

*На правах рукописи*



**Табунщик Владимир Александрович**

**ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БАССЕЙНОВ РЕК  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА КРЫМСКИХ ГОР**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Севастополь – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»

**Научный  
руководитель**

**Горбунов Роман Вячеславович**  
доктор географических наук,  
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей  
имени А.О. Ковалевского РАН» (г. Севастополь),  
директор

**Официальные  
оппоненты**

**Сухова Мария Геннадьевна**  
доктор географических наук, доцент, ФГБОУ  
ВО «Горно-Алтайский государственный  
университет» (г. Горно-Алтайск), проректор по  
научной и инновационной деятельности

**Валов Михаил Викторович,**  
кандидат географических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Астраханский государственный университет  
имени В. Н. Татищева» (г. Астрахань),  
заведующий кафедрой экологии, природопользования,  
землеустройства и безопасности жизнедеятельности

**Ведущая  
организация**

ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный университет» (г. Воронеж)

Защита состоится «04» июля 2024 года в 11-00 часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 999.228.03 при ФГБУН ФИЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» по адресу: г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а (ГФИ ВНИЦ РАН).

Отзывы на автореферат (заверенные печатью, в двух экземплярах) просим направлять по адресу: 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) З.Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovets@mail.ru. Факс: 8 (8712) 22-36-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. Академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: [https://gstou.ru/science/dissertation\\_council/](https://gstou.ru/science/dissertation_council/) и [vak.minobrnauki.gov.ru](http://vak.minobrnauki.gov.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.г.н.



З. Ш. Гагаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Обоснование выбора темы и её актуальности.** Речные бассейны являются ключевыми очагами исторического и культурного развития, в результате чего подвергаются сильному антропогенному воздействию. Проблема загрязнения водных объектов актуальна во всем мире и в последние годы становится особенно острой в бассейнах рек России, включая Волгу, Дон, Обь, Терек, Колыму и других рек. В России принимаются меры по решению этой проблемы, в том числе в рамках национального проекта «Экология». На Крымском полуострове нехватка пресных вод вызывает серьезные проблемы, и вопрос водных ресурсов активно обсуждается в рамках государственных программ. В период с 2015 по н.в. в Крыму выражена нехватка воды, вызванная перекрытием Северо-Крымского канала и недостаточными осадками. Это привело к сокращению водохранилищ и введению графиков подачи воды в городах. Важно учитывать также техногенное и социальное воздействия на речные бассейны, которые играют ключевую роль в различных сферах деятельности.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение речных бассейнов активно развивается отечественными исследователями [Волков, 1950; Аполлов, 1963; Лучшева, 1959; Антипов, Корытный, 1981; Мильков, 1981; Корытный, 2001; Тимченко, 2000, 2012; Ермолаев, 2002; Погорелов, Думит, 2009; Клименко, 2015] и зарубежными исследователями [Horton, 1945; Strahler, 1957; White, 1963; Shreve, 1966; Quick, 1995; Ward, Trimble, 2003].

Вопросы геоэкологической оценки разрабатываются применительно к различным территориальным объектам исследования [Кочуров, 2016; Позаченюк, 1999; Беленко, 2012; Родионов, 2014], однако крайне малое значение уделяется применению этих методов к изучению бассейнов рек [Антипов, 2019; Корытный, 2001, 2017; Власова, 2011, 2017; Н.С. Белов, 2011; Нагорнова, 2012; Ермолаев, 2002]. Проникновение методов геоэкологической оценки в исследования речных бассейнов развивается низкими темпами.

Несмотря на более чем уже двухвековую историю изучения рек и речных бассейнов территории Крымского полуострова, остается еще чрезвычайно много нерешенных вопросов. Наиболее полные и комплексные исследования рек и речных бассейнов Крымского полуострова проводились в 60–70-е гг. XX века. После этого периода имеются лишь отдельные работы по комплексному изучению рек, а также большое количество разрозненных работ, изучающих отдельные участки территории Крымского полуострова. С тех пор кардинально поменялись гидролого-гидрографические характеристики большинства рек. Бассейны рек северо-западного склона Крымских гор изучены недостаточно. К тому же современное их состояние практически не изучено.

**Цель исследования** – разработка методики оценки геоэкологического состояния речных бассейнов на основе методов геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования с апробацией на

территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная).

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Сформулировать теоретико-методологические подходы геоэкологической оценки бассейнов рек на основе данных дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования и обосновать выбранные критерии оценивания.

2. Разработать методику оценки геоэкологического состояния речных бассейнов, базирующуюся на материалах дистанционного зондирования с использованием геоинформационного моделирования.

3. Выполнить анализ физико-географических и социально-экономических факторов формирования геоэкологической ситуации в бассейнах рек северо-западного склона Крымских гор.

4. Дать оценку критериев формирования геоэкологического состояния на территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор.

5. Произвести интегральную геоэкологическую оценку бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор и разработать рекомендации по устойчивому развитию исследуемой территории речных бассейнов.

**Объект исследования** – территория бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная).

**Предмет исследования** – современное геоэкологическое состояние бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная).

**Научная новизна.**

1. На теоретико-методологическом уровне показано, что на современном этапе развития науки дистанционные методы исследования и геоинформационное пространственно-временное моделирование по охвату данных превосходят традиционные методы, используемые при проведении оценки геоэкологического состояния в пределах территории речного бассейна. На основании этого разработан новый подход к оценке геоэкологического состояния бассейнов рек с использованием геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования.

2. На методическом уровне представлены новые алгоритмы и методики машинного выделения бассейнов и суббассейнов рек и оценка их точности, а также разработаны алгоритмы оценки критериев геоэкологического состояния отдельных компонентов природы в пределах речного бассейна и комплексной оценки речного бассейна, которые обладают более высоким пространственно-временным охватом по сравнению с традиционными полевыми и лабораторными методами исследования.

3. На региональном уровне впервые для бассейнов и суббассейнов рек северо-западного склона Крымских гор проведена оценка их геоэкологического состояния на основе методов геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования. Исследуемая

территория разделена на 4 кластера: с оптимальными (нормальными), благоприятными, удовлетворительными и неблагоприятными значениями геоэкологического состояния.

**Теоретическая значимость работы.** В работе систематизирован накопленный отечественными и зарубежными исследователями опыт изучения и проведения геоэкологической оценки в пределах речных бассейнов. Разработаны новые методики и подходы оценки отдельных критериев геоэкологического состояния отдельных компонентов природы в пределах речного бассейна. Впервые для бассейнов и суббассейнов рек северо-западного склона Крымских гор проведена оценка их геоэкологического состояния на основе методов геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования. Показана возможность использования ГИС и технологий облачных вычислений и машинного обучения при проведении геоэкологической оценки речных бассейнов. Результаты исследования углубляют и расширяют представления о функционировании бассейнов и суббассейнов рек северо-западного склона Крымских гор.

**Практическая значимость работы.** Для бассейнов и суббассейнов рек северо-западного склона Крымских гор апробирована разработанная методика геоэкологической оценки речных бассейнов – получены новые серии карт, отражающие оценку геоэкологического состояния речных бассейнов и суббассейнов. Показана возможность практического применения методик оценки отдельных критериев при геоэкологической оценке. Использование ГИС и облачных технологий, машинного обучения позволяет выделять и актуализировать границы водосборных бассейнов и суббассейнов, что необходимо для планирования и управления водными ресурсами, определения границ территорий, подверженных определенным рискам, и принятия мер по их защите. Разработанные и усовершенствованные методики при оценке геоэкологического состояния речного бассейна позволяют оценивать состояние различных компонентов природы в пределах речного бассейна. Это может помочь идентифицировать проблемные участки территории, разработать эффективные меры по улучшению экологической ситуации и принять необходимые управленческие решения для разработки устойчивых стратегий управления речными бассейнами и их охраны. Результаты диссертационной работы могут иметь широкое практическое применение в муниципальных и региональных органах власти в целях минимизации возможных последствий и рисков, а также для выполнения функций контроля в области охраны окружающей среды. Это может помочь улучшить планирование и принятие решений в области управления бассейнами и охраны природы в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор. Полученные данные могут использоваться в усовершенствовании учебных курсов по физической географии Крыма, гидрологии, геоэкологии и геоинформатики образовательных учреждений высшего и среднего специального образования.

