


На правах рукописи



ГОРБУНОВ РОМАН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНЫХ
ГЕОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
(НА ПРИМЕРЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА)**

1.6.21. Геоэкология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора географических наук

Севастополь – 2021

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

Научный консультант

Плугатарь Юрий Владимирович
член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук

Официальный оппоненты

Бармин Александр Николаевич,
доктор географических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
университет» (г. Астрахань), декан геолого-
географического факультета

Лысенко Алексей Владимирович
доктор географических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный
университет» (г. Ставрополь), заведующий кафедрой
физической географии и кадастров Института наук о Земле

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

Ведущая организация

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

Защита состоится 25 февраля 2022 года в 13.00 часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.0.075.03 (Д 999.228.03) при ФГБУН ФНЦ «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: 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, д. 22.

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: geodissovet@mail.ru. Факс: 8 (8712) 22-36-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГНТУ им. академика М. Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/ и vak.minobrnauki.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03)
кандидат географических наук



З. Ш. Гагаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время одной из самых обсуждаемых научных проблем является проблема глобального изменения климата. Этому вопросу посвящено множество публикаций, направленных как на исследование причин климатических изменений, так и последствий этих изменений. Среди основных работ, интегрирующих знания по данному вопросу, следует упомянуть доклады группы IPCC, посвященные всестороннему изучению как причин, так и последствий климатических изменений. Не вступая в дискуссию о причинах климатических изменений, следует отметить справедливость подходов как в международном, так и в национальном менеджменте, направленных на поиск механизмов адаптации всей системы природопользования к изменяющимся условиям среды. Рост температуры воздуха на планете запустил процессы трансформации такой силы, что они вызывают перестройку всей системы экогеодинамических процессов в ландшафтной сфере Земли. Реакция геоэкосистем на климатические изменения проявляется в изменении процессов трансформации вещества и энергии, то есть речь идет об изменении их функционирования, что в итоге приводит к формированию различных стратегий их развития – от усложнения до упрощения структуры. Вместе с тем такие изменения всегда имеют региональный аспект, а хозяйственная деятельность, связанная со сферами производства, как правило, реализуется на региональном и локальном пространственных масштабах. То есть можно и совершенно справедливо говорить о том, что именно на региональном и локальном уровнях происходят процессы, вызывающие необходимость адаптации системы природопользования к региональным проявлениям глобальных климатических изменений. При этом речь идет о природопользовании в широком понимании – от системы производства до сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Биоразнообразие, в свою очередь, является одной из наиболее показательных характеристик геоэкосистем, исходя из которой можно сделать ряд выводов об условиях существования организмов. В настоящее время сохранение и изучение биоразнообразия играет особую роль, поскольку выступает решающим фактором на пути достижения устойчивого развития территории как на внутри-, так и на межгосударственном уровне.

Таким образом, соотношение процессов функционирования с климатическими изменениями позволяет выявлять тенденции в динамике региональных геоэкосистем и, соответственно, разрабатывать научно обоснованные рекомендации по адаптации системы природопользования к изменяющимся условиям среды.

Крымский полуостров является одним из восьми европейских регионов с высоким уровнем биологического разнообразия, что определяет высокий приоритет его сохранения и выстраивания научно обоснованной системы природопользования на полуострове, особенно в условиях изменения климата и интенсификации антропогенной деятельности.

Вопросы сохранения биологического и ландшафтного разнообразия Крымского полуострова соотносятся как с международными (Конвенция о биологическом разнообразии, Рамсарская конвенция и др.), так и с федеральными,

а также региональными законодательными и нормативно-правовыми актами. В частности, среди проблем, на решение которых направлена федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2024 года», фигурирует отсутствие системных природоохранных мер по сохранению уникальной флоры и фауны Крымского полуострова, природных ландшафтов. Согласно «Стратегии социально-экономического развития Республики Крым до 2030 года», среди стратегических задач развития экосреды Республики Крым выделяются: сохранение природной среды и биоразнообразия на территории Крымского полуострова, морской биоты Черного и Азовского морей; расширение площади и развитие системы особо охраняемых природных территорий; поддержание и восстановление численности популяций отдельных видов животных; сохранение и повышение ресурсно-экологического потенциала лесов.

«Стратегия социально-экономического развития г. Севастополя до 2030 г.» регламентирует, что в условиях ускоренного развития экономики и социальной сферы города Севастополя особое внимание будет уделяться мерам по сохранению природных и городских ландшафтов, формированию и сохранению природных заказников.

Таким образом, актуальность исследования вытекает из необходимости и целесообразности сохранения геосистем, адаптации системы природопользования в условиях климатических изменений, социально-экономической потребности региона в адаптации системы природопользования в условиях региональных проявлений изменения климата с целью достижения показателей устойчивого развития Республики Крым и города Севастополя.

Степень разработанности темы. Текущий период исследований в области функционирования и динамики геосистем является достаточно насыщенным с точки зрения проводимых работ, научных направлений, используемых методологических подходов и парадигм. Обращает на себя внимание широкий спектр публикаций по рассматриваемой тематике в зарубежных изданиях. Работы в данном направлении лежат на стыке географической и биологической науки и тесно переплетены в геоэкологических, ландшафтно-экологических и эколого-биологических исследованиях геосистем.

Анализ современных тенденций в мировой и отечественной науке в области изучения функционирования и динамики геосистем показал, что весомую долю исследований в данном русле занимают работы, посвященные изучению региональных геосистем во всей их сложности внутрисистемных взаимодействий и разнообразии. При этом общее представление о понятиях функционирования и динамики геосистем отсутствует.

Вопросам изучения и сохранения биологического и ландшафтного разнообразия на международном уровне посвящено множество публикаций. При этом наблюдается рост их количества как в мировом научном сообществе, так и среди российских ученых, что подтверждает актуальность данного направления.

На территории Крымского полуострова систематические исследования биологического и ландшафтного разнообразия начаты в 1997 г. после проведения в Гурзуфе Международного семинара по оценке необходимости поддержки

биологического разнообразия Крыма. Результатом многолетней работы крымских ученых стал целый ряд научных публикаций, содержащих информацию о биологическом и ландшафтном разнообразии Крыма, проектировании экологической сети, биологическом и ландшафтном разнообразии ее элементов.

В работах, посвященных вопросам изучения изменения климата в Крыму показано, что изменение климата характеризуется наличием регионального аспекта, связанного с неравномерностью и разнонаправленностью протекающих процессов в различных его регионах, что обусловлено спецификой ландшафтной дифференциации территории полуострова. Ряд публикаций посвящен вопросам изучения реакции геоэкосистем на климатические изменения. В то же время при наличии достаточно большого количества публикаций, посвященных изучению изменения климата в Крыму, в настоящее время практически отсутствуют работы, направленные на системное изучение реакции геоэкосистем на климатические изменения, что определяет актуальность данного исследования.

