеся соединения органической (в том числе нефтяной) природы. Известно, что в процессе седиментации нефтяные компоненты активно разлагаются [3]. В тёплых водах р. Тиен и р. Хау можно ожидать активных процессов биодеструкции привнесённых органических соединений.

Маркеры, позволяющие дифференцировать автохтонные и аллохтонные соединения ( $C_{31}/C_{17}$  и  $C_{31}/C_{19}$ ), указывают на преобладание в воде соединений, поступающих с суши. Соотношение LWH/HWH (табл. 1) для воды соответствует преобладанию терригенных АУВ [2]. Основной вклад в сумму низкомолекулярных гомологов в данном случае вносят  $C_{18}$  и  $C_{20}$ , поэтому можно говорить о преобладании автохтонных соединений, что свидетельствует об активных продукционных процессах в водоёме.

АУВ в воде имеют смешанное происхождение и содержат как биогенные компоненты автохтонного и аллохтонного происхождения, так и следы нефтяного загрязнения. Органические соединения и аллохтонного, и нефтяного происхождения, поступающие с водосборных территорий р. Тиен и р. Хау, в дальнейшем претерпевают биотрансформацию.

В результате в сухой сезон 2023 г. концентрация АУВ в воде р. Тиен в большинстве случаев превышала таковую в воде р. Хау. Возможно, это связано с наличием топливозаправочной инфраструктуры, а также многочисленных рыбных ферм в данном рукаве. Выявлена приуроченность повышенных концентраций АУВ к крупным поселениям, что указывает на значимое антропогенное участие в поступлении этого класса веществ.

В воде р. Хау и р. Тиен обнаруживали н-алканы в широком диапазоне (от  $C_{15}$  до  $C_{33}$ ). Распределение н-алканов было неравномерным, что может свидетельствовать о поступлении большого количества органического вещества с прилегающих территорий и о его частичном биоразложении. Интересно отметить, что для р. Тиен преобладали пики н-алканов в диапазоне  $C_{21}$ – $C_{24}$ , а для р. Хау — более высокомолекулярные пики, до  $C_{28}$ , что может быть связано в том числе с деятельностью микроорганизмов [1].

АУВ в воде исследованных рукавов р. Меконг имеют смешанное происхождение и содержат в своём составе как биогенные компоненты автохтонного и аллохтонного происхождения, так и признаки нефтяного загрязнения. Органические соединения различного происхождения в водах анализируемых рек претерпевают значительную биотрансформацию, о чём свидетельствуют рассчитанные молекулярные маркеры.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозоологических процессов в экосистемах водоёмов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7), а также в рамках выполнения НИР Российско-Вьетнамского Тропического центра «Эколан Э-3.4. Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия».*

#### Список литературы

1. Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва : Научный мир, 2013. 432 с.
2. Немировская И. А. Углеводороды в водах и осадках прибрежных морских районов Арктики // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28, № 1. С. 41–55. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2017-1-41-32>
3. Немировская И. А., Коченкова А. И., Храмцова А. В. Углеводороды на геохимическом барьере Северная Двина – Белое море // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 281–290. <https://doi.org/10.31857/S0321059620030153>
4. Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах / под ред. Т. О. Барабашина. Ростов-на-Дону : МиниТайп, 2018. 436 с.

5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 10 марта 2020 г.).
6. TCVN 5502:2003. Domestic Supply Water Quality Requirements, 2003. (in Vietnamese).
7. Wang X.-C., Sun S., Ma H.-Q., Liu Y. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China. Marine Pollution Bulletin. 2006. Vol. 52, iss. 2. P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.08.010>

УДК 502.211:316.6

## Социокультурные разрывы в контексте экосистем: историко-социокультурный анализ как метод исследования

Фаерман А. В., Горбунов Р. В., Фам К. Н., Табунщик В. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [faerman@ibss-ras.ru](mailto:faerman@ibss-ras.ru)

Этот доклад является частью более обширного междисциплинарного исследования, посвящённого динамике геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки. В нём рассматривается важность историко-этнографического контекста для понимания социокультурных разрывов, которые могут привести к серьёзным социокультурным и политическим конфликтам. Исследование подчёркивает, что антропогенное воздействие на экосистемы не следует рассматривать исключительно в негативном свете: необходимо учитывать влияние социокультурных процессов, коренящихся в историческом контексте. Доклад также вводит понятия социокультурного раскола и социокультурного разрыва как взаимодополняющих элементов, которые помогают анализировать причины и последствия антропогенного воздействия на экосистемы. Исследование акцентирует внимание на том, что социокультурные разрывы могут проявляться через конфликты, дискриминацию и социальное недовольство, что, в свою очередь, влияет на природопользование и экосистемное состояние региона. Используя примеры из Исламской Республики Иран, доклад стремится представить более полное понимание взаимосвязи между историческими процессами, социокультурными изменениями и экологическими последствиями, что является ключевым для разработки устойчивых стратегий управления природными ресурсами.

**Ключевые слова:** *социокультурный разрыв, социокультурный раскол, историко-этнографический контекст, историко-социокультурный анализ, Северо-Восточный Кавказ, Иран, стратегии управления природными ресурсами, экосистемы, природопользование*

Этот доклад основан на части более крупного (и, что важно, междисциплинарного) исследования «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки».

Недооценённость историко-этнографического фактора зачастую приводит к просчётам этногеополитического характера, которые оказываются причинами социокультурных разрывов, что непременно становится национальной трагедией исторического масштаба.

В контексте изучения экосистем исследователь рассматривает антропогенное воздействие исключительно как фактор влияния на окружающую среду, причём чаще всего — в отрицательном ключе. Исследователь (эколог, ландшафтовед, гидробиолог и т. д.) видит лишь последствия действий человека, отражённые в природной среде. Рассматривая экосистему с этой точки зрения, мы упускаем из виду то, что степень и направленность антропогенного влияния на среду зависят от характера природопользования, а в более глубоком смысле — от социокультурных процессов, протекающих на этой территории, которые, в свою очередь, обусловлены историческими процессами. То, что биосфера Земли влияет на этногенез, несомненно, но это же можно утверждать и об обратном влиянии.

Концепт социокультурного разрыва представляется нам крайне интересным с точки зрения использования его в качестве инструмента отслеживания, анализа и интерпретации причинно-следственных связей антропогенного воздействия на экосистемы.

Проявление социокультурного разрыва — это всегда конфликт, разрешение которого нередко происходит через вооружённые столкновения различного масштаба; это, как правило, глубокий экономический кризис, который, разумеется, отражается и на характере природопользования; это потрясения, которые чаще всего сопровождаются масштабным перераспределением населения по территории посредством миграции и резких демографических изменений, что, в свою очередь, влечёт за собой перераспределение антропогенной нагрузки на экосистемы и смещение этой нагрузки с одного региона на другой. Такие события часто оказываются опутаны сетью лжи и интерпретаций, а со временем могут быть переписаны каждой из сторон конфликта настолько, что найти истину

становится совершенно невозможно. С научной точки зрения важно, что эти перемены отражаются в статистических параметрах, которые можно проверить, сопоставить между собой и с другими данными и событиями в определённый отрезок времени. Таким образом, у нас в руках оказывается более или менее объективная картина, которую можно анализировать. Очевидно, что и к статистическим данным во времена серьёзных потрясений стоит относиться критически.

Концепт социокультурного разрыва, несмотря на кажущуюся очевидность, требует определения в контексте конкретного исследования, так как этот и подобные ему термины широко используются в гуманитарной литературе в различных контекстах, что было проанализировано в ряде работ на чём мы не станем заострять внимание. В контексте данного исследования мы различаем **социокультурный раскол** и **социокультурный разрыв** как взаимодополняющие понятия, имеющие отношение к разным стадиям одного процесса.

**Социокультурный раскол** представляет собой разделённое или раздробленное состояние общества, возникшее вследствие достаточно глубоких мировоззренческих различий, сопровождающееся социальным, культурным, политическим и экономическим расслоением, формированием и углублением различий в ценностях, обычаях, традициях, нормах поведения, языке, религии и т. п.

Проявлениями социокультурного раскола могут быть напряжённость в обществе, недоверие, высокий уровень преступности, безработицы, наркомании и алкоголизма, рост радикализма и экстремизма. На бытовом уровне формируется чувство неравенства, несправедливости и неуверенности в завтрашнем дне.

Под **социокультурным разрывом** мы будем понимать более глубокий, необратимый процесс и его результат, вызванный социокультурным расколом. Это явление, при котором различные социокультурные группы или общности в рамках одного общества выражают свои ценности, нормы и традиции в противоречии друг с другом, что приводит к конфликтам, недопониманию и даже разделению общества на части.

Основными признаками социокультурных разрывов являются конфликты (от протестов до войн), дискриминация, расизм, ксенофобия и различные формы проявления социального недовольства.

Факторами, способствующими возникновению социокультурных разрывов, могут быть исторические конфликты, экономическое неравенство, политические противоречия, идеологические разногласия и т. д. Показателями таких разрывов могут служить уровень социального неравенства, степень этнической, религиозной или культурной дискриминации, общественные протесты и массовые движения за права и свободы.

Социокультурные разрывы могут привести к вооружённым конфликтам, распаду общества или смене политического режима и т. п.

С учётом сказанного выше очевидно, что выявление и анализ таких явлений возможны лишь в исторической ретроспективе. В частности, в рамках исследования ставилась задача анализа социокультурных разрывов периода с 1990-х гг. до наших дней, однако это было невозможно сделать, не проведя историко-социокультурный анализ значительно более длительного периода. Таким образом, историко-социокультурный анализ становится действительным методом исследования социокультурных разрывов в контексте изучения динамики экосистем.

В рамках исследования «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» изучаются три региона. В качестве примера для этого доклада мы выбрали Исламскую Республику Иран.

Как уже было сказано, нас интересует период с 1990-х гг. до настоящего времени. События, которые происходили в этот период, имеют исторические причины. Ключевым событием современной истории Ирана стала **исламская революция 1978–1979 гг.**, приведшая к свержению правящей тогда монархии, изгнанию шаха Мохаммеда Резы Пехлеви и смене государственного строя. С этого момента начинается история Исламской Республики Иран под руководством консервативных религиозных сил, установивших теократическую систему правления с элементами демократии.

Исходя из концепции социокультурных разрывов, которую мы приняли за основу нашего исследования, мы должны признать, что история Исламской Республики Иран началась с преодоления народом этой страны социокультурного разрыва, возникшего вследствие социокультурного раскола общества, который сложился в период правления шаха Мохаммеда Резы Пехлеви. Революция 1979 г. дала возможность объединить усилия различных сил и создать новое государство. Внутренние противоречия этих сил были очевидны, и в дальнейшем это стало важным фактором в развитии страны.

С самого начала истории нового государства сложились **напряжённые отношения с США**, что сыграло критическую роль в развитии Исламской Республики Иран. В рамках доклада нет возможности углубляться в историю; скажем только, что цепочка событий этого периода привела к невиданным санкциям, введённым США против Исламской Республики Иран. США ввели санкции против предприятий других стран, которые нарушают условия американского эмбарго. В 1984 г. США включили Иран в список государств — спонсоров терроризма. Таким образом, переживая внутренний всеобъемлющий кризис (социокультурный, политический и экономический), страна в то же время оказалась в международной изоляции. Отметим, что такое положение государства в современном мире не может не сказываться на природопользовании.

Ситуация усугубилась: уже в 1980 г. Ирак начал войну против Ирана, которая продолжалась до 1988 г. и распространилась на Персидский залив, а также привела к столкновениям между военноморскими силами США и иранскими военными. Основной причиной войны можно назвать борьбу за ресурсы и лидерство в регионе. В самом начале войны Иран был ослаблен внутренним кризисом и международной изоляцией, а Ираку оказывали помощь многие страны, его армия была более профессиональной и подготовленной, чем у противника. Однако в итоге войны ни одна из сторон не достигла поставленных целей. Общие людские потери во время конфликта составляют около 1,5 млн человек. Материальный ущерб Ирана оценивается в 400 млрд долларов США. Во время так называемой танкерной войны было потоплено или повреждено 546 судов третьих стран, суммарный тоннаж которых превышает 30 млн зарегистрированных баррелей. Очевидным последствием тяжёлой войны, международных санкций и ряда решений правительства стало резкое падение доходов населения, что также подтверждают показатели ВВП в реальном выражении и ВВП на душу населения. И снова мы должны сделать ремарку, чтобы не терять из виду главную цель нашего исследования, — сказать, какое отношение имеют данные события к изучению экосистем. Эти исторические события демонстрируют нам глубину социокультурного разрыва: конфликт был региональным, однако его корни лежат во внутренних социокультурных противоречиях, которые переживало иранское общество. Результаты, о которых мы уже сказали (огромные человеческие жертвы, перераспределение населения, техногенные катастрофы вследствие ведения боевых действий), влекут за собой экологические проблемы, которые являются прямым следствием социокультурного разрыва.

В тяжёлой борьбе с внешним противником на второй план уходят внутренние проблемы, и народ имеет возможность сплотиться, преодолев последствия социокультурного разрыва.

После окончания войны перед правительством Ирана стояла задача восстановления экономики страны. К 1989 г. стратегии и политика в пользу либерализации экономики были оформлены в серию новых **пятилетних планов развития** (ППР). Первый такой план (1989–1993 гг.) позволил довольно быстро восстановить экономику, а второй (1993–1999 гг.) положил начало расширению мощностей. Всё это, разумеется, отразилось и на экосистемах региона. До настоящего момента происходят и другие события, крайне интересные и важные, которые подтверждают, что социокультурные разрывы до конца не преодолены и продолжают влиять на стабильность общества.