## **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Методика оценки геоэкологического состояния бассейнов рек с использованием геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования способствует получению наиболее полных и оперативных данных об изменении состояния бассейнов рек, а выбранные критерии оценивания достаточны и часто превосходят критерии, используемые в результате разрозненных полевых наблюдений и лабораторных исследований в труднодоступных регионах.

2. Критерии для проведения оценки геоэкологического состояния бассейнов рек на основе геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования характеризуют изменение природных, социальных и техногенных характеристик территории в пределах речного бассейна.

3. Показатель оценки геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор характеризуется большой пространственной неоднородностью, что связано с комплексным влиянием природных и социально-экономических факторов. Оптимальным (нормальным) геоэкологическим состоянием характеризуются верховья бассейнов рек, благоприятным – средние течения рек Альма, Кача, Бельбек, Черная, а удовлетворительным и неблагоприятным – нижнее и частично среднее течение рек Альма, Кача, Бельбек, Черная и практически весь бассейн реки Западный Булганак.

4. Построенная на основе оценки геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор карта бассейнового планирования отображает перечень стабилизирующих мероприятий и их пространственную дифференциацию, которые необходимо осуществить для обеспечения устойчивого развития данных территорий.

**Методология и методы исследования.** Работа основана на фундаментальных исследованиях в области геоэкологии, гидрологии, физической географии, ландшафтной экологии и ландшафтоведения. В работе были использованы следующие методы исследования: литературно-аналитический, картографический, картометрический, геоинформационный, математические, статистические, а также полевые методы исследования. Методологической основой исследования выступают представления о бассейне реки [Волков, 1950; Антипов, Коротный, 1981; Мильков, 1981; Коротный, 2001; Тимченко, 2012; Напрасников, 2003; Погорелов, Думит, 2009; Horton, 1945; Strahler, 1957; White, 1963; Shreve, 1966; Teclaff, 1967; Brutsaert, 2023], геоэкологической оценке [Кочуров, 1999, 2016; Позаченюк, 1999; Коротный, 2001; Яницкий, 2009; Беленко, 2012; Родионов, 2014] и применении геоинформационных технологий. В основу работы легли результаты собственных исследований автора. Работа представляет собой комплексное, всесторонне изучение речных бассейнов северо-западного склона Крымских гор.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности:** Работа соответствует паспорту специальности 1.6.21 «Геоэкология» (пункты 5, 6, 7, 11, 14, 16).

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Работа выполнена автором в течении 2013–2024 гг. Основные результаты диссертационной работы нашли отражение при исполнении темы НИР № 121040100327-3 «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки», а также гранта Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым для проведения исследований в номинации «Науки об окружающей природной среде» за проект «Ландшафты Крымского полуострова и их экологические ниши»; внутривузовского гранта ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» для молодых ученых «Экологические ниши и природопользование ландшафтных уровней Крымского полуострова». Апробация материалов исследования проведена на XIV Ландшафтной конференции «Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии» (Воронеж, 17–21 мая 2023 г.), II Международной научно-практической конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность» (Севастополь, 05–09 сентября 2022 г.), V Международной научной конференции «Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в северо-восточной Азии» (Иркутск, 23–26 августа 2022 г.), Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС 26. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» (Ставрополь, 24–25 сентября 2020 г.) и ряде других конференций всероссийского и международного уровня

**Публикации.** По теме работы опубликовано 45 работ, в том числе: 7 работ в издании МБД SCOPUS и Web of Science, 17 статей в журналах из перечня ВАК.

**Объем и структура работы.** Общий объем основной части работы составляет 290 страниц машинописного текста. Работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы, состоящего из 694 наименований и приложений. Работа включает 83 рисунка и 40 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность исследования, описана степень разработанности темы, сформулированы цель, задачи, методология и методы исследования, охарактеризована научная новизна диссертационной работы, описана практическая и теоретическая значимость научного исследования, приведены сведения об апробации и степени достоверности результатов диссертационного исследования.

## **РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОЦЕНКЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЧНОГО БАСЕЙНА**

В XXI веке наметилась тенденция рассматривать бассейн реки как сложную систему, состоящую как из природной, так и антропогенной составляющей. В нашем понимании, учитывая природный, хозяйственный и социальный блоки и их составляющие, мы можем рассматривать в дальнейшем бассейн реки как сложную геоэкологическую систему. В нашем понимании данный термин подчеркивает и пространственно-географический характер речного бассейна, и его функционально-экологические связи как со средой, так и внутри самой системы.

Таким образом оценка геоэкологического состояния речного бассейна предполагает всесторонний анализ факторов внешней среды для устойчивого развития всех основных видов хозяйственной деятельности человека и человеческого общества в пределах бассейна реки. В качестве основных критериев при проведении оценки геоэкологического состояния речного бассейна предлагается рассматривать критерии, которые характеризуют изменение основных природных сред и антропогенные критерии в пределах речного бассейна – геолого-геоморфологические критерии (сейсмичность, плотность тектонических нарушений, проявление селей, лавин, наклон поверхности, глубина расчленения рельефа, густота расчленения рельефа); изменение климата и его отклонение от среднесуточной нормы; загрязнение атмосферного воздуха и комплексный индекс загрязнения атмосферы в пределах речных бассейнов; подверженность территории бассейнов рек подтоплению и затоплению, а также загрязнение вод в реках; потери почвы в результате эрозии; изменение растительного покрова в результате анализа вегетационных индексов и потери лесов в пределах речных бассейнов; комплексные характеристики ландшафтов в пределах речных бассейнов – плотность ландшафтных границ и ландшафтное разнообразие); наличие или отсутствие в пределах бассейнов рек особо охраняемых природных территорий; проявление антропогенной преобразованности территории в бассейнах рек, изменение и динамика типов наземного покрова и изменение плотности населения в пределах территории речных бассейнов.

## **РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЧНОГО БАСЕЙНА**

Для проведения геоэкологической оценки состояния речного бассейна предложено использовать интегральную оценку, которая включает в себя все результаты всех ранее описанных методик. Общая схема исследования представлена на рисунке 1.

Работа подразделяется на несколько этапов. На первом подготовительном этапе проводится сбор материалов, необходимых для



исследования и разрабатываются теоретико-методологические основы проведения геоэкологической оценки в пределах речного бассейна. На втором этапе разрабатывается методика исследования, которая включает в себя собственно методику выделения бассейнов и суббассейнов рек, а также частные методики оценки отдельных критериев геоэкологического состояния. На третьем этапе анализируются физико-географические факторы и влияние природных сред, а также социально-экономические факторы и их влияние на формирование современного геоэкологического состояния в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор.