Цель и задачи. Сформулированная актуальность и степень изученности темы определяют цель исследования – на основе теоретических и теоретико-методологических подходов геоэкологии и ландшафтной экологии разработать научные основы оценки трансформации процессов функционирования и динамики геоэкосистем в условиях региональных проявлений изменения климата, биологического разнообразия геоэкосистем с целью осуществления оценки их уязвимости к изменению климата и антропогенной деятельности, и их реализация на примере Крымского полуострова.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выполнить анализ изученности вопроса функционирования и динамики геоэкосистем. Сформулировать теоретико-методологические основы изучения функционирования и динамики геоэкосистем в условиях климатических изменений.

2. Разработать методический аппарат для оценки реакции геоэкосистем на региональные проявления изменения климата.

3. Разработать методический аппарат для оценки потенциального биологического разнообразия геоэкосистем как основы оценки их уязвимости к изменению климата и антропогенной деятельности

4. На примере Крымского полуострова изучить природные и антропогенные предпосылки функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях изменения климата.

5. Выполнить анализ изменения климата в Крыму в XX – начале XXI в. на основе представлений о циркуляционных эпохах и периодах Северного полушария. Проанализировать изменение функционирования региональных геоэкосистем в условиях климатических изменений. Выполнить анализ динамики характеристик экологических ниш и продуктивности региональных геоэкосистем Крымского полуострова как интегральных показателей динамики ландшафтов.

6. Выполнить анализ биологического разнообразия территории Крымского полуострова путем построения пространственной модели потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова на основе гипотезы о

пространственной взаимосвязи биологического разнообразия и разнообразия местообитаний.

7. На основе представлений о трансформации процессов функционирования и динамики региональных геосистем в условиях климатических изменений и модели потенциального биологического разнообразия выполнить оценку уязвимости геосистем Крымского полуострова и разработать предложения по оптимизации структуры природопользования.

Научная новизна.

1. Разработаны научные основы изучения реакции региональных геосистем на климатические изменения через анализ трансформации процессов функционирования и динамики геосистем в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария в XX – начале XXI века.

2. На основе данных дистанционного зондирования, открытых баз данных реанализов, данных метеостанций и геоинформационного моделирования разработан комплекс методик по оценке реакции региональных геосистем на изменение климата.

3. Впервые выявлены пространственно-временные закономерности изменения климата в Крыму в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария в XX – начале XXI века. Построены актуальные климатические карты Крымского полуострова.

4. Для основных типов региональных геосистем Крымского полуострова выявлены особенности их функционирования и динамики в условиях изменения климата. Определены их индивидуальные стратегии при изменении факторов среды.

5. Впервые разработана методика оценки потенциального (восстановленного) биологического разнообразия, основанная на пространственной взаимосвязи биологического разнообразия на региональном и локальном уровнях с разнообразием базовых местоположений, апробированная на территории Крымского полуострова.

6. Впервые на основе данных о региональных проявлениях изменения климата в Крыму и модели потенциального биологического разнообразия геосистем выполнена оценка их уязвимости к антропогенной деятельности и климатическим изменениям. Разработаны предложения по оптимизации природопользования на территории Крымского полуострова.

Теоретическая и практическая значимость работы. На основании разработанных теоретико-методологических подходов и моделей получены новые представления, результаты и выводы, позволяющие расширить представление о реакции региональных геосистем на климатические изменения.

Разработанные методики и модели могут найти широкое применение в решении теоретических и практических задач в области геоэкологии и рационального природопользования, в территориальном планировании и проектировании. Разработанный комплекс методик исследования процессов функционирования и динамики геосистем базируется на открытых данных и доступных средствах ГИС, что позволяет расширить возможности их использования для понимания реакции региональных геосистем на других

территориях нетропических широт Северного полушария; как следствие, они могут лечь в основу разработки подходов к адаптации системы природопользования к изменяющимся условиям среды. Доказанная гипотеза о пространственной взаимосвязи биологического разнообразия и разнообразия базовых местоположений, на основе которой построена модель потенциального биологического разнообразия, может служить основой для выявления степени трансформации геоэкосистем в условиях их антропогенного преобразования и климатических изменений.

В условиях Республики Крым и г. Севастополя выполненные исследования позволяют актуализировать данные о климатических нормах, используемых при планировании и проектировании различных природно-хозяйственных систем, в том числе при проектировании новых объектов особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ). Диссертационное исследование полностью согласуется со Стратегиями социально-экономического развития Республики Крым и г. Севастополя и может быть использовано органами исполнительной власти субъектов при их реализации.

Методология и методы исследований. Диссертационное исследование основано на фундаментальных работах в области геоэкологии. Для достижения поставленной цели использованы следующие методы: статистический, картографический, геоинформационный, моделирование, источниковедческий. Методологической основой исследований являются представления о региональных геоэкосистемах, их функционировании и динамике в условиях климатических изменений. Методологической особенностью исследований является использование в качестве операционных временных единиц границ циркуляционных эпох и периодов Северного полушария, что определяет объективность расчета климатических норм отдельных метеопараметров и, таким образом, актуальность получаемых пространственно-временных закономерностей.

В основу работы легли результаты собственных исследований автора за период с 2014 по 2021 гг. Был составлен комплекс авторских методик, которые в сочетании с существующими методическими решениями позволяют раскрыть особенности функционирования и динамики региональных геоэкосистем (ландшафтов) в условиях изменения климата.

Построение моделей и их картографическая визуализация производились на основе космических снимков SRTM, Landsat, Google Earth, ландшафтно-типологической карты Г. Е. Гришанкова, тематических карт различных масштабов. Для получения моделей климатических характеристик были использованы базы данных Европейской организации спутниковой метеорологии (EUMETSAT), MERRA-2, данные многолетних наземных измерений на метеостанциях. Данные по температуре воздуха были сгенерированы с помощью программного пакета ClimateEU v4.63. Все работы, связанные с построением пространственных баз данных и с картографической визуализацией, выполнялись при помощи программы ArcGIS 10.2. Для статистической обработки данных использовалась программа Microsoft Excel 2013.

Положения, выносимые на защиту.

1. Отклик региональных геосистем на климатические изменения формируется за счет смены циркуляционных процессов Северного полушария, определяющих временные границы циркуляционных эпох и периодов.

2. Реакция региональных геосистем на климатические изменения фиксируется на основе разработанных методик изучения пространственно-временной динамики полей основных метеоэлементов на региональном уровне в условиях климатических изменений, функционирования и динамики региональных геосистем в условиях климатических изменений.

3. Для оценки потенциального биологического разнообразия разработан авторский комплекс методик, включающий в себя методики построения базовых местоположений, определения разнообразия базовых местоположений (местообитаний) в пределах региональных геосистем, определения биологического разнообразия в пределах операционно-территориальных единиц системы экологической сети и особо охраняемых природных территорий, определения степени пространственной взаимосвязи биологического разнообразия и типов местообитаний (местоположений), построения интегральной модели биологического разнообразия.