Разумеется, рассмотрение социокультурных процессов непосредственно связано с жизнедеятельностью населения, и для полноты картины мы должны проанализировать особенности населения изучаемого региона — его этнический состав и взаимоотношения различных групп населения, распределение населения по территории, плотность и демографические процессы на изучаемом временном отрезке.

Население Ирана распределено неравномерно: оно сосредоточено на севере, северо-западе и западе страны, что отражает географическое положение горных массивов Загрос и Эльбурс. Плотность

населения в крупных сухих районах в центральной и восточной частях страны, вокруг пустынь Деште Кевир и Деште Лут, значительно ниже. Средняя плотность населения — 56 чел.·км<sup>-2</sup> (2024 г.).

Со второй половины 1960-х гг. быстро растёт доля городского населения (38 % в 1966 г.; 46,8 % в 1976 г.; 54,3 % в 1986 г.; 61,5 % в 1996 г.; 68,5 % в 2006 г.). К 2023 г. урбанизация в Иране составляла 77,3 % от общего населения, скорость урбанизации — 1,32 % в год. Крупные городские центры — Тегеран (9,5 млн чел.), Мешхед (3,368 млн), Исфахан (2,258 млн), Шираз (1,721 млн), Тегриз (1,661 млн) и Карадж (1,594 млн).

В этническом отношении Иран — многонациональная страна. Большинство населения Ирана составляют народы, говорящие на иранских языках, около 30 % — тюркские народы.

Общее население Ирана на 2023 г. составляло 89 172 767 чел. В 1950–1990-х гг. страна переживала демографический взрыв. За период с 1979 г. население удвоилось; в 2006 г. численность достигла 70 495 782 чел., а в 2011 г. — 75 149 669 чел. Пик роста населения пришёлся на постреволюционный период, особенно на 1981 г. Однако в 1990-х гг. рождаемость заметно снизилась, и теперь она опустилась ниже простого воспроизводства поколений. Наибольший спад роста населения пришёлся даже не на годы войны с Ираком, а на 1992–1993 гг. С этим же периодом совпадает спад экономических показателей. Подобный спад роста населения и роста ВВП отмечен и в начале 2000-х гг. С этим снижением показателей коррелируются и периоды наиболее сильных социально-политических волнений, протестов.

На начало 2024 г. структура населения по возрасту такова: до 14 лет — 23,3%; от 15 до 64 лет — 69,8 %; 65 лет и старше — 7%. На сегодняшний день большинство населения Ирана — это взрослые, трудоспособные, экономически и политически активные люди.

Казалось бы, это хороший показатель, потенциал для экономического роста. Однако в данном случае эта группа населения несёт и потенциал социальной нестабильности. Минимальная зарплата в Иране растёт гораздо медленнее, чем инфляция. На 2022 финансовый год правительство установило её в размере, эквивалентном примерно \$200, в то время как потребительская корзина товаров первой необходимости стоит вдвое дороже. При этом около **10 млн работающих (40 % рабочей силы) заняты в неформальном секторе** и не получают даже минимальной зарплаты. В 2020 г. примерно треть иранцев жила за чертой бедности. Более 42 млн чел. в стране зарегистрированы в государственной организации социального обеспечения и получают страховые выплаты и пенсии.

Безработицу можно считать одной из важнейших социальных проблем Ирана, причём эта проблема (вместе с проблемой общей бедности населения) появилась не сегодня: она сопровождает Иран на протяжении долгих лет и из-за совокупности факторов продолжает расти. Периоды быстрого роста населения только усиливали обозначенные проблемы, так как новые рабочие места создавались медленнее.

Серьёзным испытанием для Ирана, как и для всего мира, стала эпидемия COVID-19, и к описанным выше факторам, усугубляющим социокультурные расколы в иранском обществе, следует добавить кризис, связанный с пандемией. По данным Всемирного банка, Исламская Республика Иран сильно пострадала от пандемии COVID-19, которая унесла более 145 тыс. жизней и затронула около 7,56 млн чел. из 85 млн населения.

Несмотря на все потрясения, внешнее давление и внутренние противоречия, а также периодические кризисные явления, Иран развивается во всех отношениях. Индекс человеческого развития ООН, который рассчитывается ежегодно, в Иране неуклонно растёт. К 2022 г. страна занимала 70-е место из 189, а в Международном индексе счастья — 116-е место из 146.

По данным ЮНЕСКО за 2020 г., **высшее образование есть почти у 60 % жителей страны** — против 50 % в 2011 г. и 73 % в 2015 г. (затем доля стала снижаться). Уровень грамотности среди 15–24-летних составляет 98,1 %, среди людей 65 лет и старше — менее 37 %.

Можно сказать, что за десятилетия существования страны в режиме непрерывной борьбы за выживание государство сформировало эффективную для данной ситуации политику, способную не только противостоять внешнему воздействию, но и направлять усилия на развитие собственного населения. Народ Ирана также адаптировался к сложившейся ситуации, в его менталитете сформировались определённые черты, которые способствуют выживанию людей и их развитию.

Хотя социокультурные противоречия существуют, выражаясь в периодических протестах, значительные социокультурные расколы внутри иранского общества сегодня преодолены. Внешнее давление, призванное создавать напряжённость в обществе, одновременно играет роль мобилизационного фактора и сглаживает внутренние социокультурные расколы.

Подводя итог этого краткого обзора, выделим ключевые события истории Исламской Республики Иран и их последствия, которые являются маркерами социокультурных расколов:

- **1978–1979 гг., исламская революция.** Жертвы, согласно официальной статистике Ирана: 60 000 погибших и 100 000 раненых и инвалидов. Это событие — ключевое в истории современного Ирана. Оно само по себе является результатом социокультурного разрыва, и в то же время оно стало отправной точкой для новых расколов. Этот момент зафиксировал развал старой системы и начало строительства новой. Несомненно, с этого момента мы можем рассчитывать на то, что обнаружим изменения в природопользовании и, соответственно, в экосистемах региона.
- **1980 г., США ввели первые санкции против Ирана.** Хотя это событие внешнеполитического характера, оно попало в список, так как является важной точкой отсчёта для многих событий социокультурного, экономического и политического характера, которые влияли, соответственно, и на экосистемные процессы.
- **1980–1988 гг., ирано-иракская война.** Данные о погибших сильно отличаются в различных источниках — от 150 000 до 600 000 иранцев. Это вооружённый конфликт, явившийся следствием социокультурного разрыва и связанных с ним процессов. Естественно, в контексте нашего исследования здесь следует искать последствия антропогенного воздействия на экосистемы.
- **1993 г., падение показателя прироста населения до отрицательных значений** (–476 445,00 чел.).
- **2002 г., падение показателя прироста населения до критических значений** (83 251 чел.).
- **2009–2011 гг., Зелёная революция.** Это протесты против результатов выборов президента и за пере выборы. Жертвами стали, согласно разным источникам, от 27 до 150 чел.
- **2018 г., США начинают «политику максимального давления»** и вводят новые санкции.
- **2019–2020 гг., протесты** против роста цен на топливо, переросшие в протесты против правящего режима. Количество жертв, по разным данным, составило от 300 до 1500 чел.
- **2019–2021 гг., пандемия COVID-19.** Жертвами стали 145 000 чел.
- **2020 г., падение показателя прироста населения до критических значений** (483 351 чел.).
- **2022–2023 гг., протесты** после новости о гибели Махсы Амини за права женщин и против правящего режима. Количество жертв — около 200 чел.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Минобрнауки России — гранта в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (соглашение № 075-15-2024-644).*

УДК 550.42:550.46:556.53

## Вертикальное распределение микроэлементов в донных отложениях рек Кача, Бельбек и Чёрная в окрестностях города Севастополя

Чужикова О. Д., Мирзоева Н. Ю., Проскурнин В. Ю., Параскив А. А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

✉ [chuzhikova@ibss-ras.ru](mailto:chuzhikova@ibss-ras.ru)

В работе рассмотрено вертикальное распределение 23 микроэлементов (металлов и металлоидов) в 10-сантиметровом слое донных отложений, отобранных весной 2024 г. в реках Кача, Бельбек и Чёрная, которые расположены в окрестностях города Севастополя. Пробы обрабатывались методом кислотной минерализации и измерялись на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой. Полученные концентрации микроэлементов сравнивали с нормами, приводимыми в «Голландских листах» (для 15 элементов). Выполнен анализ трендов вертикального изменения концентраций, а также рассчитаны коэффициенты обогащения и индексы геоаккумуляции для определения источника поступления микроэлементов в донные отложения. Приведено сравнение концентраций микроэлементов в верхних слоях донных отложений и связанных со взвешенным веществом.

**Ключевые слова:** микроэлементы, тяжёлые металлы, донные отложения, реки Крыма

Донные отложения являются более консервативным компонентом речных экосистем, чем вода [4]. Анализ их вертикального профиля позволяет узнать историю водоёма за последние десятки, сотни и даже тысячи лет. Исследование донных осадков для оценки поступлений загрязняющих веществ и возможного влияния хозяйственной деятельности человека является актуальной задачей, и особенно важно проводить его в реках, используемых для хозяйственных нужд населения и водоснабжения [5–7]. В городе Севастополе к таким рекам относятся Чёрная, Бельбек и Кача [3].

Цель работы — изучить вертикальное распределение концентраций микроэлементов в донных отложениях рек Кача, Бельбек и Чёрная (в окрестностях города Севастополя), определить тренды изменения концентраций в современный период, а также установить возможные источники поступления микроэлементов в донные отложения исследуемых рек.

Донные отложения и воду в реках Кача, Бельбек и Чёрная отбирали в окрестностях города Севастополя (в нижнем течении рек) (рис. 1) в марте 2024 г. в паводковый период.

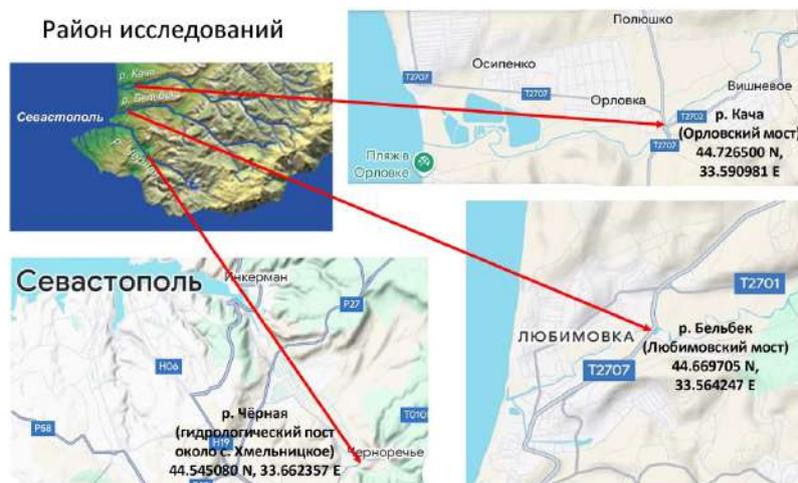


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб на реках

Донные отложения отбирали акриловой трубкой с гидрозатвором, после чего нарезали на слои толщиной 1 см, взвешивали и высушивали до постоянной массы. Из проб воды выделяли общее взвешенное вещество с помощью фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. После фильтры высушивали и гравиметрическим методом определяли количество общего взвешенного вещества. В высушенных пробах донных отложений и общего взвешенного вещества определяли концентрацию 23 микроэлементов методом кислотной минерализации в соответствии с ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Измерения проводили в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena AG) в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ.

Для оценки экологического состояния донных отложений в реках проводилось сравнение полученных концентраций микроэлементов с нормативными значениями концентраций по «Голландским листам» (ПДК<sub>глл</sub>) для 15 исследуемых элементов [9]. Также был произведён расчёт коэффициентов обогащения (КО) [8] и индексов геоаккумуляции (I<sub>гео</sub>) [2].

Превышений ПДК<sub>глл</sub> в донных отложениях обнаружено не было ни в одной из рек. К потенциально критическим элементам могут быть отнесены кобальт, никель, ванадий и бериллий, концентрации которых в ряде случаев превышали 40 % от ПДК<sub>глл</sub>.

Вертикальные профили распределения большинства исследуемых элементов в донных отложениях реки Кача показывают общий тренд снижения концентраций от нижних слоёв к верхним (рис. 2).