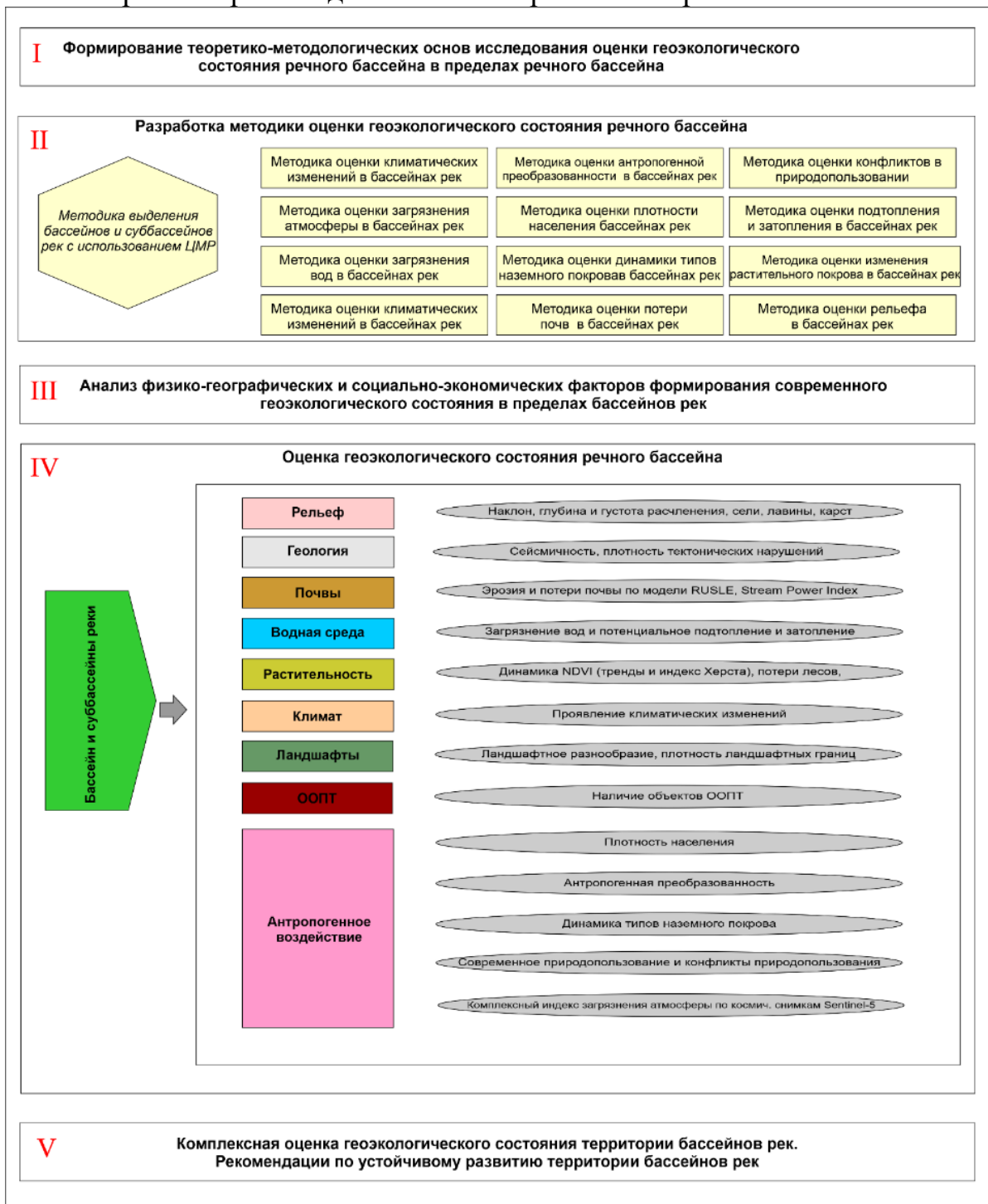


Рис. 1 – Общая схема проведения геоэкологической оценки в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор

На четвертом этапе происходит оценка геоэкологического состояния территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор с использованием геоинформационных технологий, которая включает в себя несколько блоков. В первый блок входит выделение границ водосборных бассейнов и суббассейнов, которые в дальнейшем выступают операционно-территориальными единицами исследования. Второй блок включает оценку различных критериев, необходимых для проведения интегральной комплексной оценки геоэкологического состояния речного бассейна. Пятый этап исследования включает в себя интеграцию независимых критериев и составление итоговой карты оценки геоэкологического состояния речных бассейнов, которая строится путем переклассификации карт критериев в бальные показатели и их последующей суммации. Дополнительно даются рекомендации по устойчивому развитию речных бассейнов.

### РАЗДЕЛ 3. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ПРЕДЕЛАХ БАССЕЙНОВ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА КРЫМСКИХ ГОР

Территория бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная расположена в юго-западной части Крымского полуострова. Площадь исследуемой территории составляет примерно 2299 кв. км.

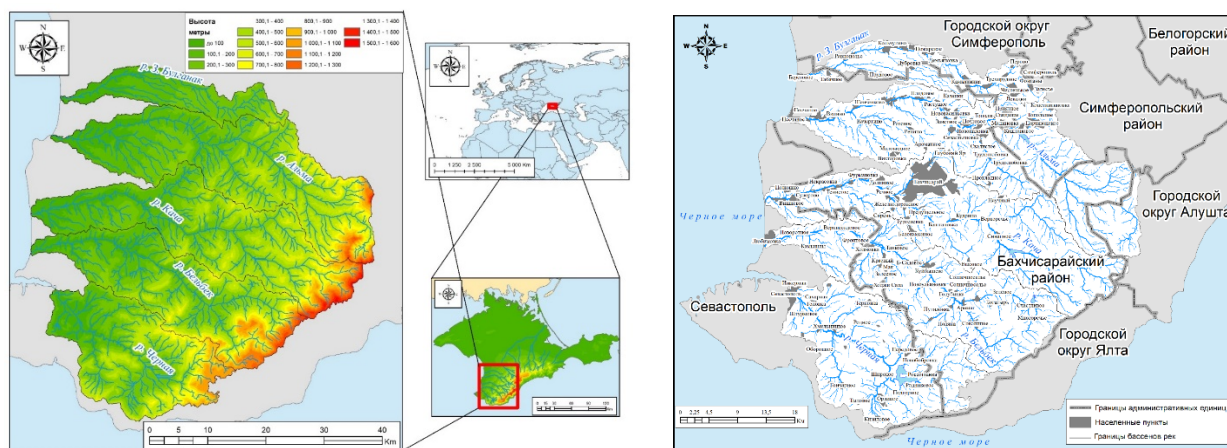


Рис. 2 – Географическое положение бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек и Черная.

Для бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор уточнены границы водосборных бассейнов, описаны вершины и другие орографические объекты, вдоль которых они выделяются. Рассчитаны площади бассейнов рек по принадлежности к административно-территориальному делению Крымского полуострова. Рассчитаны показатели глубины и густоты расчленения рельефа и показана их пространственная дифференциация. Проанализирована вероятность проявления селей, лавин, развитие карста в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор, рассчитаны

плотность тектонических нарушений и показана вероятностная возможность проявления сейсмичности. Рассчитаны значения наклона поверхности в пределах бассейнов рек. Рассмотрена гидрологическая характеристика рек Западный Булганак, Альма, Бельбек и Черная. Почвенный покров в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор довольно разнообразен, в силу наличия высотной поясности, сложного рельефа, микроклиматических особенностей исследуемой территории и ряда других факторов. Наличие плодородных почв в нижнем и частично среднем течении бассейнов рассматриваемых рек создает предпосылки для сельскохозяйственного развития территории. Распределение растительности подвержено законам высотной поясности. С уменьшением высоты сменяются пояса яйлинских лугов, буковых лесов, скальнодубовых лесов, пушистодубовых лесов, степей. В наиболее нижних высотных поясах естественная растительность степей и пушистодубовых лесов сведена и на месте этих существовавших ранее растительных сообществ располагаются сельскохозяйственные угодья. В пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор наблюдается сложная пространственная дифференциация ландшафтов и ландшафтного рисунка. При анализе установлено, что территории с наибольшим разнообразием заняты лесами и ООПТ и находятся в южной, восточной и юго-восточной частях исследуемого района, а с наименьшими значениями разнообразия – в основном заняты степями, населенными пунктами и лугами, и расположены на северо-западе исследуемого района.

#### **РАЗДЕЛ 4. ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНОВ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА КРЫМСКИХ ГОР**

Территория бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор претерпела значительные изменения в своем историческом развитии и освоении, что оказало существенное воздействие на ландшафты. Вплоть до 1917 г. это влияние было незначительным, однако в более поздние периоды антропогенное воздействие значительно возросло и стало негативно влиять на устойчивое развитие этой территории. Сейчас территория района исследования имеет развитую сеть населенных пунктов с несколькими крупными городами – Бахчисараем, Инкерманом, Симферополем и Севастополем (рис. 3).

Природно-ресурсный потенциал района характеризуется наличием запасов нерудных полезных ископаемых (строительные материалы,) из-за чего в исследуемом районе большая роль добывающей промышленности. Промышленные предприятия, особенно в строительной отрасли, и транспортная инфраструктура являются основными источниками загрязнения.

Территория исследования обладает значительным потенциалом в сфере туризма и рекреации. Большую роль играет развитие сельского хозяйства, в том числе садоводство и виноградарство. Бассейны рек имеют среднюю

степень экономической освоенности и не испытывают критической антропогенной нагрузки по сравнению с другими регионами Крымского полуострова, однако некоторые аспекты, такие как развитие растениеводства и инфраструктурные проекты, вносят изменения в ландшафты.