4. На основе построенных картографических моделей выявлены пространственно-временные закономерности динамики основных метеоэлементов на территории Крымского полуострова в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария.

5. В региональных геосистемах в результате пространственно-временной динамики основных метеоэлементов при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария происходят трансформации процессов функционирования, заключающиеся в изменении внутриландшафтной дифференциации ландшафтно-геофизических полей и завершающиеся формированием индивидуальных ландшафтных стратегий.

6. Особенности пространственно-временной динамики характеристик экологических ниш и продуктивности основных типов региональных геосистем Крымского полуострова являются интегральными показателями динамики региональных геосистем в условиях климатических изменений.

7. Интегральная модель потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова, разработанная на основе подтвержденной гипотезы о наличии тесной взаимосвязи разнообразия базовых местоположений (местообитаний) и биологическим разнообразием на различных пространственных уровнях.

8. Оценка уязвимости региональных геосистем и разработанные рекомендации по оптимизации хозяйственной деятельности на территории Крымского полуострова, выполненные на основе представлений о региональных проявлениях изменения климата и потенциальном биологическом разнообразии геосистем.

Степень достоверности и апробация результатов. Исследования по теме диссертационной работы явились составной частью 5 научно-исследовательских работ и грантов.

Результаты работы докладывались на 17 научных и научно-практических конференциях, 10 из которых имели международный статус. По теме диссертации опубликовано 47 работ, в том числе 6 – в журналах, индексируемых в Scopus/WoS, 13 – в журналах, рекомендованных ВАК.

Работа соответствует паспорту специальности 25.00.36 «Геоэкология»:
 1.9. Оценка состояния, изменений и управление современными ландшафтами; 1.14. Моделирование геоэкологических процессов; 1.16. Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов; 1.17. Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

Структура работы и объем. Диссертация состоит из двух томов. Первый том состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы (436 источников, в том числе 113 на иностранных языках). Общий объем первого тома – 428 страниц, включая 76 рисунков, 29 таблиц. Второй том состоит из 9 приложений. Общий объем второго тома – 112 страниц, включая 140 рисунков, 9 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 Теоретические аспекты исследования функционирования и динамики региональных геоэкосистем

В разделе представлены результаты исследований развития представлений о функционировании и динамике региональных геоэкосистем. Особое внимание уделено функционированию и динамике геоэкосистем на фоне климатических изменений. Выявлены этапы развития представлений о функционировании и динамике геоэкосистем. Показано, что несмотря на значительное количество публикаций в этом направлении, вопросы теории и методологии изучения процессов функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях климатических изменений до конца не разработаны.

Сформулированы теоретико-методологические аспекты исследования функционирования и динамики геоэкосистем в условиях климатических изменений. Обоснованы операционно-территориальные и операционно-временные единицы исследования. В качестве операционно-территориальной единицы исследования обосновано использование ландшафтов, как определенным образом организованных в пространстве геоэкосистем регионального масштаба, в пределах которых и учитывая свойства которых и осуществляется (должно осуществляться) управление природопользованием. В этой связи в качестве операционно-

территориальных единиц исследования в данной работе обосновано использование ландшафтов Крымского полуострова как региональных геоэкосистем, которые, следуя определениям термина «экосистема» Ю. Одума и «ландшафт», принятым в ландшафтной экологии, являются обособленными в пространстве сложными самоорганизующимися, саморегулирующимися и саморазвивающимися системами, характеризующимися наличием открытых и замкнутых, стабильных в пространстве и времени потоков вещества и энергии между биотической и абиотической составляющими.

В качестве операционно-временной единицы исследования обосновано использование циркуляционных эпох и периодов Северного полушария (таблица 1), что позволяет получать циркуляционно обоснованные климатические нормы и статистические поверхности факторных пространств, что является важным как с точки зрения исследования реакции геоэкосистем на климатические изменения, так и с точки зрения выработки рекомендаций в области оптимизации природопользования.

Таблица 1 – Границы циркуляционных эпох Северного полушария и периодов внутри третьей эпохи (Кононова, 2009)

Циркуляционная эпоха	Годы	Периоды внутри эпох	Годы
Меридиональная северная (МСЦЭ)	1899–1915		
Зональная (ЗЦЭ)	1916–1956		
Меридиональная южная (МЮЦЭ)	С 1957 по наст. время	Одновременного увеличения продолжительности меридиональных северных и южных процессов (первый период МЮЦЭ)	1957–1969
		Повышенной продолжительности зональных процессов (второй период МЮЦЭ)	1970–1980
		Быстрого роста продолжительности меридиональных южных процессов (третий период МЮЦЭ)	1981–1997
		Уменьшения продолжительности меридиональных южных процессов и роста меридиональных северных (четвертый период МЮЦЭ)	1998–2019

Обосновано понимание функционирования и динамики региональных геоэкосистем. Показано, что под функционированием региональных геоэкосистем понимается совокупность процессов перемещения, обмена и трансформации вещества и энергии в ландшафте, которые в условиях климатических изменений определяют индивидуальную стратегию региональных геоэкосистем, обуславливающую их дальнейшую динамику и/или развитие. Принято представление о динамике геоэкосистем как изменении в их этологии, которое не приводит к смене инварианта.

Учитывая сформулированные представления о региональных геоэкосистемах, их функционировании и динамике в условиях климатических изменений, базируясь на уже сложившейся методологии и методике исследования функционирования и динамики геоэкосистем, изменения климата,

биоразнообразия, а также на личных исследованиях, предложена программа исследований функционирования и динамики региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях региональных проявлений изменения климата (рисунок 1).

Программа исследований содержит следующие ключевые блоки:

- исследование в области теоретических аспектов изучения функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях изменения климата; разработка теоретико-методологических основ исследования экологических особенностей функционирования и динамики геоэкосистем в условиях изменения климата;
- формирование методики исследований в области изучения функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях изменения климата;
- формирование методики исследования потенциального биологического разнообразия региональных геоэкосистем как основы оценки уязвимости геоэкосистем и выработки предложений по оптимизации системы природопользования в условиях изменения климата;
- изучение природных факторов и условий функционирования и динамики региональных геоэкосистем на территории Крымского полуострова;
- исследование функционирования и динамики региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата;
- построение картографической модели потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова;
- на основе полученных данных об изменении климата и биологическом разнообразии изучение уязвимости региональных геоэкосистем к изменению климата и антропогенной деятельности; разработка предложений по оптимизации системы природопользования на территории Крымского полуострова.

Раздел 2 Методика исследований

Изучение пространственно-временной динамики метеоэлементов основывалось на получении среднемноголетних карт рассматриваемых характеристик для каждой циркуляционной эпохи и периода. Вычитание карт последующего временного периода из предыдущего позволяет увидеть и проанализировать пространственно-временные изменения полей метеоэлементов.