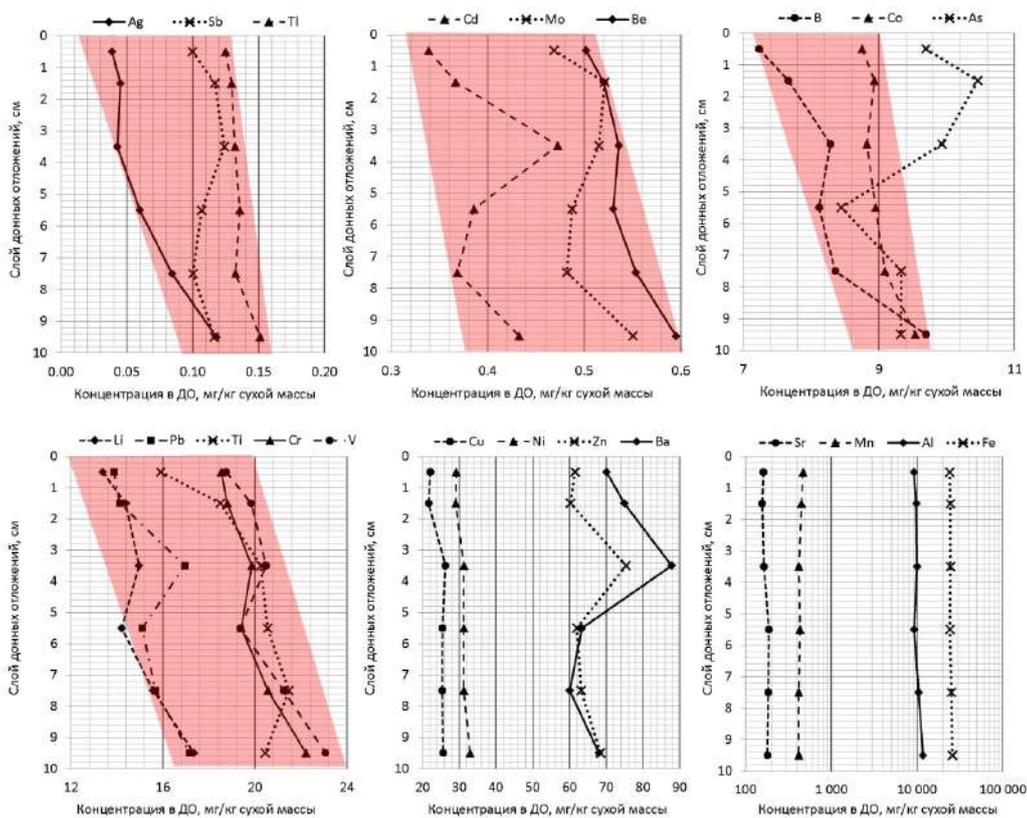


Рис. 2. Профили вертикального распределения концентраций микроэлементов в донных отложениях реки Кача

В профилях распределения элементов в донных отложениях рек Бельбек (рис. 3) и Чёрная (рис. 4) наблюдается увеличение концентраций кверху, начиная со слоя 3–4 см. При этом в реке Бельбек концентрации элементов в верхних слоях донных отложений достигают или не превышают концентрации в нижних слоях, а в реке Чёрная они значительно превышают концентрации нижних слоёв, формируя общий тренд увеличения концентраций от нижних слоёв к верхним.

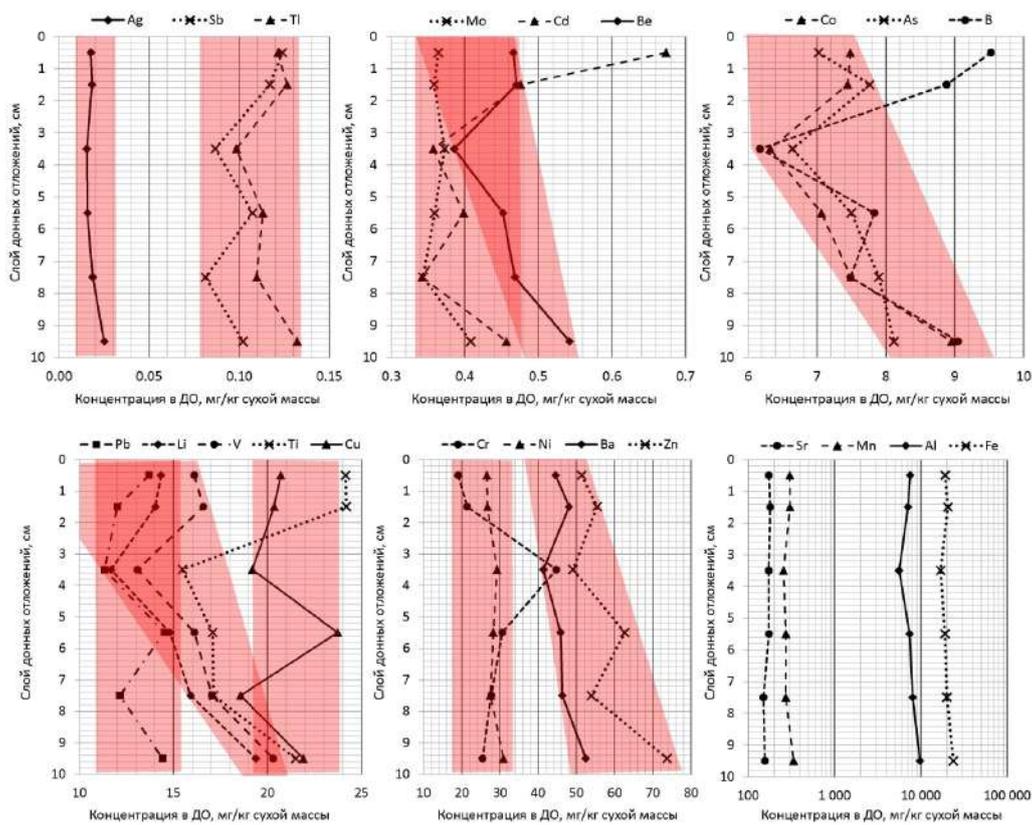


Рис. 3. Профили вертикального распределения концентраций микроэлементов в донных отложениях реки Бельбек

Тренд изменения концентраций микроэлементов в донных отложениях реки Чёрная может указывать на ухудшение экологической обстановки в современный период. Для оценки источников поступления микроэлементов в донные отложения были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) относительно кларков данных элементов в верхней части континентальной земной коры (значения кларков взяты по Виноградову [1]). В качестве элемента-индикатора использовались железо, а для железа расчёты производились по алюминию [2]. Сводные результаты вычислений по трём рекам приведены в табл. 1. Преобладающее количество КО со значениями ниже 3 свидетельствует о преимущественно литогенном происхождении микроэлементов в составе донных отложений. Исключение составили мышьяк и кадмий, высокие значения КО которых указывают на биогенные и антропогенные источники поступления данных элементов во всех исследуемых реках.

Элемент	КО	$I_{geo}$	Элемент	КО	$I_{geo}$	Элемент	КО	$I_{geo}$
Li	0,81 ÷ 1,23	< 0	Fe	2,82 ÷ <b>5,25</b>	< 0	Mo	0,38 ÷ 1,06	< 0
Be	0,26 ÷ 0,88	< 0	Co	0,92 ÷ 1,42	< 0	Ag	0,00 ÷ <b>3,02</b>	<b>0,17</b>
B	1,17 ÷ <b>3,95</b>	< 0	Ni	0,95 ÷ 1,39	< 0	Cd	<b>5,04 ÷ 45,65</b>	<b>1,79</b>
Al	0,19 ÷ 0,35	< 0	Cu	0,87 ÷ 1,23	< 0	Sb	0,37 ÷ 2,18	< 0
Ti	0,01 ÷ 0,03	< 0	Zn	1,38 ÷ 2,34	< 0	Ba	0,16 ÷ 0,31	< 0
V	0,40 ÷ 0,73	< 0	As	<b>6,30 ÷ 13,12</b>	<b>2,04</b>	Tl	0,24 ÷ 1,54	< 0
Cr	0,43 ÷ 1,48	< 0	Se	–	–	Pb	1,18 ÷ 2,21	< 0
Mn	0,62 ÷ 0,91	< 0	Sr	0,66 ÷ 1,40	< 0			

Таблица 1. Коэффициенты обогащения донных отложений трёх рек, рассчитанные по железу, и максимальные значения индексов геоаккумуляции

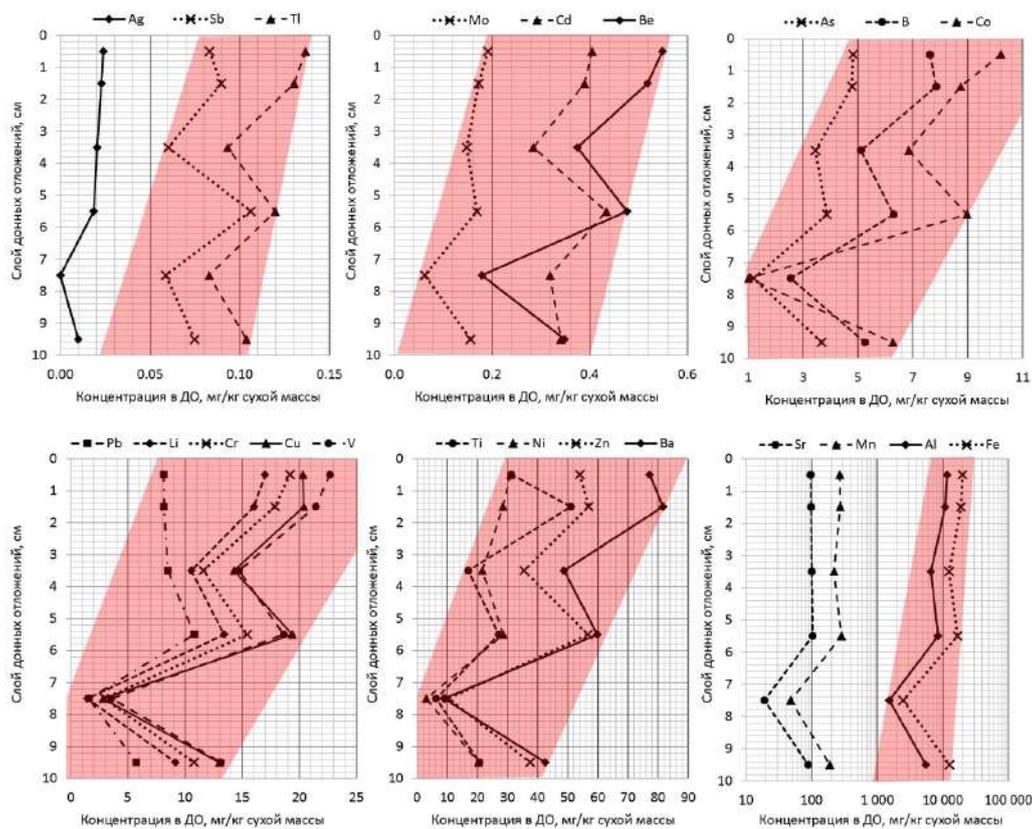


Рис. 4. Профили вертикального распределения концентраций микроэлементов в донных отложениях реки Чёрная

Для оценки уровня загрязнённости донных отложений были рассчитаны индексы геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ), максимальные значения которых приведены в табл. 1. Для большинства элементов значения индекса были ниже нуля, что говорит об отсутствии превышения фоновых значений (кларков в земной коре). Индексы геоаккумуляции мышьяка и кадмия со значениями в диапазоне 1–2 указывают на умеренное загрязнение донных отложений этими элементами. Однако при сравнении с ПДК<sub>гп</sub> максимальные концентрации этих элементов в донных отложениях исследуемых рек не превышали 19 и 4 % от ПДК<sub>гп</sub> соответственно, что свидетельствует о благоприятной экологической обстановке в настоящее время.

Пробы донных отложений отбирались в паводковый период, характеризующийся повышенной мутностью вод в реках, связанной, вероятно, с терригенным стоком, поэтому для сравнения был произведён анализ проб общего взвешенного вещества, выделенного с помощью фильтрации из воды, отобранной в районе исследования в тот же период. На рис. 5 приведены отношения концентраций микроэлементов, связанных со взвешенным веществом, к соответствующим концентрациям в донных отложениях отдельно для каждой реки.

В большинстве случаев концентрации элементов во взвешенном веществе превышали концентрации в донных отложениях, что говорит о том, что взвешенное вещество в настоящий момент является источником поступления микроэлементов в донные отложения. В реках Кача и Бельбек полученные отношения имеют довольно низкие значения — 0,6–1,9 и 0,4–1,3 для различных элементов в двух реках соответственно. В реке Чёрная максимальное отношение достигает 35,7 при среднем значении для всех элементов 5,9. Таким образом, в реке Чёрная концентрации элементов во взвешенном веществе значительно выше, чем в донных отложениях.

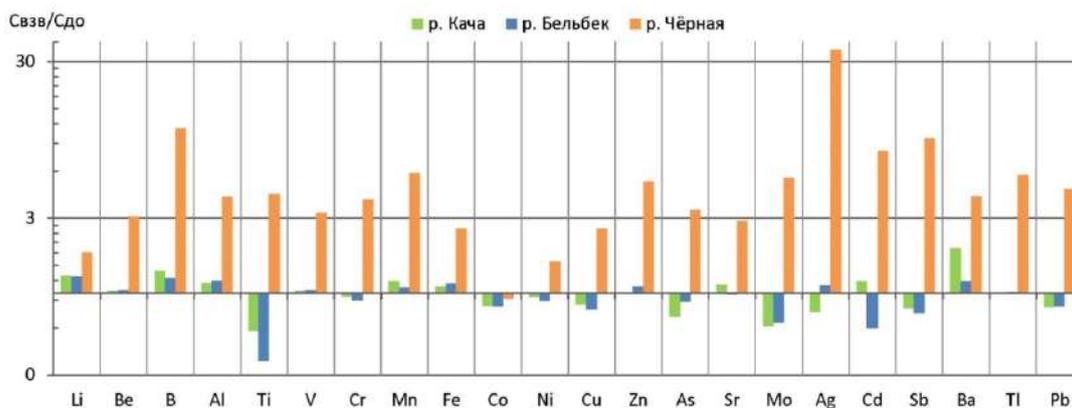


Рис. 5. Отношение концентраций микроэлементов во взвешенном веществе к соответствующим концентрациям в донных отложениях рек

**Вывод.** Проведённый анализ позволяет оценить современное экологическое состояние донных отложений рек Кача, Бельбек и Чёрная в окрестностях города Севастополя как благоприятное. Превышений ПДК<sub>гп</sub> в донных отложениях не обнаружено, а содержащиеся микроэлементы имеют преимущественно литогенное происхождение. Общий тренд увеличения концентраций элементов в верхних слоях донных отложений в реке Чёрная может быть связан с высоким содержанием микроэлементов во взвешенном веществе, с которым микроэлементы поступают в донные отложения в процессе седиментации. Этот вопрос требует дальнейших наблюдений и дополнительных исследований.