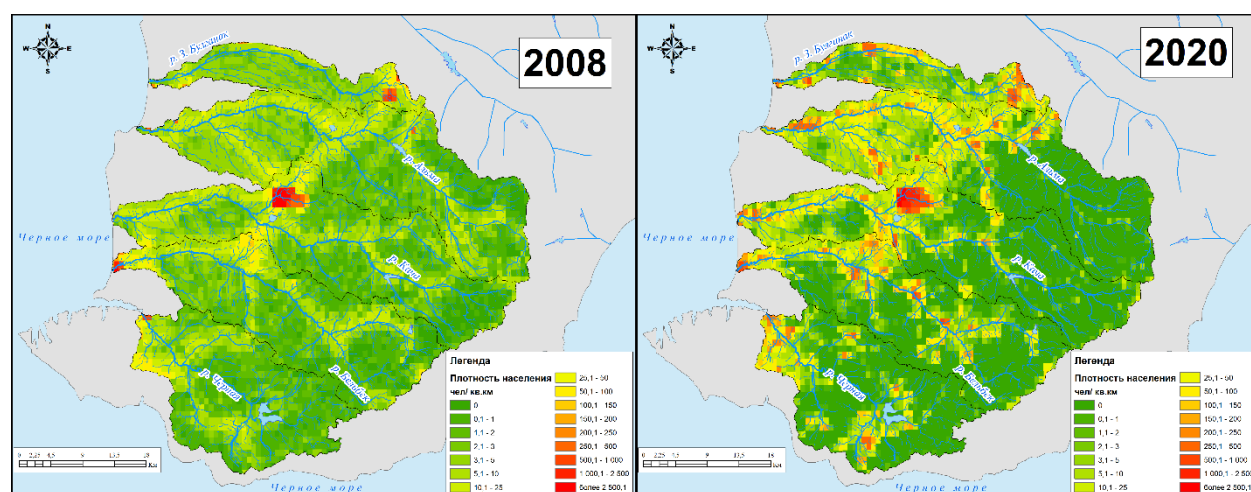


Рис. 3 – Плотность населения в пределах бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная в 2008 и 2020 гг.

**Природопользование в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор. Экологические ниши и конфликты природопользования.** Проведено выделение основных типов природопользования в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор и показана их пространственная дифференциация (рис. 4). Структура природопользования во многом определяется факторами, которые были рассмотрены в разделах 3 и 4. На большей части исследуемого региона преобладают леса и ООПТ, особенно в восточной и юго-восточной части. Сады, виноградники и пашня сосредоточены на северо-западе района исследования. Населенные пункты расположены повсеместно, в основном приурочены к долинам рек.

Конфликт природопользования рассматривается как область перекрытия экологических ниш различных видов природопользования в многомерном пространстве факторов (рис. 5). Количественной мерой конфликта природопользования в данном случае выступает степень пересечения экологических ниш, которая оценивается от 0 до 1. В тоже время в рассматриваемых бассейнах конфликты природопользования проявляются с разной силой. Например, в бассейне реки Западный Булганак, где доминирует пашня, основной конфликт будет происходить между пашней, застройкой и естественными территориями, которые слабо сохранились, а в бассейне реки Альма – между лесами, лугами и другими видами природопользования (рис. 6).



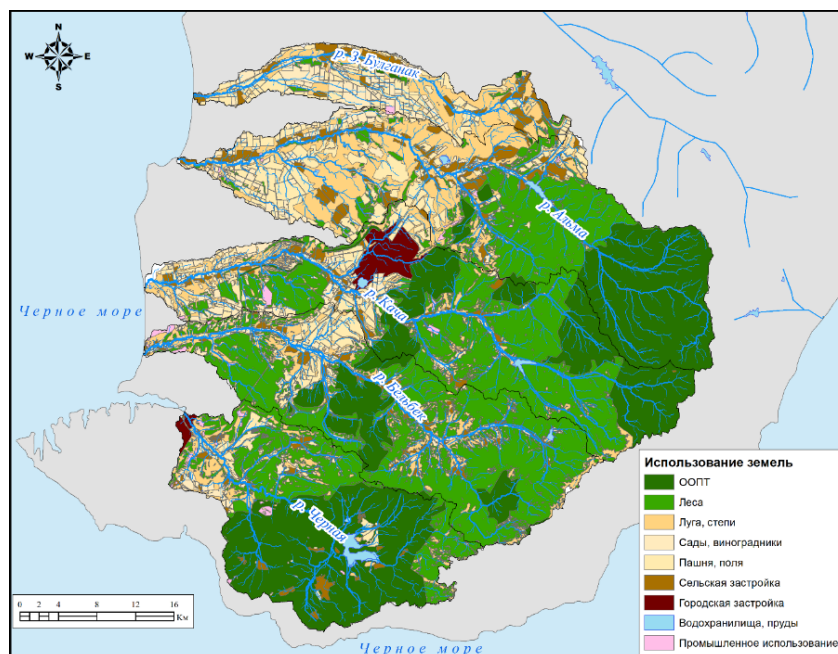


Рис. 4 – Природопользование в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор

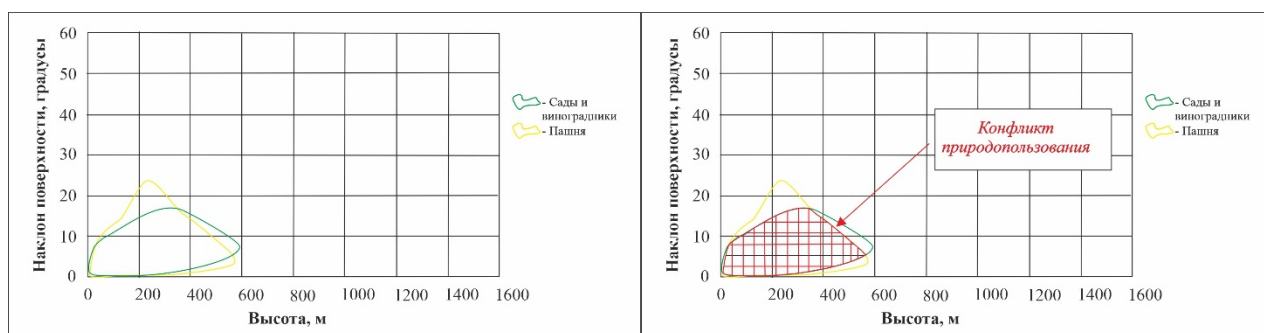


Рис. 5 – Графическая визуализация конфликта природопользования между видами природопользования «Пашня» и «Сады и виноградники», как степень перекрытия их экологических ниш в пространстве факторов «Высота, м» и «Наклон поверхности, градусы»

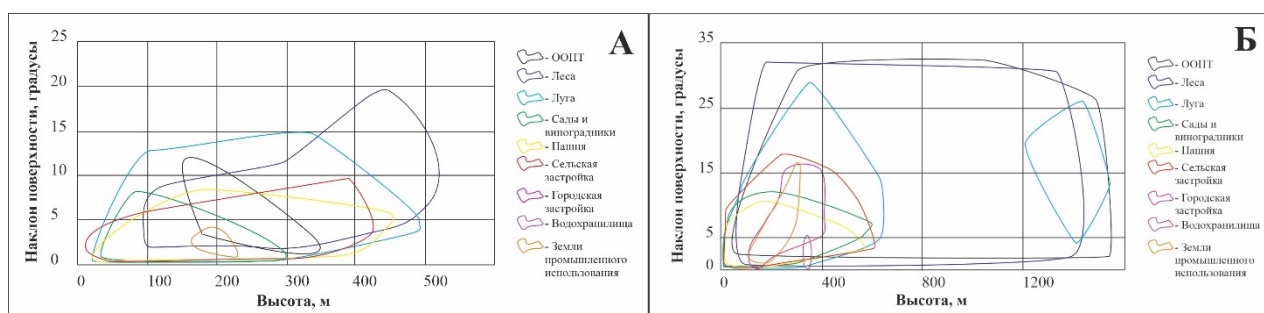


Рис. 6 – Положение основных видов природопользования в пределах бассейна реки Западный Булганак (А) и Альма (Б) в пространстве факторов «Высота, м» и «Наклон поверхности, градусы»

*Антропогенная преобразованность территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор.* Наибольшие значения показателей

преобразованности характерны для территории бассейна реки Западный Булганак, что связано с отсутствием в пределах бассейна крупных ООПТ и слабоизмененных территорий. В тоже время для бассейнов рек Альма, Кача, Бельбек, Черная все показатели значительно ниже, хотя и не однородны. Наблюдается тенденция к уменьшению преобразованности с севера на юг – от бассейна реки Западный Булганак до бассейна реки Черная (рис. 7).