Расчеты поступающей солнечной радиации выполнялись на основе данных реанализа, по материалам Европейской организации спутниковой метеорологии (EUMETSAT). Карты температур воздуха над Крымским полуостровом были построены с использованием программы ClimateEU. Карты атмосферных осадков были построены на основе регрессионного моделирования. В качестве критериев моделирования были рассмотрены факторы, оказывающие влияние на пространственную дифференциацию осадков в Крыму. Все работы производились в программе ArcGIS в географической системе координат UTM WGS 1984.

Изучение функционирования региональных геоэкосистем основывается на рассмотрении пространственно-временной динамики элементов радиационного баланса, температуры и количества осадков.

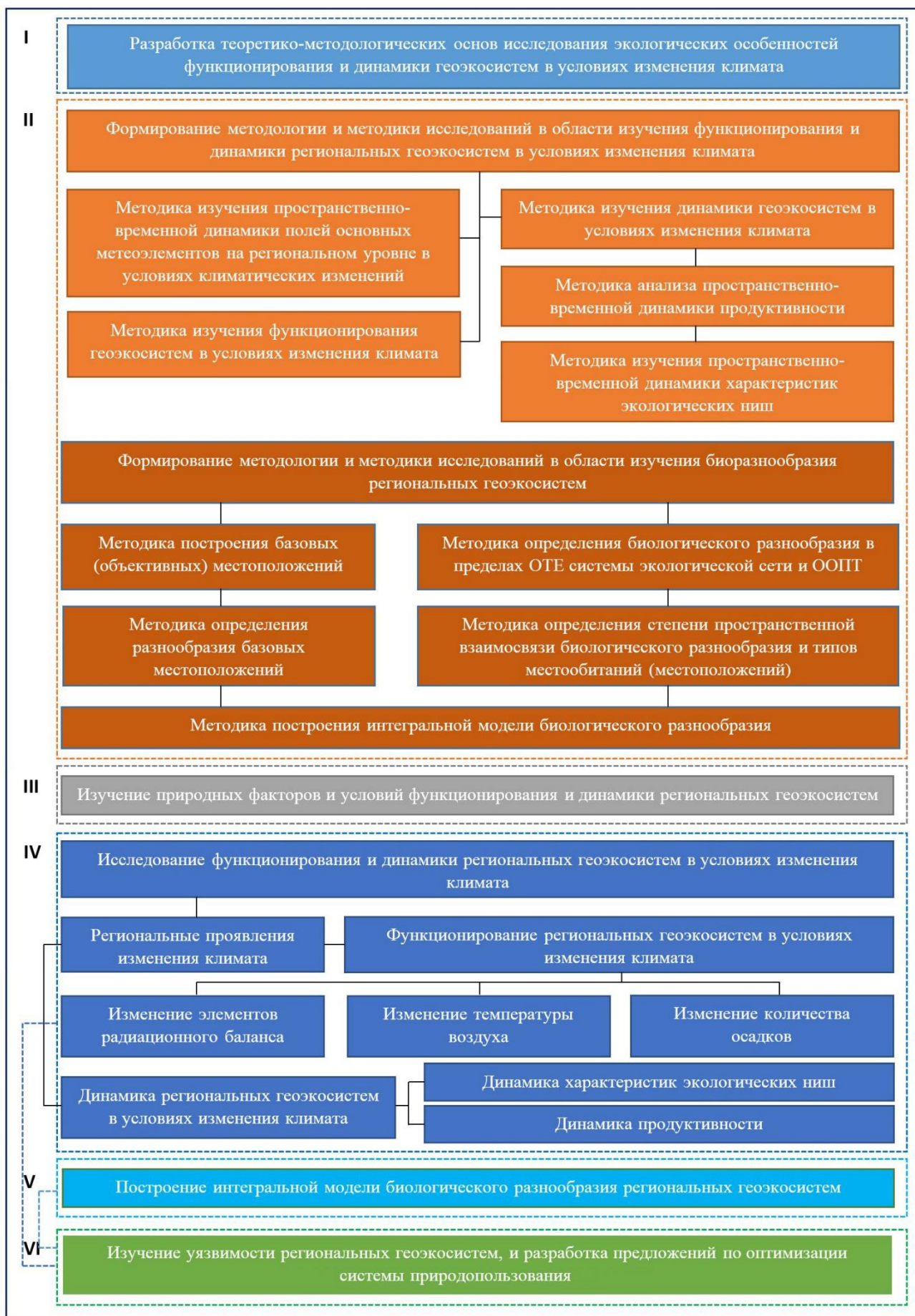


Рисунок 1 – Программа исследований функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях изменения климата

В качестве операционно-территориальных единиц исследования выступают ландшафтные контуры, для которых характерны те или иные типы лесных или степных сообществ. Полученные карты основных метеоэлементов позволяют оценить пространственно-временную динамику величин, а также выявить предпосылки для развития геосистем посредством оценки динамики внутренней факторной неоднородности. Таким образом, оценка функционирования региональных геосистем состоит из ряда этапов:

- 1) расчет статистических характеристик величин элементов радиационного баланса, температуры воздуха и количества осадков в региональных геосистем;
- 2) анализ изменчивости рассматриваемых величин;
- 3) оценка факторной неоднородности (энтропии) региональных геосистем;
- 4) анализ изменчивости величины факторной энтропии.

В качестве интегральных характеристик динамики региональных геосистем были выбраны продуктивность и изменение характеристик экологических ниш региональных геосистем. В качестве материала исследований были использованы космические снимки Landsat за период с 1979 по 2017 г. В качестве ОТЕ анализа использована ландшафтно-типологическая карта Крымского полуострова, составленная Г. Е. Гришанковым. С целью анализа динамики продуктивности использовался вегетационный индекс NDVI.

Исследование биоразнообразия осуществлялось на двух пространственных уровнях: региональном (элементы экологической сети) и локальном (ООПТ).

Работа включала в себя несколько этапов: построение картографической модели базовых местоположений; определение разнообразия базовых местоположений (местообитаний) в пределах региональных геосистем; определение биологического разнообразия в пределах операционно-территориальных единиц системы экологической сети и ООПТ; определение степени пространственной взаимосвязи биологического разнообразия и типов местообитаний (местоположений); построение интегральной модели биологического разнообразия.

На основе полученной интегральной модели потенциального биологического разнообразия и полученных данных об изменении климата в Крыму, была выполнена оценка уязвимости региональных геосистем Крыма к внешним воздействиям. Сформулированы предложения по оптимизации природопользования в Крыму.

Раздел 3 Природные условия Крымского полуострова

В разделе выполнено описание физико-географических условий территории Крымского полуострова на основе детальных карт и баз данных с точки зрения предпосылок формирования процессов функционирования и динамики геосистем. Получен пакет климатических карт Крымского полуострова, содержащий карты прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации и их среднеквадратические отклонения, карты термического режима и количества атмосферных осадков в Крыму. Построена модель ландшафтного покрова территории Крымского полуострова.