*Исследование выполнено по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозкологических процессов в экосистемах водоёмов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).*

#### Список литературы

1. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
2. Гуров К. И., Котельянец Е. А. Распределение Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Sr, Ti, Mn, Fe в донных отложениях Севастопольской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 5. С. 512–529. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2022-5-512-529>. EDN: IOYNEZ.
3. Дегтерев А. Х. Заполняемость водохранилищ Крыма в период перекрытия Северо-Крымского канала : монография // Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Севастополь : СевГУ, 2022. 70 с.
4. Егоров В. Н. Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем / ФИЦ «Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН». Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. <https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-5-0>
5. Назаров Н. Н., Сунцов А. В. Геохимические горизонты и микроэлементный состав донных отложений Воткинского водохранилища // Географический вестник. 2008. № 2 (8). С. 26–36.
6. Решетняк В. Н., Закруткин В. Е. Взаимосвязь химического состава и уровня загрязненности речных вод и донных отложений рек бассейна Северского Донца (в пределах Ростовской области) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2022. № 3 (215). С. 91–102. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-91-102>

7. Слуковский З. И. Природный и техногенный статус микроэлементов в тонкой фракции речных донных отложений урбанизированной среды // Математические исследования в естественных науках. 2014. № 11. С. 248–251.
8. Стародымова Д. П., Шевченко В. П., Кокрятская Н.М., Алиев Р.А. Динамика накопления тяжёлых металлов донными осадками водоёма в зоне влияния ТЭЦ // Экология гидросферы. 2023. № 2 (10). С. 72–83. [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2023-2\(10\)-72-83](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2023-2(10)-72-83)
9. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001, RIZA report 2002.009. Lelystad, 2002. 77 p. URL: <https://edepot.wur.nl/674312>.

UDC 502.173(282.254.2)

## **Multidisciplinary assessment of the transboundary Yarmouk River basin**

**Almohamed M. and Farhoud N.**

Department of Environmental Engineering Technologies, Faculty of Technical Engineering, University of Aleppo,  
Aleppo, Syria

✉ [m.e.almohamed@alepuniv.edu.sy](mailto:m.e.almohamed@alepuniv.edu.sy)

A comprehensive, reliable and multidisciplinary assessment of resources in transboundary river basins is vital for water management and sustainable development. In this study, surface and groundwater resources and socio-economic factors were assessed in the Yarmouk River basin shared by Syria, Jordan, and occupied Palestine. The composite index technique was used to create a risk index in the basin between 2000 and 2022. The results showed that negative changes in the risk index included occupied Palestine due to the unsustainable use of water and resources in this part of the basin, which may negatively affect the rest of the basin parts in both Syria and Jordan, especially in light of the effects of climate change.

**Keywords:** *transboundary, Syria, surface water, groundwater, climate change*

---

UDC 556.3.048(282.254.31)

## Development of a comprehensive Groundwater Depletion Index in the Euphrates River basin region

Farhoud N. and Almohamed M.

Department of Environmental Engineering Technologies, Faculty of Technical Engineering, University of Aleppo,  
Aleppo, Syria

✉ [m.e.almohamed@alepuniv.edu.sy](mailto:m.e.almohamed@alepuniv.edu.sy)

Groundwater is of particular importance in the Eastern Mediterranean region due to limited surface water resources and conflict over shared water sources. The costs of depleting groundwater are increasing due to the absence of the necessary tools to diagnose areas at risk of groundwater depletion, especially in the case of transboundary groundwater. In this study, the Groundwater Depletion Index (GDI) was developed as a multidisciplinary composite index to assess the vulnerability of groundwater to depletion using a set of environmental, socioeconomic, and political data in the Jezira Tertiary Limestone Aquifer Transboundary System (JTLATS) between 2003 and 2017. The results indicate an increase in the groundwater depletion with the spread of drought in the region between 2007 and 2011 in both Syria and Iraq and with the onset of political instability and the control of ISIS over large areas of Syria and Iraq after 2011. The results also indicate that groundwater in Turkey was not affected by composite indexes in the management of transboundary aquifers, especially in light of climate change and the conflict over surface water sources; appears, by climatic changes much due to the availability of surface water.

**Ключевые слова:** *groundwater, depletion, composite index, drought, transboundary*

---

Groundwater is of particular importance in the Eastern Mediterranean region due to limited surface water resources and conflict over shared water sources. The costs of depleting groundwater are increasing due to the absence of the necessary tools to diagnose areas at risk of groundwater depletion, especially in the case of transboundary groundwater. In this study, a multidisciplinary composite index has been constructed to assess the vulnerability of groundwater to depletion in Jezira Tertiary Limestone Aquifer Transboundary System (JTLATS) based on remote sensing data and large databases. Five individual components were selected to build the depletion index: groundwater storage change, drought, food security, governance, and population density. These components were studied over three periods between 2003 and 2017. The first period, 2003–2007, was characterized by economic and social growth in Syria and Turkey and political instability in Iraq. The second phase, 2007–2011, was characterized by successive droughts, food, and a global economic crisis. The third phase, 2011–2017, was marked by political instability and the spread of terrorism in both Syria and Iraq.

After studying the individual components, their values were normalized, so that they could be weighed and aggregated into a non-dimensional composite index. The factor analysis method was used to weigh the individual components based on the ability of this method to remove the correlation between the individual components, as it is not possible to build a statistically meaningful composite index from interrelated components. After the weighing process, the components were aggregated to form the composite index using the additive linear aggregation method.

JTLATS is divided into five regions corresponding to very high, high, medium, low, and very low depletion vulnerability. The results showed an increase in the area with high depletion vulnerability in Syria from 41% during the period 2007–2011 to about 84% in the period 2011–2017 which indicates the significant impact of the state of political instability and the spread of terrorism on the depletion of groundwater in the region, while Turkey has maintained acceptable depletion rates, and this is mainly due to the availability of surface water.

The change in index values was analyzed between three periods, and the results showed a negative change in the entire study area when comparing the first and second periods and the first and third ones. While there was a positive change in the index values in Iraq and Turkey when comparing the second and third periods, Syria was affected by the continuation of the negative change in the depletion index,

where more than 78% of the aquifer area in Syria had a negative change. In general, drought conditions and the decline in governance indicators are the main reasons for the negative change in the depletion index in Syria and Iraq.

The index results portend a reality and a not good future for the region. The lack of a fair distribution of shared water resources has made Syria and Iraq highly dependent on groundwater to meet their various needs leading to the depletion of this important resource for the region's future, especially in light of climate change.

It is necessary to consider transboundary water resources in an integrated manner in terms of groundwater and surface water and take into account the transboundary effects of ground and surface water pollution. Failure to consider the need of the riparian countries for surface water by the upstream state increases the risk of groundwater depletion and the possibility of its contamination or the transmission of contamination from outside the borders. Therefore, we are facing a state of instability in the availability of surface water and depleted and contaminated groundwater in Syria and Iraq which increases the potential for conflict over water.

In the end, instability and tension in any neighboring country will bring instability to its neighbors, and political borders will not be able to stop the humanitarian crises. Therefore, water must be viewed as a human commodity that is not subject to political whims.

#### References

1. Adelaja A., George J., Miyahara T., Penar E. Food insecurity and terrorism // *Applied Economic Perspectives and Policy*. 2019. Vol. 41, iss. 3. P. 475–497. <https://doi.org/10.1093/aep/ppy021>
2. Al-Ansari N., Adamo N., Knutsson S., Laue J. Geopolitics of the Tigris and Euphrates basins // *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 8, iss. 3. P. 187–222.
3. Allan T. *The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy*. Bloomsbury Publishing, 2012. 408 p.
4. Aw-Hassan A., Rida F., Telleria R., Bruggeman A. The impact of food and agricultural policies on groundwater use in Syria // *Journal of Hydrology*. 2014. Vol. 513. P. 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.043>
5. Bryant F. B., Yarnold P. R. Principal-components Analysis and Exploratory and Confirmatory Factor Analysis // *Reading and understanding multivariate statistics* / G. Grimm, P. R. Yarnold (Eds). Washington, DC : American Psychological Association, 1995. P. 99–136.
6. Burdon D. J., Safadi C. Ras-el-ain: The great karst spring of Mesopotamia: An hydrogeological study // *Journal of Hydrology*. 1963. Vol. 1, iss. 1. P. 58–95. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(63\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(63)90033-7)
7. Central Bureau of Statistics in the Syrian Arab Republic. 2014. <http://cbssyr.sy/>
8. Chao N., Luo Z., Wang Z., Jin T. Retrieving groundwater depletion and drought in the Tigris–Euphrates Basin between 2003 and 2015 // *Groundwater*. 2018. Vol. 56, iss. 5. P. 770–782. <https://doi.org/10.1111/gwat.12611>
9. Choo E. U., Wedley W. C. Comparing fundamentals of additive and multiplicative aggregation in ratio scale multi-criteria decision making // *The Open Operational Research Journal*. 2008. Vol. 2. Art. no. TOORJ-2-1. <http://doi.org/10.2174/1874243200802010001>
10. Fraser C. M., Kalin R. M., Kanjaye M., Uka Z. A methodology to identify vulnerable transboundary aquifer hotspots for multi-scale groundwater management // *Water International*. 2020. Vol. 45, iss. 7–8. P. 865–883. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1832747>

11. Giordano M. Global groundwater? Issues and solutions // *Annual Review of Environment and Resources*. 2009. Vol. 34. P. 153–178. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.030308.100251>
12. Hamdi W., Jibrini H., Aslan A. Evaluation of the hydrogeological situation of the groundwater aquifer caused by creating urget wells in Aleppo City // *International Journal of Academic Scientific Research*. 2019. Vol. 7, iss. 2. P. 20–39.
13. Hillel D. *Rivers of Eden: The Struggle for Water and the Quest for Peace in the Middle East*. Oxford : Oxford University Press, 1994. 368 p.
14. IGRAC U. I. *Transboundary Aquifers of the World [map], 2015, Scale 1 : 50 000 000 / International Groundwater Resources Assessment Centre – IGRA*. URL: <https://iwrmaactionhub.org/resource/transboundary-aquifers-world-map-2021> (accessed: 06.11.2024).
15. Iraqi Ministry of Planning, Central Bureau of Statistics. 2020. <http://www.cosit.gov.iq/en/>
16. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide / OECD, European Union and European Commission, Joint Research Centre*. Paris : OECD publishing, 2008. 158 p. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
17. Joodaki G., Wahr J., Swenson S. Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations // *Water Resources Research*. 2014. Vol. 50, iss. 3. P. 2679–2692. <https://doi.org/10.1002/2013WR014633>
18. Kattan Z. Effects of sulphate reduction and geogenic CO<sub>2</sub> incorporation on the determination of <sup>14</sup>C groundwater ages—a case study of the Palaeogene groundwater system in north-eastern Syria // *Hydrogeology Journal*. 2002. Vol. 10, iss. 4. P. 495–508. <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0199-3>
19. Lezzaik K., Milewski A., Mullen J. The groundwater risk index: Development and application in the Middle East and North Africa region // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 628. P. 1149–1164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.066>
20. Manly B. F., Alberto J. A. N. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. 4<sup>th</sup> edition. London : Chapman and Hall/CRC, 2016. 269 p.
21. McCracken M. *Measuring Transboundary Water Cooperation: Options for Sustainable Development Goal Target 6.5*. Stockholm, Sweden : Global Water Partnership (GWP), 2017. 88 p.
22. Mohtadi S. Climate change and the Syrian uprising // *Bulletin of the Atomic Scientists*. 2012. 16 Aug. URL: <https://thebulletin.org/2012/08/climate-change-and-the-syrian-uprising/> (accessed: 06.11.2024).
23. Nam W. H., Hayes M. J., Svoboda M. D., Tadesse T., Wilhite D. A. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea // *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 160. P. 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>
24. NIC, *Global Water Security—Intelligence Community Assessment*, 2012.
25. Ostrom E. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. 298 p. <https://doi.org/10.1017/CB09780511807763>
26. Pacheco F. A. L., Landim P. M. B. Two-way regionalized classification of multivariate datasets and its application to the assessment of hydrodynamic dispersion // *Mathematical Geology*. 2005. Vol. 37, iss. 4. P. 393–417. <https://doi.org/10.1007/s11004-005-5955-1>

27. Paulo A. A., Rosa R. D., Pereira L. S. Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal // *Natural Hazards and Earth System Science*. 2012. Vol. 12, iss. 5. P. 1481–1491. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1481-2012>
28. Republic of Turkey Governorship of Istanbul, 2020. <http://en.istanbul.gov.tr/>
29. Rivera A., Candela L. Fifteen-year experiences of the internationally shared aquifer resources management initiative (ISARM) of UNESCO at the global scale // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2018. Vol. 20. P. 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.003>
30. Rodell M. et al. The global land data assimilation system // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2004. Vol. 85, iss. 3. P. 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
31. *Water in the Middle East: Potential for Conflicts and Prospects for Cooperation* / W. Scheumann, M. Schiffler (Eds). Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer, 1998. 190 p.
32. Unit E. I. Global food security index. The Economist Intelligence Unit. Retrieved from <http://foodsecurityindex.eiu.com>, 2012.
33. World Bank. World Development Indicators database, edited. Washington DC, USA.

UDC 502.52(23):502.13

## Mountain ecosystem services need landscape planning and decision-making on the regional slope

Istanbuly M. N.