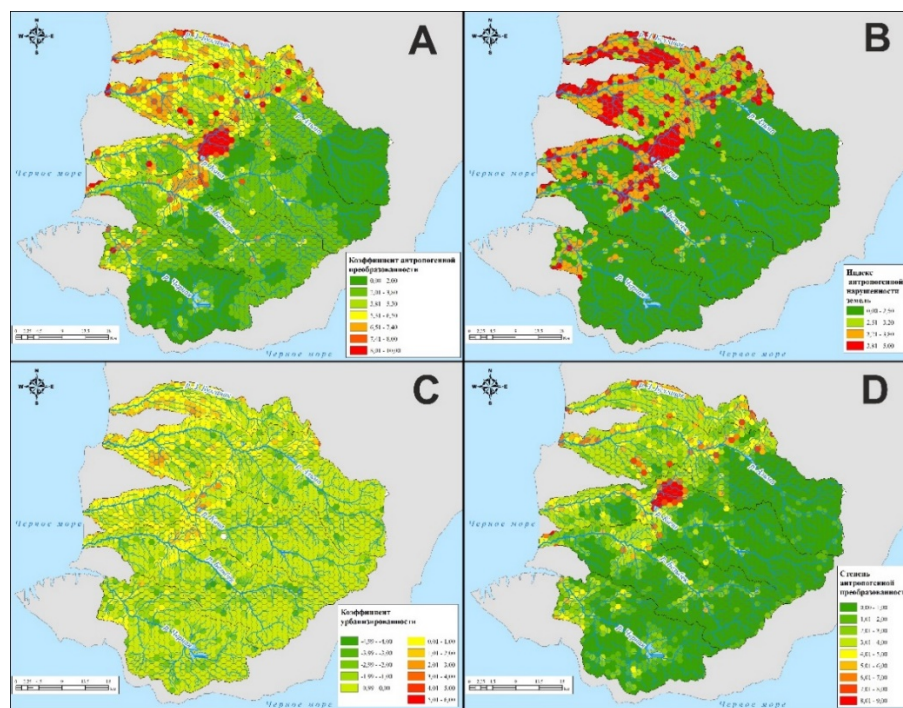


Рис. 7 – Преобразованность бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор.

В пределах каждого бассейна показатели преобразованности территории увеличиваются с юго-востока на северо-запад, что связано с господствующими типами природопользования и сложившейся структурой хозяйства.

**Динамика типов наземного покрова.** Во всех бассейнах, кроме бассейна р. Западный Булганак, преобладает древесный покров, в то время как в бассейне р. Западный Булганак – сельскохозяйственный тип наземного покрова. Наблюдается рост количества застроенных территорий и сокращение лесопокрытых участков. Набор Esri Land cover позволяет отчетливо отличить территории без покрова, где четко выделяется территория строительства трассы Таврида. Набор Esri Land cover единственный показал изменение площадей водохранилищ естественного стока в пределах бассейнов рассматриваемой территории, которые в виду маловодности 2019 и 2020 гг. значительно сократили свои запасы. Верификация данных, представленных на моделях Land cover, проводилась путем сравнения значений реальной картины, существующей на выбранный год по космическим снимкам и полученной по результатам обработки модели Land cover за выбранный год (рис. 8).



Рис. 8 – Динамика типов наземного покрова по Esri Land cover с 2017 по 2021 гг.

**Загрязнение воздуха.** Предложен вариант оценки загрязнения воздуха с использованием космических снимков Sentinel-5p и отклонения от фонового значения для территорий ООПТ. Для этого были рассчитаны средние значения загрязнителей с июля 2018 г. по февраль 2023 г. и рассчитан комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА). В целом по всем показателям (за исключением диоксида серы) наибольшие отклонения характерны для центральной части района исследования и нижнего течения бассейнов рассматриваемых рек. Наименьшие значения КИЗА зафиксированы в 2021 г., что связано, в первую очередь, с последствиями карантина в результате эпидемии COVID-19. Наибольшие значения индекса характерны для бассейна реки Западный Булганак, а наименьшие – для бассейна реки Черная. Наибольшие значения КИЗА характерны в районе населенных пунктов (Симферополь, Бахчисарай, Севастополь, Инкерман) и прилегающих к ним земель. Минимальные значения КИЗА наблюдаются над лесами в пределах исследуемого района (рис. 9).

Проведено сравнение полученных результатов с данными мониторинговых наблюдений в городах Севастополь, Симферополь, Саки, Алушта, Ялта, Бахчисарай. Прослеживается прямая связь между количеством выбросов в атмосферу по результатам мониторинга и концентрацией диоксида азота со значением коэффициента детерминации более 0,85. Полученные уравнения связи являются важным звеном в установлении общего количества выбросов над территорией водосборных бассейнов.

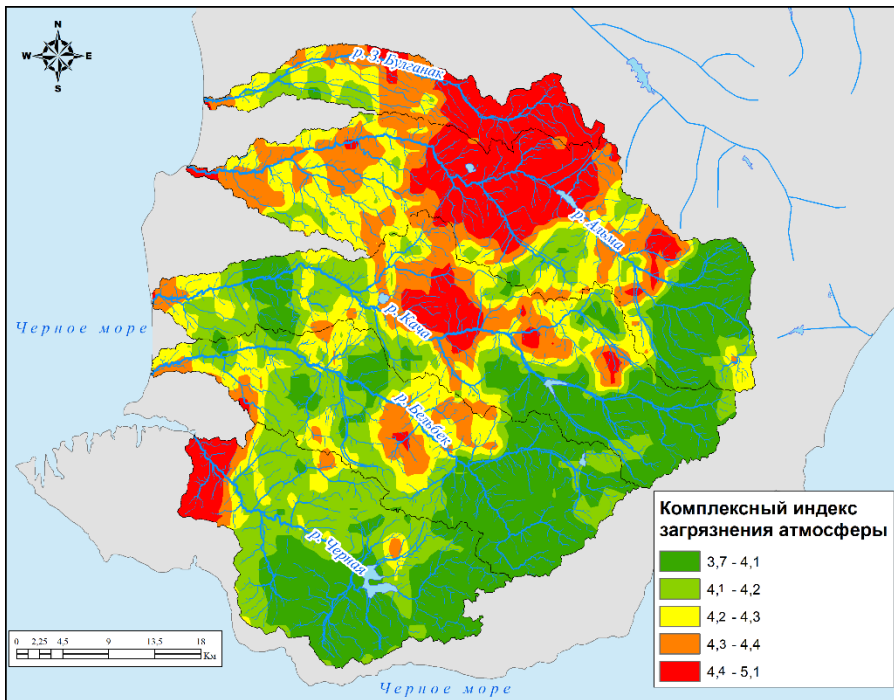


Рис. 9 – Значение КИЗА в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор в 2019–2022 гг.

**Загрязнение вод.** Для бассейна реки Западный Булганак наблюдения за загрязнением вод проводятся в меньшем объеме, по сравнению с другими бассейнами рек, хотя он является наиболее преобразованным среди всех рассматриваемых бассейнов. В водах Западного Булганака наблюдается превышение ПДК по содержанию общего железа и общей жесткости воды. Для остальных бассейнов рек ведутся неполные мониторинговые наблюдения (рис. 10). В целом на основе анализа литературных данных и полевых исследований оценено состояние водных объектов на исследуемой территории.