Раздел 4 Функционирование и динамика региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата

Региональные проявления изменения климата в Крыму. Изменение климата в Крыму характеризуется региональным аспектом, связанным с неравномерностью и разнонаправленностью протекающих процессов в различных его регионах, что обусловлено спецификой ландшафтной дифференциации территории полуострова. В результате исследований были получены карты температуры воздуха в Крыму для каждой циркуляционной эпохи и периода (рисунок 2), а также карты динамики полей температуры воздуха в Крыму в связи со сменой циркуляционных эпох и периодов Северного полушария (рисунок 3). Выявлено, что для большей части территории Крымского полуострова в период ЗЦЭ изменение температуры воздуха имеет субмеридиональную направленность, а для МЮЦЭ – субширотную. При этом территория Керченского полуострова сохраняет субмеридиональный характер изменения температуры воздуха во все рассматриваемые эпохи и периоды.

Среднемноголетние значения температуры на Крымском полуострове возрастают в первом периоде МЮЦЭ в пределах от 0,35 до 0,57 °С и, значительно, в последнем периоде МЮЦЭ – от 0,83 до 0,99 °С. Смены второго и третьего периодов МЮЦЭ характеризуются самыми плавными переходами, преимущественно в сторону понижения среднегодовой температуры в пределах от 0,22 до 0,08 °С и от 0,14 до 0,11 °С соответственно. В последний период МЮЦЭ среднемноголетнее значение температуры воздуха повысилось за счет увеличения максимума температур в летние месяцы и уменьшением минимума в зимние, что формирует рост континентальности климата на полуострове.

На основе архивных данных метеостанций с использованием регрессионного моделирования были рассчитаны среднемноголетние карты сумм осадков для каждой циркуляционной эпохи и периода, а также карты изменений количества осадков при смене циркуляционных эпох и периодов (рисунки 4, 5). Из карт видно, что самые плавные переходы были характерны для первой и третьей смены, максимальная амплитуда которых составила 240 и 222 мм соответственно. Наиболее сильные изменения произошли при последней, четвертой смене периодов с максимальной амплитудой 575 мм. В северной и центральной частях Крыма наблюдается относительная устойчивость в количестве выпадающих осадков – изменения не превышают ± 20 мм. В западной части Крыма и Керченского полуострова этот показатель чуть выше и колеблется в пределах – 40...+50 мм. Главная гряда и юго-западная часть Внутренней гряды подвержены наиболее интенсивным изменениям количества выпадающих осадков – от –260 до 392 мм. В целом для территории Крымского полуострова характерна тенденция к увеличению количества атмосферных осадков.

Функционирование региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата. Основным источником энергии всех процессов в геоэкосистеме является солнечная радиация. Именно поэтому с изменением радиационного баланса геоэкосистем запускается вся цепь событий, связанных с реакцией на климатические изменения.

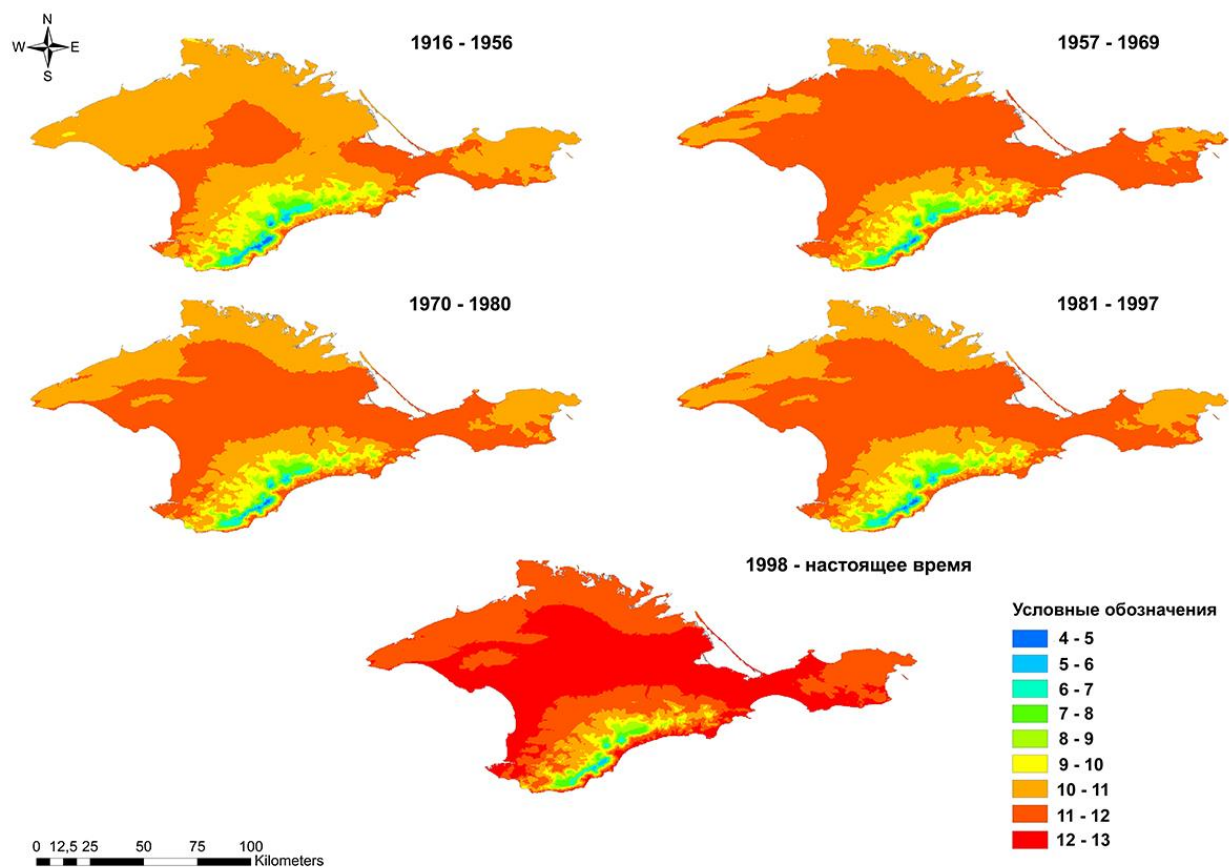


Рисунок 2 – Изменение температуры воздуха в Крыму по циркуляционным эпохам и периодам