University of Aleppo, Aleppo, Syria

✉ [istanbuly@alepuniv.edu.sy](mailto:istanbuly@alepuniv.edu.sy)

Mountain ecosystems provide essential services, such as water regulation, soil retention, carbon sequestration, and biodiversity conservation, which are crucial for human well-being and environmental health. However, these services are increasingly threatened by urbanization, climate change, and landscape modifications. Ecosystems with mountainous characters have a high degree of susceptibility and sensitivity. On the other hand, the development process significantly alters landscape structure and functionality leading to increased land and ecosystem degradation. Moreover, the structure of the landscape, which includes composition, configuration, and connectivity, functions the ecosystem services. Effective landscape planning and decision-making at the regional level are essential to ensure the continued provision of these ecosystem services. This review article highlights the importance of urban landscape configuration in hydrological ecosystem services, the role of forest patch shapes in soil retention services, and the impact of socio-economic factors and landscape composition on soil erosion regulation. It also emphasizes the utility of landscape metrics in the environmental impact assessment process and terrestrial ecosystems susceptibility and sensitivity assessment. By integrating these factors into regional landscape planning, we can develop strategies to preserve and enhance the vital services provided by mountain ecosystems.

**Keywords:** *spatial structure, climate change, socio-economic drivers, landscape metrics*

**Introduction.** Mountain ecosystems deliver numerous services vital to human and environmental sustainability, such as water regulation, soil retention, and carbon storage. However, these ecosystems face threats from rapid urbanization, climate change, and unsustainable land-use practices. Due to their intrinsic fragility and sensitivity, mountain landscapes require robust regional-scale planning to ensure their functionality and resilience.

The study establishes a strong link between the functionality of mountain ecosystems and the role of strategic planning. Mountain landscapes are highly sensitive to degradation due to their steep slopes, fragile soils, and variable climates. Urban expansion, deforestation, and land-use changes exacerbate these vulnerabilities.

The review study highlights the importance of effective landscape planning in maintaining ecosystem functionality in mountain regions. Hydrological services, such as runoff regulation, are critical in mountain regions. Forest patch dynamics, including shape and connectivity, are shown to mitigate soil erosion effectively in mountainous catchments, emphasizing their importance in soil retention. The study connects socio-economic factors, such as population density and economic activity, with ecosystem services. In Polish catchments, economic development was found to reduce soil erosion rates illustrating the need for integrated planning that considers both ecological and human systems.

**Materials and methods.** This review synthesizes findings from multiple research articles to evaluate the interaction between mountainous ecosystems, landscape structures, and the provision of ecosystem services. Articles were selected based on their relevance to hydrological services, soil retention, and landscape metrics.

The key methods and tools employed in these studies include:

**1. Hydrological services.** Studies utilized models like i-Tree Eco and FRAGSTATS to assess the role of urban trees in runoff regulation focusing on metrics, such as normalized landscape shape index and aggregation index [1].

**2. Soil retention.** Research in Polish catchments applied generalized additive models to analyze forest patch configurations and their influence on soil erosion [2].

**3. Socio-economic drivers.** Socio-economic impacts on soil erosion were explored using statistical analyses linking population density and GDP to land degradation rates [6].

**4. Landscape metrics.** Metrics, such as the shape index, perimeter-area ratio, and contiguity index, were evaluated for their predictive power in assessing land degradation in Iranian landscapes [4 ; 5].

The results from these studies were integrated to highlight the importance of landscape planning at the regional level in preserving mountain ecosystem services.

**Key findings and discussions. 1. Hydrological ecosystem services and urban landscapes.** Urbanization disrupts hydrological cycles by increasing impervious surfaces, reducing water infiltration, and exacerbating surface runoff. This often results in local flooding and environmental degradation. Studies in Tabriz, Iran, using tools like the i-Tree Eco model and FRAGSTATS metrics, demonstrate that urban trees mitigate runoff significantly. Metrics, such as landscape shape index and aggregation index, influence runoff reduction [1]. These findings underscore the need for urban planners to prioritize compact and contiguous green spaces to optimize hydrological services.

**2. Forest patch shapes and soil retention services.** Forests play a crucial role in preventing soil erosion and maintaining soil health. Research on Polish catchments reveals that the shape and configuration of forest patches influence soil retention. Metrics like shape index and perimeter–area ratio correlate with soil erosion rates providing actionable insights for sustainable forest management [2].

**3. Socio-economic factors in soil erosion regulation.** Socio-economic drivers, including population density and income levels, indirectly affect soil erosion by influencing land use. For example, increased economic development in Polish catchments was linked to reduced soil erosion rates. This highlights the necessity of integrating socio-economic considerations into landscape planning to enhance ecosystem services [3 ; 6].

**4. Using landscape metrics for environmental impact assessments.** Quantitative landscape metrics offer a robust framework for evaluating environmental impacts and ecological vulnerabilities. For instance, studies in Guilan province, Iran, demonstrate how these metrics predict land degradation and ecological sensitivity. The shape, connectivity, and regularity of landscape patches significantly affect ecosystem susceptibility emphasizing the value of such tools in environmental planning [4 ; 5].

**Conclusion.** Mountain ecosystems provide indispensable services that are increasingly threatened by human activities and climate change. This article emphasizes the critical role of regional landscape planning in preserving these services. Incorporating landscape configuration, forest structure, socio-economic factors, and advanced metrics into planning frameworks can mitigate risks and support the sustainability of mountain ecosystems. Strategic decision-making at regional levels is essential to secure the long-term benefits of these vital ecosystems.

#### References

1. Amini Parsa V., Istanbuly M. N., Chalabiyani B., Russo A., Jabbarian Amiri B. The role of urban landscape configuration in the provision of hydrological ecosystem services by trees // *Ecosystem Services*. 2024. Vol. 69. Art. no. 101657 (16 p.). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101657>
2. Istanbuly M. N., Binesh A., Jabbarian Amiri D., Amini Parsa V., Jabbarian Amiri B. Unveiling the threshold in forest patch shapes to soil retention ecosystem services // *Journal of Environmental Management*. Vol. 2024. Vol. 368. Art. no. 122188 (12 p.). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122188>
3. Istanbuly M. N., Dostál T., Jabbarian Amiri B. Modeling the soil erosion regulation ecosystem services of the landscape in Polish catchments // *Water*. 2021. Vol. 13, iss. 22. Art. no. 3274 (13 p.). <https://doi.org/10.3390/w13223274>
4. Istanbuly M. N., Jabbarian Amiri B., Kaboli M. Applying landscape metrics to revise land degradation model for assessing environmental impacts // *Journal of Natural Environment*. 2021. Vol. 74, iss. 1. P. 195–207. <https://doi.org/10.22059/jne.2021.304417.2008>

5. Istanbuly M. N., Kaboli M., Ahmadi S., Tian G., Michalak M., Amiri B. J. Landscape metrics explain the ecological susceptibility of terrestrial ecosystems // *Landscape Online*. 2022. Vol. 97. Art. no. 1101 (17 p.). <https://doi.org/10.3097/L0.2022.1101>
6. Istanbuly M. N., Krása J., Jabbarian Amiri B. How socio-economic drivers explain landscape soil erosion regulation services in Polish catchments // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, iss. 4. Art. no. 2372 (13 p.). <https://doi.org/10.3390/ijerph19042372>

UDC 502.1(234.12.046)

## Val de Toran 2024: An overview of current environment

Krykhtine F. P.<sup>1</sup>, Olanrewaju O. A.<sup>2</sup>, Seyam M.<sup>2</sup>, and Mora-Camino F.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>2</sup>Durban University of Technology, Durban, South Africa

<sup>3</sup>Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brazil

✉ [krykhtine@poli.ufrj.br](mailto:krykhtine@poli.ufrj.br)

This paper presents an overview of the natural and human environment of a small Pyrenean valley, the Val de Toran valley, with the objective not only of assessing its current situation and its perspectives, but also of pointing out key issues for its sustainability and territorial balance.

**Keywords:** *mountain river basins, spatial structure, landscapes of mountain river basins, anthropogenic structures, wildlife*

---

**Introduction.** The research objective of our multidisciplinary and intercontinental team is to develop new methods and tools to both facilitate and make environmental management more effective at the local level. Considering the multitude of factors interacting in the formation of the natural and human environment, also considering the volume of data to be analyzed, the variability and the uncertainty inherent in them, it seems useful to us to research, beyond the classical techniques of analysis and forecasting, new approaches from, among other things and mainly, Artificial Intelligence. Given the moderate size of our study area, the Val de Toran valley, and our special knowledge of it, we decided to use it, not as a laboratory, but rather as a source of inspiration in our scientific quest. The first stage of our applied research, the result of which is presented here, will therefore consist of recognizing the human and natural space which will serve us as a reference and a source of inspiration. This is what we try to do, in a modest but systematic approach, in this communication. Thus, we will successively analyze in this paper, for this small Pyrenean mountain valley, its physical, natural life, and human dimensions. In the conclusion, a first diagnostic will be established to point out the main issues to be considered in the next stages of our research towards the building of tools for an effective environmental management of small mountain valleys.

**1. The physical environment.** The Pyrenees mountains constitute the natural border between Spain and France from the Mediterranean Sea to the Atlantic Ocean. Their northern slope is made up of dozens of valleys oriented from south to north. Only one of these, the Val d'Aran belongs to Spain and is located in a central position, opening a passage to the Garonne River which, through Toulouse and Bordeaux, will open into the Atlantic Ocean. The glacial past of these valleys has left lateral valleys on their sides, ancient glacial tongues, perched above the main valleys: the aerial valleys. The last of them in the Val d'Aran before the French border is a small little-known valley, the Val de Toran valley. Studying the geocology of this valley is not only to try to understand the situations of all its Pyrenean twin sisters, but it is also to immerse ourselves in a very particular human history and natural environment.

**1.1. The Val de Toran valley.** The Val de Toran valley coincides with the territory of the municipality of Canejan and covers 49 km<sup>2</sup>. It is located at the North exit of Val d'Aran, in the sub-region called Baish Aran. It opens to the west onto the valley of the Garonne River and is limited to the north by the Tucs and Caps ranges at the French border, to the east by the Lliat plateau, located at an altitude of more than 2000 m, and to the south by the peak of Montludé and the Sascorjada chain. Fig. 1 provides a topographic map of the Val de Toran and its surroundings. The north of the Toran Valley is composed of sedimentary rocks resulting in a smooth relief, while the south and east of the valley are composed of metamorphic and igneous rocks, interspersed with faults and resulting in a typical alpine landscape [1]. The glacial past is evident in the eastern periglacial zone, where glacial abrasion has left a string of lakes, to the southern ridge by the presence of a series of rugged glacial cirques and at the bottom of the valley by morainic deposits sheared by the Toran River [4 ; 5].

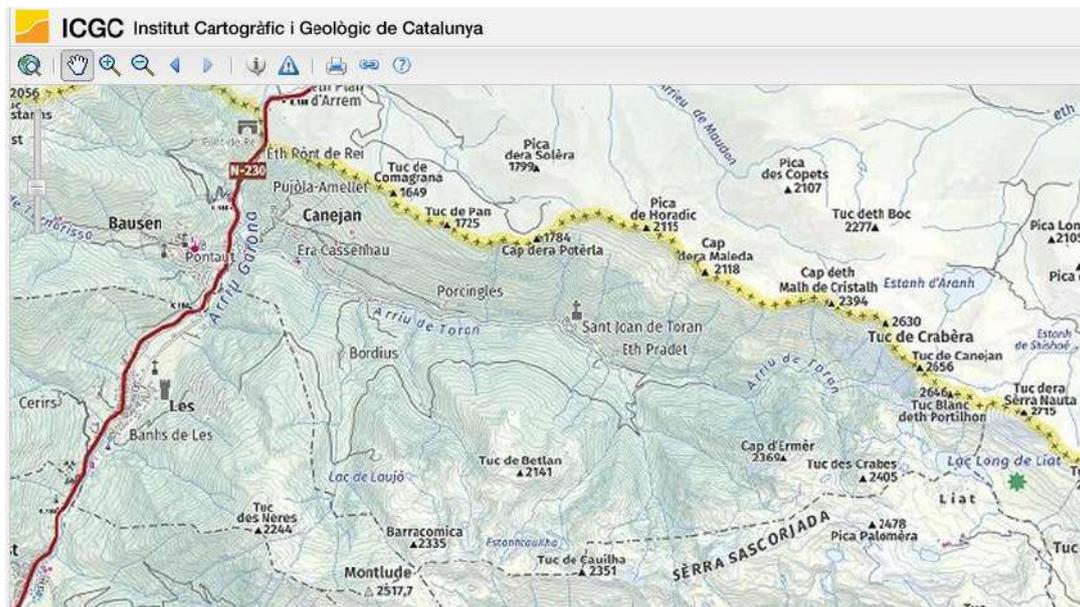


Fig. 1. Topographic map of the Val de Toran (source: ICGC)

**1.2. The climate.** The valley of Toran has a medium to high mountain oceanic climate, with high humidity and regular rainfalls throughout the year (about  $1,200 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ ). The average temperature in Canejan which is south exposed is  $+6$  to  $+10$  °C with an average range of  $+13$  °C. Winters are rather cold, and summers are cool. Strong and more frequent rains occur in spring and autumn. These temperatures and precipitation vary greatly with altitude and orientation to the sun. In winter, precipitations are mainly in the form of snow, with an average shade snow on the ground limit altitude of 800 m. In March, there is a surge of water in the valley with the melting of snow, marking the start of spring. Then, sudden strong rains and snow melting can result in floods. The steep slopes all along the valley ease land failures and snow avalanches.