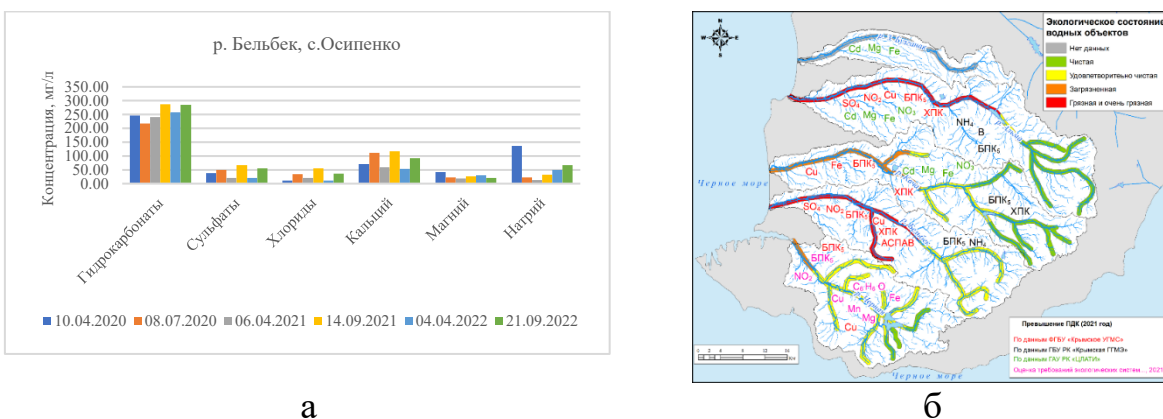


Рис. 10 – Динамика изменения концентрации содержания загрязняющих веществ: (а) Бельбек; (б) экологическое состояние рек и превышение ПДК.

**Проявление эрозии и потери почвы.** Для бассейнов рек северо-западных склонов Крымских гор были рассчитаны значения индекса мощности линейной эрозии (SPI). Наибольшими значениями индекса



мощности линейной эрозии характеризуется бассейн реки Бельбек, а наименьшими – бассейн реки Западный Булганак. По модели RUSLE в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор (рис. 11) наблюдается высокие потенциальные потери почвы, что связано в первую очередь с влиянием сложного рельефа в пределах речных бассейнов.

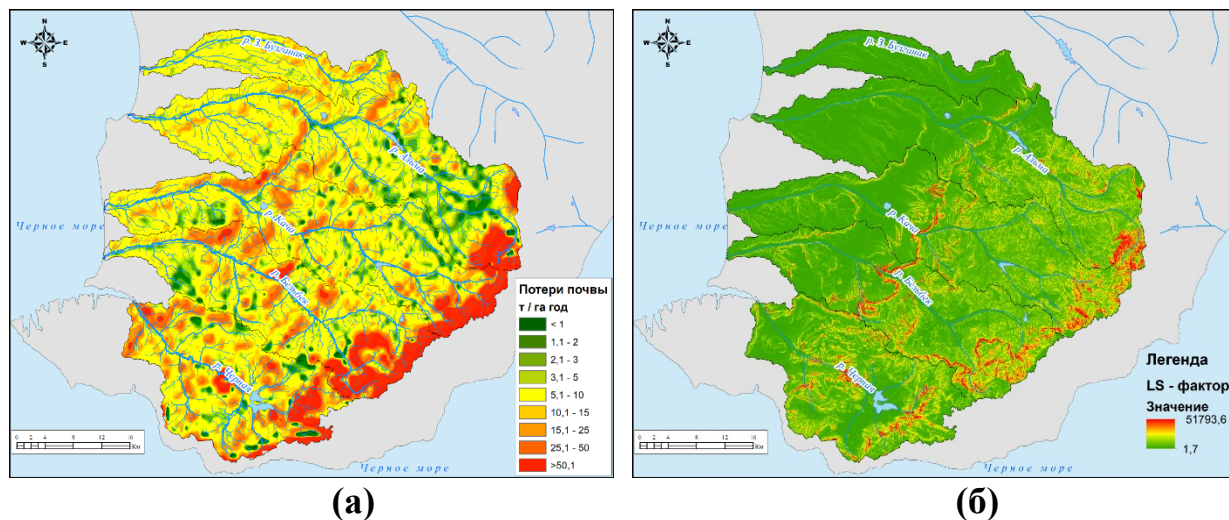


Рис. 11 – Потенциальные потери почвы (по модели RUSLE) в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор: (а) Потери почвы; (б) LS-фактор

Наименьшие потенциальные потери почвы среди рассматриваемых бассейнов рек характерны для бассейна реки Западный Булганак в силу его наиболее равнинного рельефа.

**Потенциальное подтопление и затопление.** Наибольшее вероятность подтопления и затопления характерна для центральной части исследуемого района в силу наличия сложного куэстового рельефа и развития здесь основных центров хозяйственного освоения (крупные населенные пункты, в том числе город Бахчисарай, трасса Таврида и пр.). Наибольший риск возникновения подтопления и затопления территории характерен для бассейна реки Западный Булганак, где высокой и очень высокой подверженностью к затоплению территории характеризуется 54% территории бассейна реки. В тоже время, в бассейнах рек Бельбек и Черная наблюдается на большей части территории бассейнов рек низкие значения вероятности подтопления и затопления (рис. 12).

**Изменения растительного покрова.** Наблюдается общая тенденция изменения средних значений NDVI. Из общей картины существенно выделяется бассейн реки Западный Булганак. Очевидно, это связано с тем, что в пределах бассейнов рек Альма, Кача, Бельбек и Черная большую площадь занимаю леса, в то время как в бассейне реки Западный Булганак лесов крайне мало и большая часть территории бассейна занята полями и возделываемыми землями.

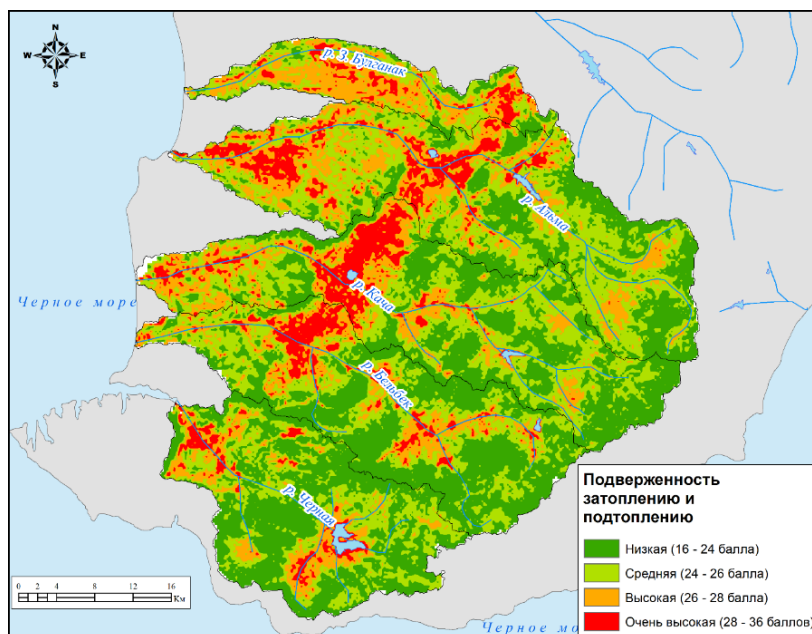


Рис. 12 – Подверженность затоплению и подтоплению в бассейнах рек северо-западного склона Крымских гор

В пределах большей части района наблюдается рост количества зеленой фитомассы. Снижение количества фитомассы характерно для территорий, которые примыкают к трассе Таврида, а также к отдельным участкам на северо-западе исследуемого района, что связано с развитием здесь сельскохозяйственной деятельности, которая за рассматриваемый период прерывалась. Так же большой участок территории района исследования с отрицательным значением тренда NDVI характерен для северной и северо-восточной части района исследования (верховья рек Западный Булганак и Альма), что связано с неблагоприятным влиянием города Симферополь и его пригородов. Наибольшие значения индекса Херста ( $>0,5$ ) на юго-востоке указывают, что будущая тенденция изменения NDVI будет схожа с прошлыми наблюдаемыми тенденциями, а в северо-западной, где значения индекса Херста менее  $0,5$  – что будущая тенденция изменения NDVI будет противоположна прошлым (рис. 13).