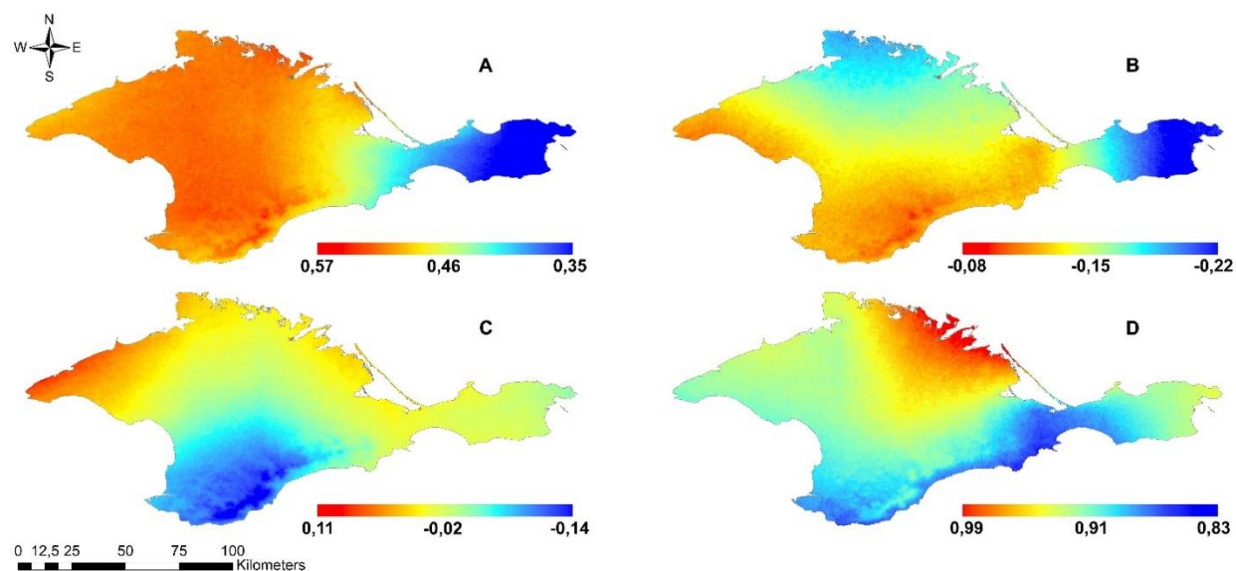


Рисунок 3 – Пространственно-временная динамика температуры воздуха в Крыму: А) между ЗЦЭ и первым периодом МЮЦЭ; В) между первым и вторым периодами МЮЦЭ; С) между вторым и третьим периодами МЮЦЭ; D) между третьим и четвертым периодами МЮЦЭ

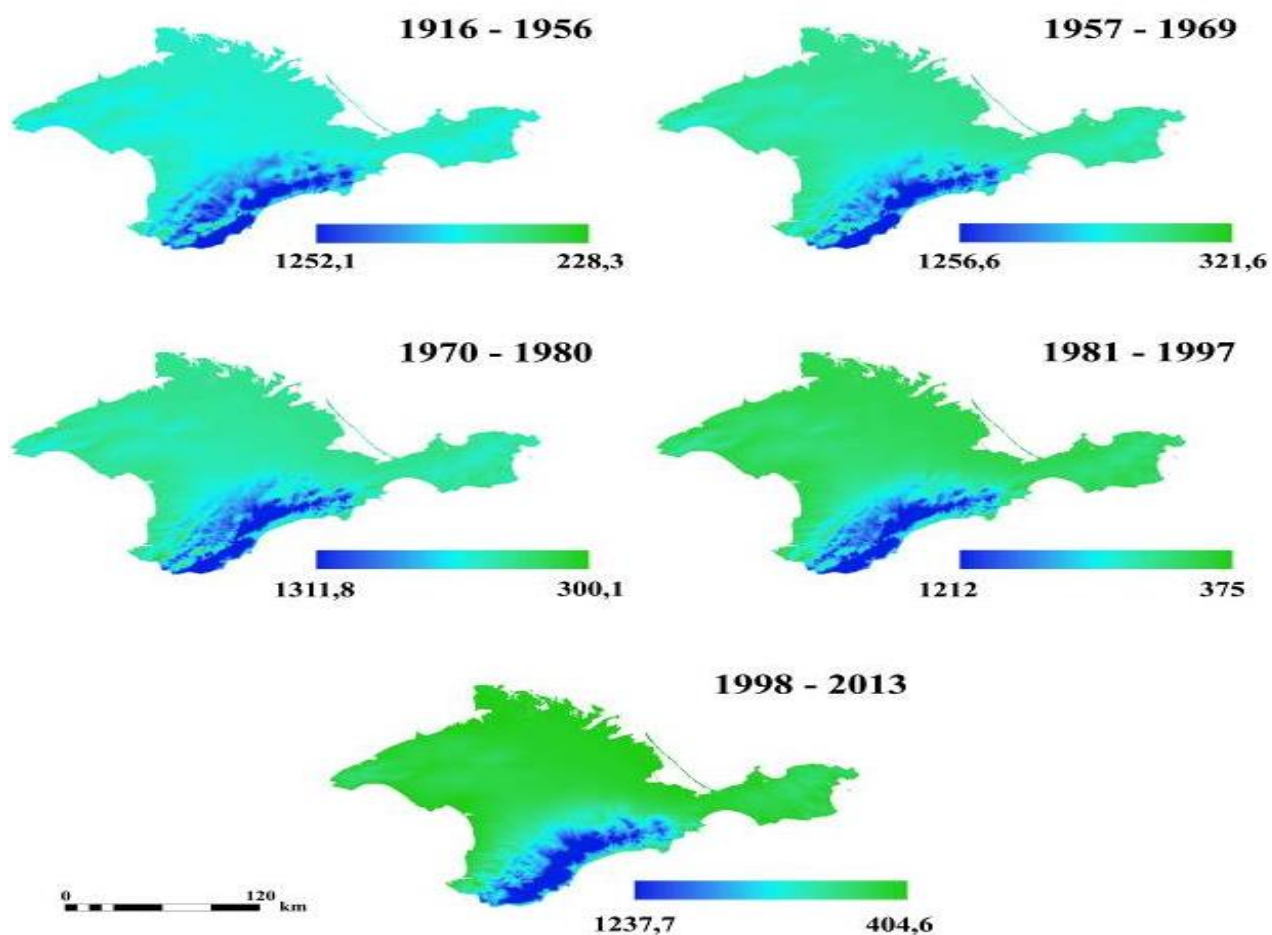


Рисунок 4 – Изменение количества атмосферных осадков в Крыму по циркуляционным эпохам и периодам