**1.3. The river system.** The river system of Val de Toran valley is entirely based on the Toran River which is its main watercourse; this can justify the name of this valley. The Toran River is 13 km long and runs all along the valley. The Toran River is born at an altitude of 2,250 m at Lake Potz and runs down the valley from east to west. After 2 km of running, the river bed is at an altitude of 1,100 m; then, over the next 10 km, it loses 400 m of altitude with a final descent of 1 km to the altitude of 600 m, where it flows into the Garonne River. Over the first kilometer, the bed of the river meanders on the periglacial plateau, then sinks into narrow canons (Emer's Gorges) to reach the flat bottom of the valley at the level of the Era Honeria refuge. The valley remains relatively wide for 2 km, then narrows more and more between the slopes of the two mountains that surround it, until reaching the hydroelectric dam of Sant Joan de Toran. The last kilometer of the river follows a chaotic route between the remains of a moraine. Along its course, the river receives numerous tributaries with fresh and in general clean water. On its right bank, these are shorter and have a lower flow rate (Barranc deth Cap deth Pish, Barranc des Gotérs, Era Coma Laueth). On its left bank, there are real torrents with higher flow rates and which have dug secondary valleys (Gotér de Comatroia, Gotér d'Arbaeth, Gotér d'Ogaruda, Gother Basé, and Arriu Burdius). Downstream of the valley, a dam supplies a mini hydroelectric power station. The downstream flow of the river varies from  $2$  to  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**2. The life in Val de Toran. 2.1. The vegetation.** The Val de Toran valley is covered by forests (55%), shrub and/or herbaceous vegetation (25%), open spaces with little vegetation (15%), agricultural areas (2%), and meadows (3%). The north- and west-orientated slopes of the mountains – between 1,000 and 2,000 m – are covered with dense forests. In the lower altitude areas, Scots pine, firs, oaks, chestnut trees, cherries, and beeches grow, which give way to firs and black pines in the higher altitude areas. Above the forest zone, there are alpine meadows.

**2.2. The wildlife.** The wild fauna is very diverse: deer, wild boars, marmots, field mice, passerines, cuckoos, owls, birds of prey, snakes, salamanders, and trouts in cool water streams. The populations of deer and wild boar have increased significantly in recent decades, and their interaction with humans is becoming more and more frequent. In recent years, the brown bear has crossed the French border and made a not always discreet appearance in the wooded areas of the valley. The presence of herbivorous, omnivorous, or carnivorous mammals can be detected by their footprints and droppings. A large part of the Val d'Aran has been declared natural protected area by the European Community (Natura 2000 Program [9]). In 2024, the Val d'Aran has been declared UNESCO Biosphere Reserve.

**2.3. Human population in the Val de Toran.** The origin of Canejan is a Roman camp 2,000 years ago, installed in a promontory which constituted an important strategic point to observe the movements in the Garonne valley just below. Several sources of drinking water are located there and supply the population of the village until today. The southern exposure makes the winters to be relatively mild, while the mountain against which the village is backed protects it from the winds coming from the north. In 1900, the population of the Val de Toran was composed of 637 people; in 1950, it was only composed of 310 people. This population was reduced to 97 people in 1990, and since then, over the last 30 years, it has remained around this number. In the Val d'Aran and in particular in the Val de Toran, housing is grouped into very compact complexes. Today, 80% of the population is thus concentrated in Canejan. The remaining of the population is spread across few micro hamlets along the bottom of the valley: Sant Joan de Toran (3 permanent inhabitants), Pontaut (3 inhabitants), Pradet (7 inhabitants), and Porcingles (1 inhabitant). In these hamlets, many houses in the Valley (55% of the total) are second homes partially occupied during holidays and summer time. The Hamlet of Burdius (4 inhabitants) placed in a pasture area above the forest, which was completely uninhabited since 2005, has seen recently the installation of two families. While official population density is over 320 in Canejan village, it is less than 0.5 *per* km<sup>2</sup> for the rest of the valley. The composition by age of the population in Canejan is as follows: 11 children under 15; 64 persons between 15 and 65; 18 persons between 65 and 80; and 7 above 80 years. The expectation of life is 82 years for men and 86 for women.

**2.4. Accessibility and mobility.** The access road to Canejan from Pontaut climbs 309 m in 5.9 km, it is built on two steep mountainsides and is heavily damaged each winter by rains, melting snow, and landslides, requiring permanent heavy maintenance work. In order to ensure access to the village during winter, a snow plough is in permanent operation during the day on the Pontaut–Canejan section. A partly paved road, distorted by winter and by bad weather, allows to reach Porcingles, Sant Joan de Toran, Pradet, and Era Honeria upwards along the Toran River. With a decrease in forestry activity, the forest roads used formerly to transport wood have been left abandoned, with the exception of the path which connects Era Honeria with the village of Les through Burdius (20 km with 70% at an altitude of 1,300 m). Several trails from Canejan cross almost horizontally the northern side of the valley allowing to reach easily the hamlets located upstream. On the southern flank, successive trails go directly into the forest and face significant drops. The garbage collection service in Canejan is organized by the Conselh Gerau d'Aran. It has recently been reorganized: garbage collection is done door to door with containers placed in certain locations. There is no dump in the valley; a first dump is located in Bossost, 13 km from Canejan, and a treatment station is located in Vielha, the capital of the Val d'Aran. There is virtually no litter on public roads and surrounding areas in the Val de Toran valley. The garbage collection tax is around 125€ *per* year and *per* household.

**2.5. The economy of Val de Toran.** For a long time, the Aranese economy has been based on livestock farming (cows, horses, and sheep) and forestry. From spring to autumn, the few remaining herds of cows and horses are let loose freely in the meadows and pastures scattered between the forests between 800 and 1,600 m above sea level. The cow of the Pyrenees is resistant to the difficult climate (sudden snowfalls, strong rains, fog, and cool nights) and is able to circulate safely through forests, steep slopes, and ravines. The flocks of sheep are brought to graze on the sunny northern slope of the Val d'Aran, near the French border, or on the eastern lake area at higher altitude. The level of these activities is largely reduced with the strong decline of the population in the last century. As agricultural activity is extremely limited in this valley, there is practically no use of chemicals. During the last century, many agro-pastoral units have disappeared, and their space has been reclaimed by nature with the expansion of moors

and forests leaving some ruins eaten away by humidity. The mining activity (iron, lead, zinc, and silver), flourishing in the XIX century, completely ceased in the middle of the XX century with the dismantling of the mining installations (mining camp in the Lliat plateau at the end of the valley, cable car crossing the entire Toran valley, iron foundry of Era Honeria, and ore washing station at the mouth of the Val de Toran) [3]. The municipality of Canejan get royalties from small hydropower plants of Sant Joan de Toran and of the Pont de Rei, this one on the Garona River. The municipality has no public debt. The mean declared fiscal annual revenue in Canejan in 2023 is about 18,600€ which is slightly lower than the Spanish average (20,000€), itself slightly lower than the European average (22,000€).

**2.6. Culture and tourism.** Today, a moderate level of tourism in summer strengthens the economy of the Val de Toran, with a few restaurants and guest houses in Canejan, Sant Joan de Toran, Pradet, and the Honeria refuge. Some residents of Canejan, who abandoned agro-pastoral activities, retrained in service activities (supermarket agents, gas stations, restaurants, hotels, and clothing and souvenir shops) in the neighboring villages (Les and Bossost) which are located along the N230 Spanish national road. This road brings to the Val d’Aran, all over the year, streams of tourists coming from France. The majority of these tourists ignore the first left junction at Pontaut which leads to the Val de Toran and rush towards the tobacco and alcohol stores, as well as gas stations located further south in the Val d’Aran.

Many trail races take place in the Val d’Aran during summer and use some of the many footpaths present in the Val de Toran. This is an opportunity for the organizers to restore forgotten and little-used trails and paths. Hunting and fishing are regulated activities in the Val d’Aran and are restricted to duly authorized local population with limited quotas by the society of hunting and fishing of the Val d’Aran (CPSA). Inhabitants of Canejan and neighbor villages (Les and Bossost) usually practice deer and wild boar hunting in these terms. This activity has diminished among local inhabitants, but hunting facilities are offered to other Aran people (refuge of Era Honeria). The game population has increased at a higher rate in recent years. Two major annual events bring together the inhabitants of Canejan with those of the rest of Baish Aran: in June, the feast of Saint John with the burning of a fir trunk taken from the surrounding forests, and in September, the livestock fair of Les (about 1000 inhabitants), the next village upwards in the main Val d’Aran valley.

**Conclusion.** From the above presentation, it appears that for 30 years, the population of the Val d’Aran has adapted to a situation in which she has become a marginal manager of a natural environment which is gradually regaining its territory. The standard of living of the remaining inhabitants of the valley has stabilized and then gradually improved, following the general trend in Spain, resulting in a quality of life that can be recognized as excellent. One of the biggest problems facing the population of Val de Toran is its declining demography which does not ensure its maintenance or renewal without external contributions.

Regarding nature, faced with the deficit of human presence in the Val de Toran, we are witnessing a renewal of it with the progressive re-appropriation of its original space. The main consequence of this is an increase that can be unbearable of populations of its wild species, endemic or not in the Val d’Aran. Territorial balance will lead to reshaping this natural space in order to allow man to enjoy it without disturbing noticeably wildlife. Regarding the limitation of species to acceptable levels, hunting zones placed between areas of permanent human habitat and sanctuaries areas could be demarcated. The excess population of these species venturing into these hunting zones would then be at the mercy of hunters, while the process of natural evolution of the populations of these species would continue in the sanctuary areas. This implies having appropriate assessment and design tools. Wilderness indices [12 ; 13] have been used for a few years in large areas with the objective of demarcating protected areas. The Val d’Aran space and, more particularly, the one of the Val de Toran is of reduced dimensions; it will be a question of adapting this concept and its measures to the micro structures encountered in this valley.

Various tools of Artificial Intelligence, such as Fuzzy Logic [8 ; 13] associated with detailed information of a fine mesh of a GIS would make it possible to establish pertinent wilderness maps. The effective follow-up of the ongoing re-wilderness process will allow its effective monitoring [10 ; 15]. These same techniques should also make it possible to better delimit different environmental protection zones [2 ; 6]. Regarding the effects of global warming, as well as the impact of soils, on natural disasters (avalanches and floods) for a mini mountain valley like the Val de Toran, at the local scale, analysis tools and diagnosis based

on Artificial Intelligence techniques can also be developed to manage natural risk (floods, avalanches, and even bush fires) [7 ; 11]. This, of course, complements the tools already available from the environmental protection services of the Val d’Aran.

*The authors would like to thank the municipality of Canejan (Juan Carlos Lastera, mayor of Canejan, and Myriam Boya, town hall secretary) for their precious help and availability during this study.*

#### References

1. Besset Y., Genna A. Miei Fisic dera Val d’Aran, Geologia / Institut d’Estudis Aranese, Academia Aranesa dera Lengua Occitana ; Socasau J. L. S. Aran o Val d’Aran? Lleida, Spain : Arts Gràfiques Bobalà, 2023. 84 p.
2. Biber P., Schwaiger F., Poschenrieder W., Pretzsch H. A Fuzzy Logic–based approach for evaluating forest ecosystem service provision and biodiversity applied to a case study landscape in Southern Germany // European Journal of Forest Research. 2021. Vol. 140. P. 1559–1586. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01418-4>
3. Calzada D. Minas del Valle de Arán: explorando su Geología y Legado Histórico. 2023. URL: <https://aranmap.com/minas-del-valle-de-aran/>
4. Fernandes M. Evolução Geomorfológica desde a Última Glaciação no Alto Vale do Rio Garona (Pirineus Centrais). PhD thesis / Lisbon University. Lisbon, 2016. 136 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31718.42569>
5. Fernandes M., Oliva M., Vieira G., Lopes L. Geomorphology of the Aran Valley (Upper Garonne Basin, Central Pyrenees) // Journal of Maps. 2022. Vol. 18, no. 2. P. 219–231. <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2035266>
6. Krykhtine F. P., Cosenza C. A. N., Olanrewaju O. A., Mora-Camino F. Fuzzy dual parameter sensitivity analysis of ecosystems. 2024. The XXVIII International Scientific and Practical Conference, 27–29 June, 2024. Saint Petersburg.
7. Krykhtine F. P., Cosenza C. A. N., Olanrewaju O. A., Lima de Carvalho R., Mora-Camino F. A fuzzy multi criteria decision framework for environment planning // Study of Aquatic and Terrestrial Ecosystems: History and Modernity : book of abstracts of the 3<sup>rd</sup> International Scientific and Practical Conference, 2–7 September, 2024, Sevastopol, Russian Federation. Sevastopol : IBSS, 2024. P. 310–318.
8. Mora-Camino F., Cosenza C. A. N. Fuzzy-Dual Numbers: Theory and Applications. Cham, Switzerland : Springer, 2018. 62 p. (Studies in Fuzziness and Soft Computing ; vol. 359). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65418-8>
9. Natura 2000 Program. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/natura-2000>
10. Plutzer C., Hejjas F., Zika M., Kholer B. Linking the Wilderness Continuum concept to protected areas // The 5<sup>th</sup> Symposium for Research in Protected Areas, 10–12 June, 2013 : proceedings. Mittersill, Austria, 2013. P. 587–590.
11. Prato T. Adaptively managing wildlife for climate change: A Fuzzy Logic approach // Environment Management. 2011. Vol. 48. P. 142–149. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9648-x>
12. Radford S. L., Senn J., Kienast F. Indicator-based assessment of wilderness quality in mountain landscapes // Ecological Indicators. 2019. Vol. 97. P. 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.054>
13. Silvert W. Fuzzy indices of environmental conditions // Ecological Modelling. 2000. Vol. 130. P. 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00204-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00204-0)