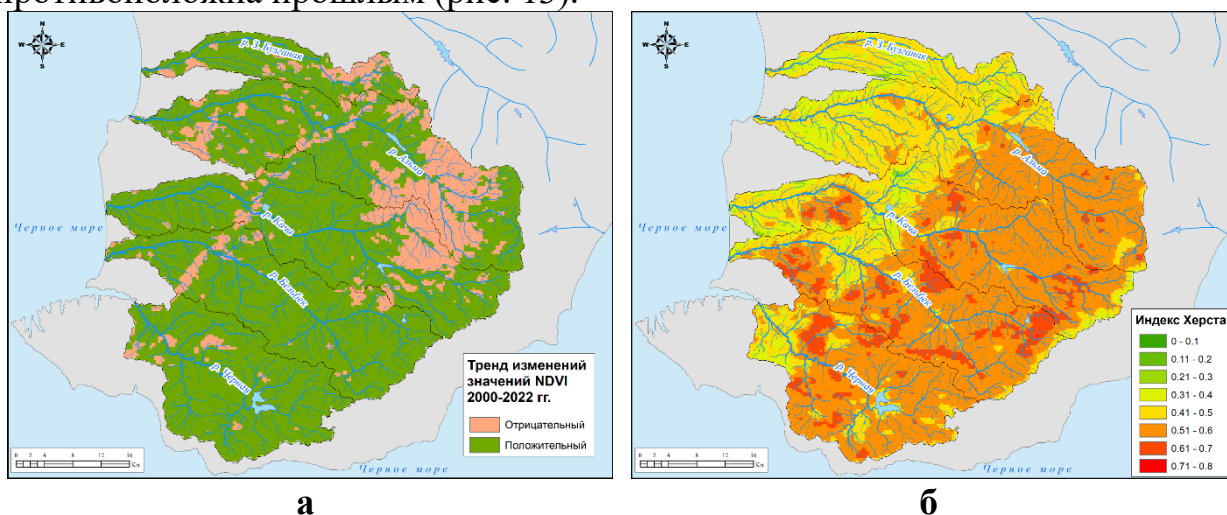


Рис. 13. Изменения NDVI: (а) тренд изменений; (б) индекс Херста

**Климатические изменения.** Наблюдается рост количества выпадающих осадков в пределах каждого из рассматриваемых бассейнов. Причем, в бассейнах всех рек, за исключением Западного Булганак, рост более высокий. В тоже время нужно понимать, что рост количества выпадающих осадков и их характер выпадения (зачастую ливневого быстрого выпадения) способствуют развитию эрозионных процессов. Схожая картина наблюдается и со среднегодовым распределением полей температуры воздуха в пределах бассейнов рассматриваемых рек. Во всех бассейнах рек наблюдается тенденция к росту среднегодовых значений температуры воздуха, более чем на 1 °С. Интересно отметить, что здесь также выделяется значения температуры воздуха в бассейне Западный Булганак, которые выше, чем в бассейнах рек Альма, Кача, Бельбек и Черная. Очевидно, это связано с отсутствием лесов в большей части бассейна реки Западный Булганак и, как следствие, большим контрастом и перемешиванием воздушных масс. При сравнении с такой нормой температуры воздуха за пятилетний период отчетливо видно, что в последние годы наблюдается тенденция к увеличению значений температуры.

**Комплексная оценка геоэкологического состояния территории бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор и рекомендации по их устойчивому развитию.** В пределах рассматриваемой территории оценка геоэкологического состояния изменяется от 30 до 68 баллов. Наибольшие значения характерны для северо-западной части исследуемого района, а наименьшие – для южной, восточной и юго-восточной. Это связано в первую очередь с историческими факторами развития территории и структурой природопользования в пределах бассейнов рек. Оптимальные (нормальные) показатели характерны для территорий, покрытых лесом и находящихся в пределах ООПТ, а удовлетворительные и неблагоприятные характерны для крупных населенных пунктов и прилегающих к ним территорий, староосвоенных территорий и территорий, занятых в сельском хозяйстве. Установлено, что наиболее подвержены негативному воздействию бассейны рек Западный Булганак и Альма, наименее – бассейны рек Черная и Бельбек.

Достижение устойчивого развития территории речных бассейнов требует комплексного подхода и реализации мер, направленных на сохранение и рациональное использование ресурсов речного бассейна, защиту водных экосистем и активное вовлечение общественности. Для достижения устойчивого развития бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор была составлена карта бассейнового планирования, отражающая мероприятия, которые необходимо осуществить для будущего устойчивого развития речного бассейна (рис.16).

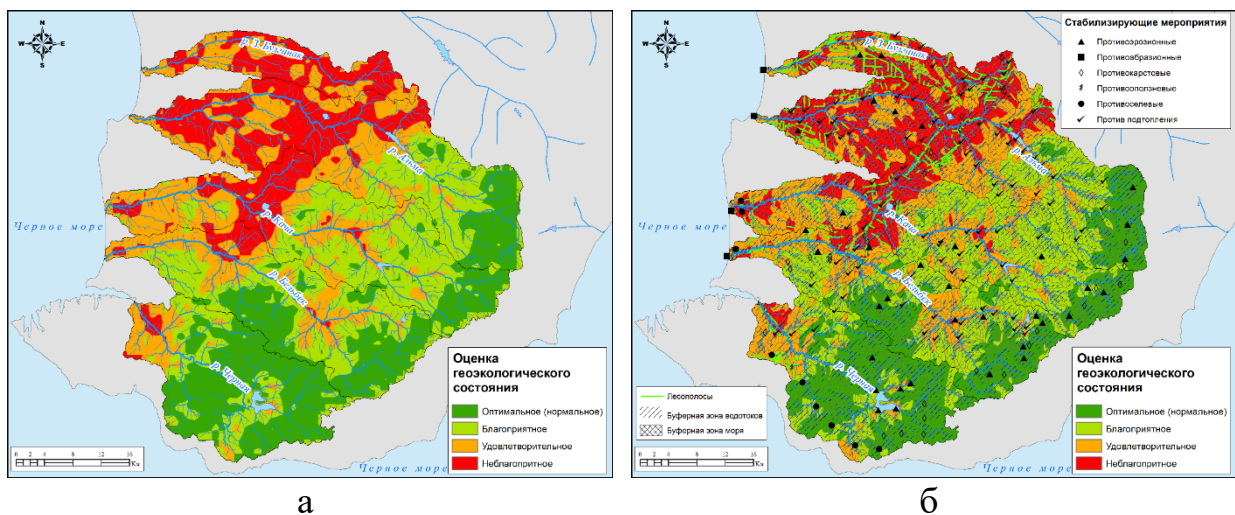


Рис. 14 – Оценка геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор: (а) в пределах бассейнов; (б) бассейновое планирование в пределах бассейнов рек

В **заключении** приводятся основные результаты, полученные в исследовании, формулируются выводы, основанные на проведённых исследованиях и полученных результатах.

1. Рассмотрение бассейна реки как геоэкосистемы позволяет применять на практике экологический подход к бассейну в целом и к бассейнам мелких порядков в частности. В связи с этим бассейновый подход можно рассматривать как основу формирования оптимальных операционно-территориальных единиц для исследования различных явлений и процессов, ограниченных естественно-географическими рубежами.

2. На основе данных дистанционного зондирования с использованием геоинформационного моделирования разработана методика оценки геоэкологического состояния речных бассейнов. С использованием методов геоинформационного моделирования и данных дистанционного зондирования усовершенствованы и дополнены частные методики оценки различных критериев, необходимых при проведении геоэкологической оценки речного бассейна – методика выделения бассейнов рек, методика оценки загрязнения воздуха в пределах речного бассейна, методика оценки конфликтов природопользования с использованием концепции экологической ниши, методика оценки антропогенной преобразованности. Составлена интегральная схема методики оценки геоэкологического состояния речного бассейна.

3. Для бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор составлена карта природопользования и установлено изменение площадей пахотных угодий и лесов. Показана возможность применения концепции экологической ниши к оценке конфликтов природопользования в пределах речных бассейнов. Наибольшее значение антропогенной преобразованности характерно для северо-западной части бассейнов рек северо-западной исследуемой территории, где в основном развито сельскохозяйственное использование



земель, а наименьшее – для восточной и юго-восточной частей исследуемого района, где в основном находятся ООПТ и леса. Анализ позволил выделить в пределах речных бассейнов северо-западного склона Крымских гор низкотрансформированные, среднетрансформированные и высокотрансформированные территории.

4. На рассматриваемой территории в бассейне реки Западный Булганак преобладает сельскохозяйственный тип наземного покрова, в то время как в бассейнах остальных рассматриваемых рек – древесный тип наземного покрова. Наблюдается тенденция к увеличению антропогенной нагрузки, которая связана с сокращением «природных» типов наземного покрова (древесный, кустарниковый и пр.) и увеличению созданных человеком типов наземного покрова, особенно селитебного покрова.