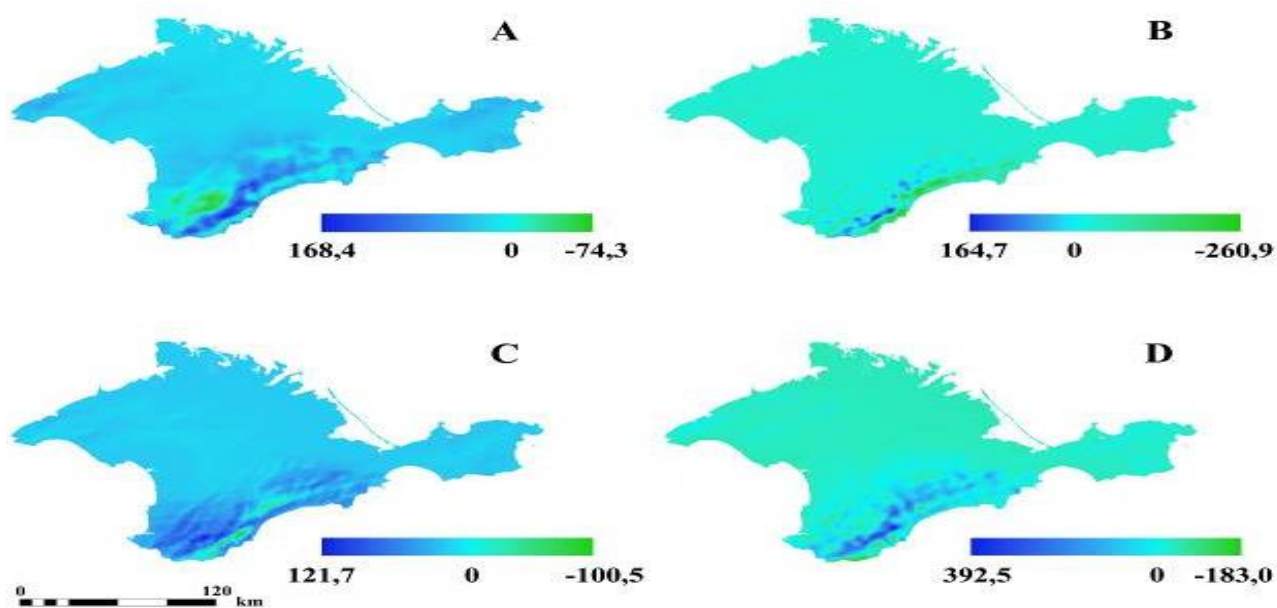


Рисунок 5 – Пространственно-временные изменения количества осадков в Крыму. Условные обозначения см. в подписи к рисунку 3

Изменение элементов радиационного баланса. Геоэкосистемы дубовых лесов. Для исследования радиационного баланса геоэкосистем дубовых лесов

Крымского полуострова были выбраны геоэкосистемы пушистодубовых и скальnodубовых лесов, представленные на южном и северном макросклоне на различных ландшафтных уровнях. Структура радиационного баланса рассматриваемых лесных геоэкосистем представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Радиационный баланс геоэкосистем дубовых лесов Крымского полуострова, МДж/м²·год

№ контура	Коротковолновая радиация			Длинноволновая радиация			В
	Q	R	B _s	E _s	E _a	E _e	
46	5095,0	917,1	4177,9	11586,2	9135,7	2450,5	1727,4
54	5061,2	911,0	4140,9	11475,6	9021,2	2454,4	1686,5
71	4711,3	848,0	3863,3	11308,8	8805,3	2503,3	1359,7
92	5227,2	940,9	4286,3	11385,6	8922,7	2462,9	1823,5
120	4979,8	896,4	4083,4	11559,1	9120,2	2438,9	1644,6

Примечание: Q – суммарная солнечная радиация; R – отраженная солнечная радиация; B_s – поглощенная солнечная радиация; E_s – поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы; E_a – противоизлучение атмосферы; E_e – эффективное излучение; В – радиационный баланс.

Для всех рассматриваемых лесных геоэкосистем характерен положительный радиационный баланс, который снижается с увеличением высотного расположения лесов на северном макросклоне. Для южного макросклона наблюдается обратная картина: югобережные низкогорные пушистодубовые лесные геоэкосистемы характеризуются существенно более низкими значениями величин радиационного баланса, чем остальные рассматриваемые контуры. Это объясняется рядом факторов. Основной – пространственная дифференциация полей суммарной солнечной радиации над территорией Крымского полуострова: максимальные значения поступления солнечной радиации в Крыму характерны не для Южного берега Крыма, а для западного побережья.

Зона распространения пушистодубовых сообществ, характеризующаяся максимальной площадью без дефрагментации в пространстве, характерна для Юго-Восточного Крыма, где и располагается выбранный в работе ландшафтный контур. Кроме того, для Юго-Восточного Крыма существует эффект затенения солнечной радиацией от Главной гряды Крымских гор, что также снижает количество поступающей солнечной радиации и, соответственно, величины радиационного баланса. Максимальные значения элементов радиационного баланса характерны для среднегорных скальnodубовых лесов южного макросклона, что объясняется высокими значениями крутизны рельефа в зоне их произрастания, определяющей высокие значения суммарной солнечной радиации и практически полное отсутствие эффекта затенения и закрытости склонов.

Для всех рассматриваемых лесных геоэкосистем характерны высокие значения величин потока теплового излучения подстилающей поверхности, направленного в сторону атмосферы, что объясняется его формированием не столько за счет приходящей коротковолновой радиации, сколько за счет циркуляции воздушных масс над Крымским полуостровом.

Являясь функцией от приходящей суммарной солнечной радиации, а также циркуляции воздушных масс на региональном и локальном уровне, тепловой поток от земной поверхности компенсируется противоизлучением атмосферы, выравнивая значения эффективного излучения. В результате значения эффективного излучения закономерно возрастают с повышением высотного уровня как на северном, так и на южном макросклоне Крымских гор.

Геоэкосистемы хвойных лесов Структура радиационного баланса хвойных геоэкосистем Горного Крыма представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Радиационный баланс хвойных лесов Горного Крыма, МДж/м²·год. Условные обозначения см. в примечании к таблице 2

№ контура	Коротковолновая радиация			Длинноволновая радиация			В
	Q	R	B _s	E _s	E _a	E _e	
Сосновые леса							
93	5072,5	913,0	4159,4	11110,0	8592,4	2517,6	1641,8
118	5121,2	921,8	4199,4	11405,0	8941,8	2463,2	1736,2
Можжевеловые леса							
57	5145,5	926,2	4219,3	11478,8	9030,7	2448,0	1771,3
108	5199,0	935,8	4263,2	11570,3	9143,5	2426,8	1836,4

Обращает на себя внимание увеличение величины радиационного баланса с уменьшением абсолютной высоты местности, что связано с ростом значений суммарной солнечной радиации с севера на юг. Вместе с тем с севера на юг наблюдается снижение значений эффективного излучения, что может быть объяснено рядом факторов. Из таблицы 3 видно, что с севера на юг наблюдается закономерный рост значений потока теплового излучения земной поверхности, что связано с ростом температуры воздуха при снижении абсолютной высоты рельефа.