14. Strus I., Carver S. Developing a Wilderness Quality Index for continental Europe // Land. 2024. Vol. 13, iss. 4. Art. no. 428 (15 p.). <https://doi.org/10.3390/land13040428>
15. Zoderer B. M., Marsoner T., Tasser E. Protecting wilderness or rewilding? An ecoregion-based approach to identifying priority areas for the protection and restoration of natural processes for biodiversity conservation // Journal of Nature Conservation. 2024. Vol. 81. Art. no. 126661 (15 p.). <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126661>

UDC 556.3:550.83

## **Using remote sensing techniques and geographic information systems to determine sectors of groundwater potential zones**

**Salama M.<sup>1</sup> and Al-Ibrahim T.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Water Resources Engineering and Management, Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria

<sup>2</sup>Department of Water Resources Engineering and Management, Civil Engineering, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria

✉ [salameh.maan@hotmail.com](mailto:salameh.maan@hotmail.com)

Scientific progress and the widespread use of technology in various aspects of daily life have driven the creation of new tools in scientific research methodology contributing precisely to decision-making and predictions in the field of water studies. These decisions lead to reducing costs and time, especially in studies related to identifying sectors of groundwater resources that are of great importance in protecting and managing groundwater systems in the investigated area. Groundwater is a key source of water supply, because its chemical and microbiological quality specifications are usually better than those of surface water. The increasing rate of groundwater pumping due to the growth of the population accompanied by industrial and agricultural development and the growth of technological capabilities that negatively affect the environment both resulted in the emergence of competition over water uses and caused pollution. Studies have shown that integrated management between remote sensing and geographic information systems, along with all the information and observations collected through field surveys, is one of the most significant and effective methods in this field. This is done by applying analytical methods for various satellite visualizations, digital modeling processes, and advanced techniques based mainly on computer operations and programming to extract a set of important diagrams which, in its turn, lead to an in-depth understanding of the nature of the water system in the investigated area. The ability to make right decisions at the right time is closely linked to the availability of quantitative and qualitative information and its reliability; all relevant studies rely on weighting and giving weights related to the size of the contribution of each factor. What distinguishes most previous studies is their reliance on experience in determining the weight of each factor individually. However, the development of software and decision-making techniques allowed the introduction of the combined effect of the weights of the most important actors within a system of mathematical matrices. The hierarchical analysis algorithm is one of the multi-criteria decision-making methods widely applied in the field of water resources and environmental management. It provides an integrated logical mathematical framework for solving multi-criteria decision-making problems by collecting effective influential elements within a hierarchical structure. Weighting matrix was obtained in the study area for the factors affecting groundwater recharge (faults, drainages, slope, geological structures, and rainfall) derived from double comparison matrices of 25 experts using the auxiliary tools, in particular the decision-making tools. Thus, the weights were determined in study area as: rainfall, 21%; slope, 15%; geology, 24%; lineaments and faults, 22%; and drainages, 18%. The final plan for the distribution of groundwater potential sectors in the study area was obtained; the plan was divided into three sectors in terms of groundwater potential sectors (good – medium – poor). The mathematical model of the weighting matrix is one of the most important applied results achieving accuracy in determining zones of groundwater potential, it is suitable for generalizing it to the study of zones similar to the investigated area and monitoring.

---

Scientific progress and the widespread use of technology in various aspects of daily life have led to the creation of new tools in scientific research methodology that contribute accurately to decision-making and predictions in the field of water studies. These decisions lead to reducing costs and time, especially in studies related to identifying sectors of groundwater resources that are of great significance in protecting and managing groundwater systems in the analyzed area. Groundwater is an important source of water supply, as it has chemical and microbiological quality specifications that are usually better than those of surface water. Thus, we avoid the additional financial burden of water treatment, and because it is naturally stored, it eliminates the need for expensive surface water storage methods, in addition to its wide distribution which facilitates development near the demand site. In the past, human demand for water was small in relation to its available sources, and his technological capabilities at that time had little impact on the environment; therefore, there was no problem in meeting water needs for various uses. But with the increasing rate of groundwater pumping due to the noticeable growth of the population, accompanied by industrial and agricultural development, and the growth of technological capabilities that

negatively affect the environment, all of them led to the emergence of competition over water uses and caused pollution. Hence, the worsening water problem is one of the most important challenges of this century, making its management and proper investment a priority of concern for peoples and governments. Studies have shown that integrated management between remote sensing and geographic information systems, along with all the information and observations collected *via* field surveys, is one of the key and effective methods in this field. This is done by applying analytical methods for various satellite visualizations, digital modeling processes, and advanced techniques based mainly on computer operations and programming to extract a set of important diagrams which, in turn, lead to an in-depth understanding of the nature of the water system in the area investigated and then provide specialists with the necessary information to guide exploration of water resources.

The ability to make right decisions at the right time is closely linked to the availability of quantitative and qualitative information and the reliability of that information. Information technology has powerful elements that can change the way institutions work, support decision-making, provide services, develop means, and give guaranteed quick results at a lower cost and shorten time, in addition to easy access to data and information exchange. Hence, the availability of an integrated information system, such as geographic information systems, is important to facilitate analysis processes, formulate proposed alternatives, develop capabilities in the field of research and management, assist in decision-making, evaluate current conditions, and develop future plans. Geographic information systems have wide and great capabilities that allow storing huge amounts of information and then investing it optimally, exchanging it, and processing it to enable research to find the best solutions and make the best decisions, whether from economic, humanitarian, or environmental aspects. These systems must be provided with documented and accurate data and updated continuing to be invested optimally.

Remote sensing applications must also be taken advantage of because of their importance in several major fields, including geological, hydrogeological, and hydrological studies, agricultural and vegetation studies, urban studies, comprehensive regional planning, well detection, and monitoring of climate changes and weather conditions, in addition to environmental studies. Therefore, taking advantage of remote sensing data is a key method when carrying out groundwater development projects – by integrating remote sensing data with various programs used for groundwater management or using it as a complementary means with other methods of investigation and exploration. The hydrogeological studies carried out by the General Authority for Sensing in the Syrian Arab Republic using remote sensing techniques and the techniques supporting them have proven the high accuracy of the results in addition to the speed of obtaining them at a lower cost and modest effort. The use of advanced equipment and modern programs has helped to implement modern studies for some basins, aquifers, and areas threatened by depletion of their groundwater aquifers; several studies have been carried out with the aim of developing water resources, using appropriate mathematical models for those areas, which ensure their protection from depletion. The use of remote sensing is particularly useful in areas with limestone geological formations and in sites with hard rocks. There are geological fractures, such as faults, folds, fissures, and caves. In such cases, we choose the best location for groundwater wells from studying the linear phenomena and features that are observed in aerial photographs and satellite images, as these features represent areas of fissures and faults or represent any other important hydrogeological features, such as lithological and hydraulic boundaries of the aquifer. Notably, not all cracks and fissures represent permeable areas, as some crack areas are filled with poorly permeable clay materials deposited due to weathering factors or thermal changes in rocks. Therefore, determining linear divisions by interpreting satellite images or aerial photographs must always be followed by other investigations, such as field reconnaissance or geophysical survey.

There is the variation in factors affecting the formation of water fields in terms of their contribution to groundwater recharge and the difference in this contribution from one region to another. In order to ensure accuracy in making any decision related to determining areas of groundwater hope, all relevant studies rely on weighting and giving weights related to the size of the contribution of each factor. What distinguishes most previous studies is their reliance on experience in determining the weight of each factor individually. But the development of software and decision-making techniques allowed the introduction of the combined effect of the weights of the most important actors within a system of mathematical matrices.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremely	Very strongly	Strongly	Moderate	Equally	Moderate	Strongly	Very strongly	Extremely
Less important $\Leftarrow$				Equal	$\Rightarrow$ More important			
(2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8) It can be used when there are more categories.								
Source: Saaty, 1980.								

Table 1. Weight values according to Saaty

The hierarchical analysis algorithm is one of the multi-criteria decision-making methods widely applied in the field of water resources and environmental management. It provides an integrated logical mathematical framework for solving multi-criteria decision-making problems by collecting effective influential elements within a hierarchical structure. Working in this way allows decision-making groups at different levels to participate in the evaluation through the process of bilateral comparison which is summed up by the possibility of comparing the importance of any two elements of the same level with respect to an element at the higher level – and so on for the rest of the elements and for any level. The elements in this method are compared according to Saaty’s priority scale from 1 to 9, as shown in Table 1 which provides the weight evaluation of each criterion according to its importance, where the value 9 indicates the highest importance while the value 1 shows the least importance for each criterion.

Numerical points are allocated to each element according to its importance in achieving the goal of the model based on a number of experiences. Therefore, binary comparisons constitute the input in this method, while the weights (relative importance) of the criteria are the output. The criteria base (factors) must have some features to adequately represent the multi-criteria nature of the decision-making issue. These criteria must be logically interconnected, comprehensively encompass the issue in the sense that no important factor is neglected, and not include redundant (duplicate) criteria effect; it should be minimal in light of these conditions and the data available in the study area; and the weight values are calculated according to the hierarchical analysis method from the paired comparison matrix PCMS which is formed based on the opinions of experts who are selected based on their knowledge of the study area in the field of hydrology, geology, and hydrogeology. They were interviewed individually to provide an importance value within the range 1–9 for each influential measure, and the evaluation of the expert’s opinion was expressed using the relevant paired comparison matrix, which includes determining the judgment errors of the expert’s opinion by testing the consistency ratio (CR) which must be less than or equal to 0.1, which indicates that the experts’ opinions were consistent; if CR is higher than 0.1, the experts should correct (adjust) the proposed weights. To represent all expert opinions and use the relationship between them, the arithmetic average was relied upon which is usually considered preferable for evaluating different expert opinions. A modeling tool for the proposed mathematical system was also developed within the Geographic Information System software environment to formulate the weights of factors according to the degree of their influence in shaping the sectors of groundwater potential zones. Using Model builder in the Geographic Information System software environment, a model was created for the sites of groundwater potential zones. By using Model builder in the Geographic Information System program environment, a model of groundwater hope sites was created. Model builder is one of important applications that we use to create, edit, and manage models in the Geographic Information System program by allocating input parameters for the model so that it can be applied to different areas using input data different so that form users can simply enter their transactions in their area. A model was presented using Model builder within the Geographic Information System program to determine the sectors of groundwater potential zones to reach a situation that can be applied in any area by entering its data. The study area is characterized by a moderate, semi-arid climate and the spread of plains and plateaus of different heights. In general, the region tends to decline from the south and west towards the north and east, where the geographical extension is determined between latitudes N34°24' and N34°22' and longitudes E36°46' and E36°31'. Cretaceous, Paleogene, and Neogene deposits are also widespread in the region. The region is characterized by many fractures and faults, most of which are transverse, extending in a west–east direction and, to a lesser extent, in a north–south direction,

where they deviate slightly northward toward the east. These faults have an impact on the movement of groundwater in the region. Based on the above and the distribution of rainfall, the eastern Lebanon mountain range constitutes the primary source of nourishment for the water carrier in the Upper Cretaceous formations due to the availability of all objective conditions for this, where there is a high rainfall rate that is most of the time snowy and cracked carbonate rocks that allow rainwater to easily filter out. As for the Paleogene, Neogene, and Quaternary layers, the presence of groundwater in them is linked to rainfall (which is considered somewhat weak) and from recharge from valley streams spread throughout the region. However, their somewhat impermeable nature, especially the Paleogene layers, does not allow for the continuous presence of water in them. Fig. 1 shows the general location of the study area.

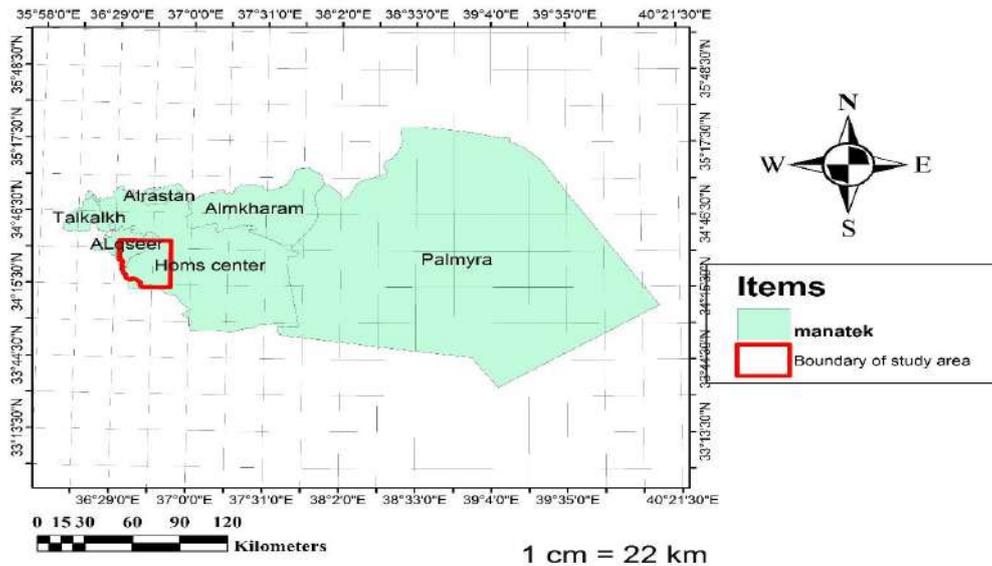


Fig. 1. The general location of the study area in Homs Governorate

To determine the sectors of water hope, weights and classification must be determined for each influencing factor, as the opinions of experts and references were used to choose five influential physical criteria in determining the sectors of water hope in the study area. The opinions of 25 experts in the field of geology, hydrogeology, and geophysics were relied upon. On the other hand, the Analytical Hierarchical Process (AHP) method was used to evaluate the agreement between the experts' opinions by using the consistency ratio (CR) which should be less than or equal to 0.1. Thus, the weights were determined as: rainfall, 21%; slope, 15%; geology, 24%; fractures and faults, 22%; and flumes, 18%. To determine the suitability map, we relied on the weights of the criteria resulting from the average opinions of experts, while the classification for each criterion was evaluated on the scale 1–5 which was adopted by most relevant references, where the number 5 indicates the highest value of suitability, while the number 1 shows the lowest value of suitability. The final plan for the distribution of water potential sectors in the study area was obtained, as shown in Fig. 2, using the weighted linear combination technique in the Geographic Information System program, where the plan was divided into three sectors in terms of water hope (good – medium – poor). By comparing the actual distribution of wells in the studied area with the sectors of water potential zones identified by the program, it becomes clear that 11 wells are distributed in the first sector with good hope, which is concentrated in the northwestern part and parts of the center of the study area where rainfall rates are high and cracked limestone rocks and permeable sand are widespread. This sector is also characterized by low terrain slopes and low fluid density which helps to feed the bearing layer. Sixteen wells are distributed in the second sector which has medium water potential, near the sites of the spread of faults. This sector occupies large spots of the study area where rainfall rates are lower compared to those for the first sector. Permeable fissured limestone rocks with low to moderate inclinations and medium flux density are widespread. There is no well in the third sector which has poor water potential, and this confirms the logic of the analysis.