5. Изучено содержание загрязняющих веществ – диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, формальдегида, метана, а также показателя аэрозольного индекса в пределах бассейнов рек. Наибольшие концентрации отдельных загрязняющих веществ в столбе атмосферного воздуха и значения комплексного индекса загрязнения атмосферы характерны для участков речных бассейнов, в которых располагаются крупные населенные пункты (особенно Бахчисарай, Севастополь, Инкерман) и крупные автомагистрали. Также, в результате переноса воздушных масс, существенное влияние оказывают расположенный рядом с исследуемыми речными бассейнами город Симферополь. Для этих территорий расчетные значения существенно превышают фоновые значения, фиксируемыми над ООПТ. Установлено, что бассейны рек являются сильно загрязненными в нижнем и частично в среднем течении и слабо загрязненными в верхнем течении (за исключением реки Западный Булганак).

6. Установлено, что максимальные значения индекса мощности линейной эрозии наблюдаются в верховьях бассейнов рек Альма, Кача, Бельбек и Черная. При этом наибольшими средними значениями индекса мощности линейной эрозии характеризуется бассейн реки Бельбек, а наименьшими – бассейн реки Западный Булганак.

7. Наибольшая вероятность подтопления и затопления выявлена в центральной части исследуемого района, где наблюдается сложный куэстовый рельеф и развитие ключевых хозяйственных центров, включая город Бахчисарай и трассу Таврида. Анализ данных показывает, что наибольшая вероятность характерна для бассейна реки Западный Булганак, в то время как бассейны рек Бельбек и Черная имеют низкую вероятность проявления подтопления и затопления на большей части своей территории.

8. Результаты оценки NDVI свидетельствуют о положительных трендах изменения вегетационного покрова на большей части исследуемой территории с 2000 по 2022 гг. Однако наблюдается отрицательный тренд и снижение зеленой фитомассы в районах, прилегающих к трассе Таврида, а также в некоторых северо-западных участках, связанных с сельскохозяйственной деятельностью.

9. Анализ климатических изменений показывает, что при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария наблюдается устойчивый рост среднегодовых значений осадков и температуры воздуха, что соответствует глобальным климатическим тенденциям. Особенно выраженные изменения наблюдаются в последние десятилетия.

10. Проведена интегральная оценка геоэкологического состояния бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор. Оптимальные (нормальные) показатели характерны для территорий покрытых лесом и находящихся в пределах ООПТ, а удовлетворительные и неблагоприятные характерны для крупных населенных пунктов и прилегающих к ним территорий, староосвоенных территорий и территорий занятых в сельском хозяйстве.

11. Для достижения устойчивого развития бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор была составлена карта бассейнового планирования, отражающая мероприятия, которые необходимо осуществить для будущего устойчивого развития речного бассейна.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:**

1. **Табунщик, В. А.** Применение концепции экологической ниши при анализе конфликтов природопользования в речных бассейнах (на примере бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор) / В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов // Социально-экологические технологии. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 77-106.

2. Почвенное разнообразие территории Крымского полуострова / Е. И. Ергина, Р. В. Горбунов, **В. А. Табунщик**, Е. А. Петлюкова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2023. – № 1(217). – С. 61-69.

3. **Табунщик, В. А.** Динамика типов наземного покрова (land cover) в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор / В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов // Геология, география и глобальная энергия. – 2022. – № 3(86). – С. 78-88.

4. **Табунщик, В. А.** Оценка индекса мощности линейной эрозии в бассейнах рек северо-западных склонов Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная) / В. А. Табунщик // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 344-354. –

5. Экологические ниши региональных экосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата / Р. В. Горбунов, **В. А. Табунщик**, Т. Ю. Горбунова, А. В. Дрыгваль // Ученые записки Крымского федерального

университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 249-278.

6. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем горного Крыма / Р. В. Горбунов, **В. А. Табунщик**, Т. Ю. Горбунова, М. С. Сафонова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2021. – Т. 29, № 1. – С. 39-54.

7. Горбунов, Р. В. Применение космических снимков Landsat-8 для мониторинга ландшафтов в пределах Бахчисарайского района Республики Крым (на примере расчета значений вегетационного индекса NDVI и температуры поверхности (LST)) / Р. В. Горбунов, **В. А. Табунщик**, Я. О. Андрончик // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 11. – С. 43-50.

8. **Табунщик, В. А.** Морфометрические характеристики бассейнов рек северо- западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная) / В. А. Табунщик // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 267-278.

9. Динамика атмосферных осадков в ландшафтах Горного Крыма / Р. В. Горбунов, Т. Ю. Горбунова, **В. А. Табунщик** [и др.] // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2021. – Т. 6, № 4(26). – С. 28-38.

10. **Табунщик, В. А.** Анализ абсолютных высот рельефа в пределах ландшафтов Крымского полуострова / В. А. Табунщик, А. А. Келип, Я. О. Андрончик // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 4(20). – С. 54-66.

11. Изменение температуры воздуха в Крыму / Р. В. Горбунов, Т. Ю. Горбунова, А. В. Дрыгваль, **В. А. Табунщик** // Социально-экологические технологии. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 370-383.

12. **Табунщик, В. А.** Густота расчленения рельефа на территории Крымского полуострова / В. А. Табунщик, Е. А. Петлюкова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2019. – № 1(201). – С. 95-100.

13. **Табунщик, В. А.** Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков Sentinel-2 / В. А. Табунщик, Р. В. Горбунов, А. А. Даниленко // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - Природного заповедника РАН. – 2019. – № 4(12). – С. 56-70.

14. **Табунщик, В. А.** Рельеф бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная) / В. А. Табунщик // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2018. – Т. 4 (14), № 3. – С. 78-87.

15. Позаченюк, Е. А. Плотность ландшафтных границ на территории Крымского полуострова / Е. А. Позаченюк, **В. А. Табунщик** // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2017. – Т. 3 (13), № 3. – С. 36-47.

16. Позаченюк, Е. А. Экологические ниши почв Крымского полуострова и Красная книга почв Крымского полуострова / Е. А. Позаченюк, **В. А. Табунщик** // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2015. – Т. 1 (67), № 3. – С. 59-77.

17. Позаченюк, Е. А. Понятие "современный ландшафт" и организация природопользования (на примере водоохраных зон) / Е. А. Позаченюк, Е. А. Петлюкова, **В. А. Табунщик** // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. – 2013. – Т. 26 (65), № 3. – С. 299-309.

**Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в реферативной базе Web of Science / SCOPUS:**

1. 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) / **V. Tabunshchik**, R. Gorbunov, T. Gorbunova [et al.] // *Frontiers in Earth Science*. – 2023. – Vol. 11. – P. 1218823.

2. **Tabunshchik, V.** Unveiling Air Pollution in Crimean Mountain Rivers: Analysis of Sentinel-5 Satellite Images Using Google Earth Engine (GEE) / **V. Tabunshchik**, R. Gorbunov, T. Gorbunova // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15, No. 13. – P. 3364.

3. **Tabunshchik, V.** Anthropogenic Transformation of the River Basins of the Northwestern Slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula) / **V. Tabunshchik**, R. Gorbunov, T. Gorbunova // *Land*. – 2022. – Vol. 11, No. 12. – P. 2121.

4. Water shortage and water management balance in the Republic of Crimea: current values and forecast for 2030 / **V. A. Tabunshchik**, I. V. Kalinchuk, M. V. Galkina [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 839. – P. 32026.

5. **Tabunshchik, V. A.** Emissions from stationary pollution sources in the Republic of Crimea in 2013-2018 / **V. A. Tabunshchik**, I. V. Kalinchuk, V. O. Zhuk // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1515, No 3. – 032040.

6. Assessment of the geomorphological basis of landscapes of the Crimean Peninsula using geoinformation technologies / **V. A. Tabunshchik**, A. A. Kluchkina, E. A. Petlukova [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 905. – 012066.

7. **Табунщик, В. А.** Глубина расчленения рельефа на территории Крымского полуострова / **В. А. Табунщик** // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 95-105.