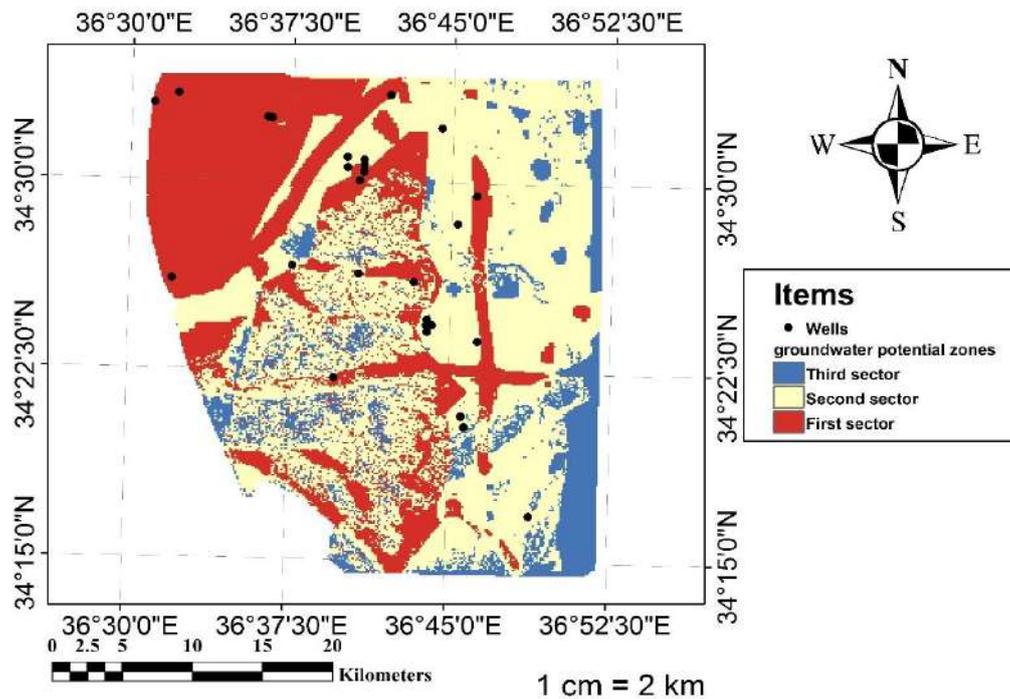


Fig. 2. Potential groundwater sectors in the studied area

The secondary methods (remote sensing and geographic information system) do not replace traditional exploration methods (geophysical, geoelectrical, *etc.*), but rather they are supportive methods that save time, effort, and cost by shortening the search areas for groundwater and restricting them to the priority area. It contributes to drawing up water strategies and decision-making. The mathematical model of the weighting matrix is one of the most important applied results that achieve accuracy in determining the sectors of groundwater potential, and it is a practical guide for making any decision related to water resources planning, forecasting, and monitoring.

#### References

1. Al-Abadi A., Al-Shamma'a A. Groundwater potential mapping of the major aquifer in northeastern Missan Governorate, south of Iraq by using Analytical Hierarchy process and GIS // *Journal of Environment and Earth Science*. 2014. Vol. 4, no. 10. P. 125–149.
2. Lalbiaknawia F. Application of remote sensing and GIS techniques for groundwater potential zones mapping in Aizawl District, Mizoram, India // *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, Lalbiaknawia. 2015. Vol. 4, no. 1. P. 292–299.
3. Hasan El-Kadi, Islam Abou El-Magd, Osama Abdel-Raouf, Osman Ebrahim. Integrating Geospatial and geophysical information for mapping groundwater potential zones – case study of Matrouh – Negilla Basin, North Western Coast, Egypt // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2018. Vol. 4, iss. 10. P. 298–305. <https://doi.org/10.32628/18410IJSRSET>
4. Saaty T. L., Vargas L. G, *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Boston : Kluwer Academic Publishers. 2000. 352 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
5. Abouzied S. M., Yuan M., Ibrahim S. K., Kaiser M. F., Seleem T. A. Delineation of groundwater potential zones in Nuweiba Area (Egypt) using remote sensing and GIS techniques // *International Journal of Signal Processing Systems*. 2016. Vol. 4, no. 2. P. 109–117. <https://doi.org/10.12720/ijspss.4.2.109-117>

UDC 502.173:631.1

## Emerging technologies in natural resource management

Salameh M.<sup>1</sup> and Alnaddaf L. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Al-Baath University, Homs, Syria

<sup>2</sup>Biotechnology and Molecular Biology, Faculty of Agriculture, Al-Baath University, Homs, Syria

✉ [alnaddaf@albaath-univ.edu.sy](mailto:alnaddaf@albaath-univ.edu.sy)

As a result of climate change, many crops face a wide range of challenges, such as various stresses and low soil nutrients and water, as well as shrinkage of arable land and environmental pollution, which negatively affect plant health, growth, and production.

Technological developments have greatly affected the agricultural sector, such as nanotechnology, genomics, artificial intelligence technologies, bioinformatics, modern genomic technologies, and metabolic engineering technologies, and have provided many important solutions to overcome various challenges, provide indicators of crop growth and development, and monitor various changes during pre- and post-harvest stages. Harnessing the capabilities of these technologies can achieve higher-yielding varieties that are resistant to biotic and abiotic stresses in crops, in addition to helping ensure plant health, product quality, and sustainable agriculture [1].

Agriculture is inherently dependent on favorable agro-climatic conditions, including sunlight, rainfall, and temperature for optimal crop growth. Climate change threatens food security by disrupting crop production, reducing water availability for irrigation, and increasing the spread of pests and diseases [3]. These changes pose significant challenges and risks to agricultural systems around the world. Agriculture is closely linked to the environment. Unsustainable agricultural practices contribute to global warming gas emissions (nitrous oxide from fertilizers), deforestation, soil degradation, and water pollution. Adapting agricultural practices to climate change is critical to ensuring a stable and adequate food supply for current and future generations. It is also essential to sustain rural livelihoods, reduce poverty, and ensure sustainable rural development [4].

Climate-Smart Agriculture (hereinafter CSA) is a specific approach that includes various elements built into specific contexts and adapted to meet local needs. CSA involves the integration of Artificial Intelligence (hereinafter AI) use in tackling climate change *via* agriculture systems that are more productive, applying inputs more efficiently and more resilient to a wide and growing range of climate changes [2].

CSA objective is to improve and sustain agricultural productivity to meet the growing global food demand *via* optimizing resource use, enhancing soil fertility, promoting efficient crop, reducing poverty, and promoting sustainable rural livelihoods. AI offers several applications that contribute to achieve these goals [4].

**AI at Al-Baath University.** At Al-Baath University, many researchers are currently involved in using emerging technologies in natural resource management, such as:

Using AI to process images resulting from a survey of the vegetation cover in the Homs countryside after dividing the countryside into different environmental sectors. Research is still ongoing. AI can contribute in preserving plant biodiversity and maintaining the resilience of agricultural landscapes by analyzing images *via* deep learning to biodiversity management in rural Homs.

Studying biochemical and productivity indicators for chickpea varieties exposed to drought stress. AI-assisted omics techniques can help in understanding indicators of plant defense and paving the way for utilizing drought-tolerant crop varieties amidst climate changes.

Combining nanotechnology with AI to study and compare long-term effects of nanoparticles on the growth and productivity of wheat varieties *via* successive generations.

#### References

1. Innovative Methods in Horticultural Crop Improvement / J. M. Al-Khayri, L. M. Alnaddaf, S. M. Jain, S. Penna (Eds). Cham, Switzerland : Springer, 2024. 337 p. (Advances in Plant Breeding Strategies). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-61081-3>
2. Gryshova I., Balian A., Antonik I., Miniailo V., Nehodenko V., Nyzhnychenko Y. Artificial intelligence in climate smart in agricultural: Toward a sustainable farming future // ACCESS Journal: Access to science, business, innovation in digital economy. 2024. Vol. 5, iss. 1. P. 125–140. [https://doi.org/10.46656/access.2024.5.1\(8\)](https://doi.org/10.46656/access.2024.5.1(8))
3. Krastanova M., Sirakov I., Ivanova-Kirilova S., Yarkov D., Orozova P. Aquaponic systems: Biological and technological parameters // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2022. Vol. 36, iss. 1. P. 305–316. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2074892>
4. Wang J., Wang J., Zhang Y. Artificial intelligence in agriculture: Applications, challenges, and perspectives. Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18, iss. 12. P. 2774–2785.

*Научное издание*

Геоэкологическая оценка  
бассейнов горных рек:  
теоретико-методологические  
и методические аспекты,  
региональные исследования

I Международная научная конференция

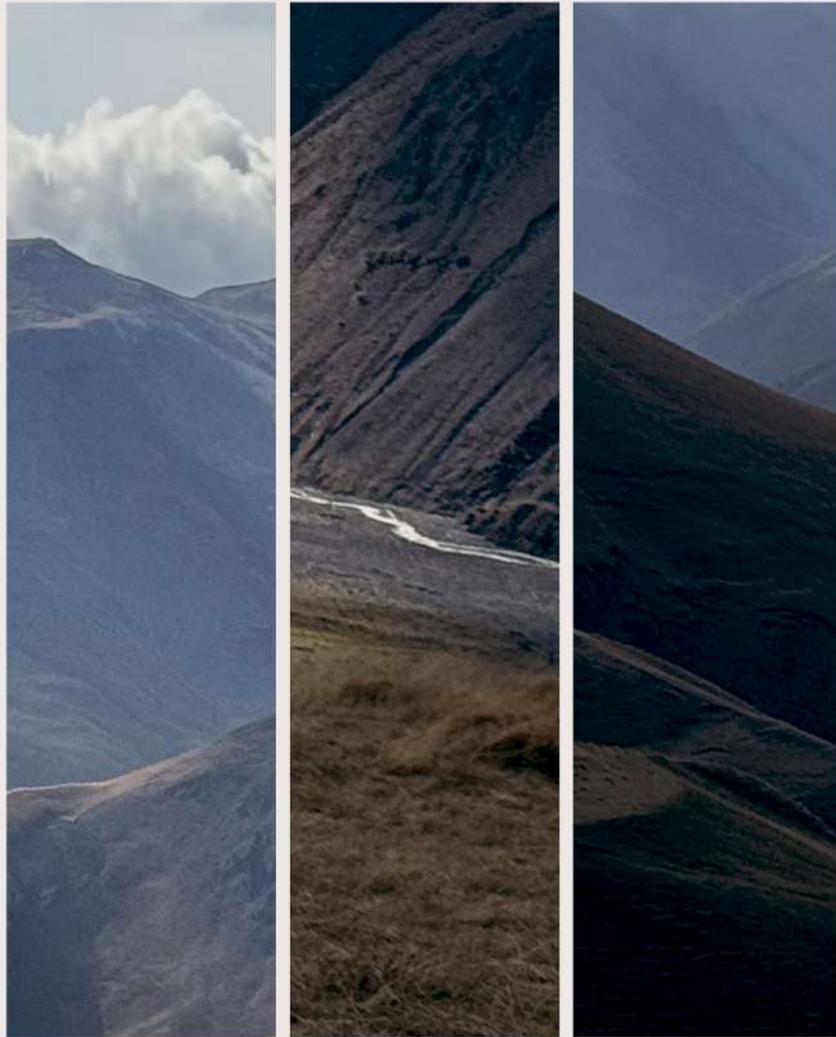
25 октября 2024 г.  
Севастополь, Россия

Вёрстка, макет: Сергеева А. В., Копытова О. Ю.  
Корректурa: Копытова О. Ю.

Фотография на обложке: Никофорова А. А.  
Дизайн обложки: Майборода Д. И.

*Ответственность за содержание опубликованных материалов несут авторы.  
Все материалы публикуются в авторской редакции с минимальными корректорскими правками.*

ФИЦ ИнБИОМ  
пр-кт Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Россия  
Тел.: +7 8692 54-41-10  
email: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru)



ISBN 978-5-6052832-0-1



9 785605 283201 >