Вместе с тем отмечен и рост противоизлучения атмосферы, вызванный увеличением значений облачности на ЮБК, обусловленной барьерным влиянием гор и сезонными эффектами, связанными с прогреванием морской акватории. Рассчитанная амплитуда роста противоизлучения атмосферы гораздо выше, чем амплитуда роста значений теплового излучения подстилающей поверхности, что приводит к эффекту снижения величины эффективного излучения по направлению с севера на юг. Таким образом, сосновые среднегорные лесные геоэкосистемы южного макросклона, территориально расположенные выше по абсолютной высоте и севернее по своему произрастанию, получают, по сравнению с другими выбранными ключевыми участками, минимальные величины суммарной солнечной радиации, но характеризуются максимальными значениями эффективного излучения. Можжевеловые леса южного бережья, напротив, характеризуются максимальными значениями инсоляции при минимальном эффективном излучении, обусловленном высокими значениями противоизлучения атмосферы. Этот эффект в условиях роста температуры воздуха может привести к смене сообществ, обусловленной ростом значений температуры и влажности воздуха на побережье, а также увеличением температуры и снижением влажности воздуха, вызванным ростом эффективного излучения вверх по южному макросклону Крымских гор. Таким образом, можно сделать вывод о том, что

среднегорные сосновые лесные геоэкосистемы южного макросклона Крымских гор являются наиболее уязвимыми среди естественных хвойных лесных геоэкосистем к климатическим изменениям.

Геоэкосистемы буковых лесов на Крымском полуострове формируют свой ландшафтный пояс как на северном, так и на южном макросклоне Крымских гор. В таблице 4 приведены рассчитанные значения элементов радиационного баланса данных геоэкосистем.

Таблица 4 – Радиационный баланс буковых лесов Горного Крыма, МДж/м²·год. Условные обозначения см. в примечании к таблице 2

№ контура	Коротковолновая радиация			Длинноволновая радиация			В
	Q	R	B _s	E _s	E _a	E _e	
75	4675,0	794,8	3880,3	11208,9	8691,0	2517,9	1362,4
101	4989,6	848,2	4141,3	11104,7	8575,8	2529,0	1612,3

Из таблицы 4 видно, что буковые леса южного макросклона характеризуются значительно большими значениями радиационного баланса, чем леса северного макросклона. Эта разница достигается за счет разницы в количестве инсоляции.

Буковые леса южного макросклона имеют значения эффективного излучения выше, чем леса северного макросклона. При этом значения теплового потока земной поверхности в сторону атмосферы, а также противоизлучения атмосферы выше у геоэкосистем северного макросклона.

Превышение величины эффективного излучения на южном макросклоне достигается за счет большей разности между элементами длинноволновой части радиационного баланса. Это объясняется несколькими моментами, связанными с микроклиматическими особенностями выбранных ключевых участков: ландшафтный контур северного макросклона находится значительно ниже контура южного макросклона, что определяет большие значения температуры, а соответственно, и более высокие значения теплового потока земной поверхности в сторону атмосферы. Кроме того, ключевой участок южной макроэкспозиции находится в циркуляционной тени между Демерджи-яйлой и Караби-яйлой, что определяет меньшие значения облачности, а соответственно, и меньшие значения противоизлучения атмосферы.

Яйлинские геоэкосистемы. Полученные значения элементов радиационного баланса яйлинских ландшафтов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Радиационный баланс яйлинских геоэкосистем Горного Крыма, МДж/м²·год. Условные обозначения см. в примечании к таблице 2

№ контура	Коротковолновая радиация			Длинноволновая радиация			В
	Q	R	B _s	E _s	E _a	E _e	
80	4889,9	1075,8	3814,1	11044,3	8504,4	2539,9	1274,2
85	4915,4	1081,4	3834,0	10744,3	8171,8	2572,5	1261,5

Из таблицы видно, что значения элементов радиационного баланса рассматриваемых контуров мало отличаются друг от друга. Для территории яйлинских ландшафтов характерно значительное преобладание поглощенной

радиации над отраженной. Значения поглощенной солнечной радиации достигают 78 % от суммарной солнечной радиации. Значения потока теплового излучения подстилающей поверхности, направленные в сторону атмосферы, значительно превосходят по своей величине значения коротковолновой радиации, что типично для условий Крымского полуострова и объясняется переносами тепловой энергии воздушными массами. Вместе с тем высокие значения противоизлучения атмосферы, определяющиеся здесь высокими значениями орографической облачности, а также эффектом задержания облаков горными хребтами, выравнивают величину эффективного излучения, которое достигает на яйлах 67 % от значений поглощенной солнечной радиации.

Геоэкосистемы Равнинного Крыма. Рассчитанные значения элементов радиационного баланса ключевых участков представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Радиационный баланс ландшафтов Равнинного Крыма, МДж/м²·год. Условные обозначения см. в примечании к таблице 2

№ контура	Коротковолновая радиация			Длинноволновая радиация			B
	Q	R	Bs	Es	Ea	Ee	
Гидроморфный ландшафтный уровень							
1	4926,0	443,3	4482,7	11586,6	9096,9	2489,8	1992,9
11	4914,0	442,3	4471,7	11569,9	9067,4	2502,5	1969,2
14	4905,8	441,5	4464,2	11607,2	9105,2	2502,0	1962,3
19	4898,6	440,9	4457,7	11628,3	9128,4	2499,9	1957,8
Плакорный ландшафтный уровень							
22	5049,2	454,4	4594,8	11623,4	9149,1	2474,2	2120,6
31	5127,7	461,5	4666,2	11645,1	9201,1	2444,0	2222,2

Пространственная дифференциация радиационного баланса геоэкосистем характеризуется возрастанием значений в направлении от центра полуострова к побережью. Это явление в основном определяется пространственной дифференциацией суммарной солнечной радиации, максимум которой характерен для западного побережья, где и наблюдаются максимальные значения радиационного баланса. Именно этим и объясняются гораздо большие величины радиационного баланса и значений поступающей солнечной радиации для плакорного ландшафтного уровня, где выбранные ключевые участки приурочены к западному побережью полуострова. Значения отраженной и поглощенной солнечной радиации закономерно повторяют пространственную дифференциацию значений суммарной солнечной радиации.

Несмотря на закономерное распределение величин радиационного баланса и поступающей суммарной солнечной радиации, значения эффективного излучения усложняют наблюдаемую картину, увеличиваясь по направлению от побережья к центру полуострова, что связано с ростом в этом направлении температуры воздуха и континентальности климата. При этом формирование такого распределения значений эффективного излучения происходит как за счет синхронного поведения в пространстве полей потока теплового излучения подстилающей поверхности, направленного в сторону атмосферы, так и за счет противоизлучения атмосферы.

В межгодовой динамике величин радиационного баланса во всех рассматриваемых геоэкосистемах выявлены два периода: до конца 1997 и с начала 1998 года, что согласуется со сменой циркуляционных периодов Северного полушария. Для каждой из рассматриваемых геоэкосистем выявлены особенности изменения величин радиационного баланса при смене циркуляционных периодов. Выявлено, что в первый период с 1983 по 1997 год значения радиационного баланса намного ниже чем во второй период с 1998 по 2013 гг. Кроме того, второй период характеризуется значительным ростом величины радиационного баланса во всех рассматриваемых геоэкосистемах.

Изменение температуры воздуха. Изменение температуры воздуха по ландшафтным контурам Крымского полуострова представлено на рисунке 6. Для каждого ландшафтного контура была получена база данных, отражающая статистические характеристики изменчивости температуры воздуха в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария.

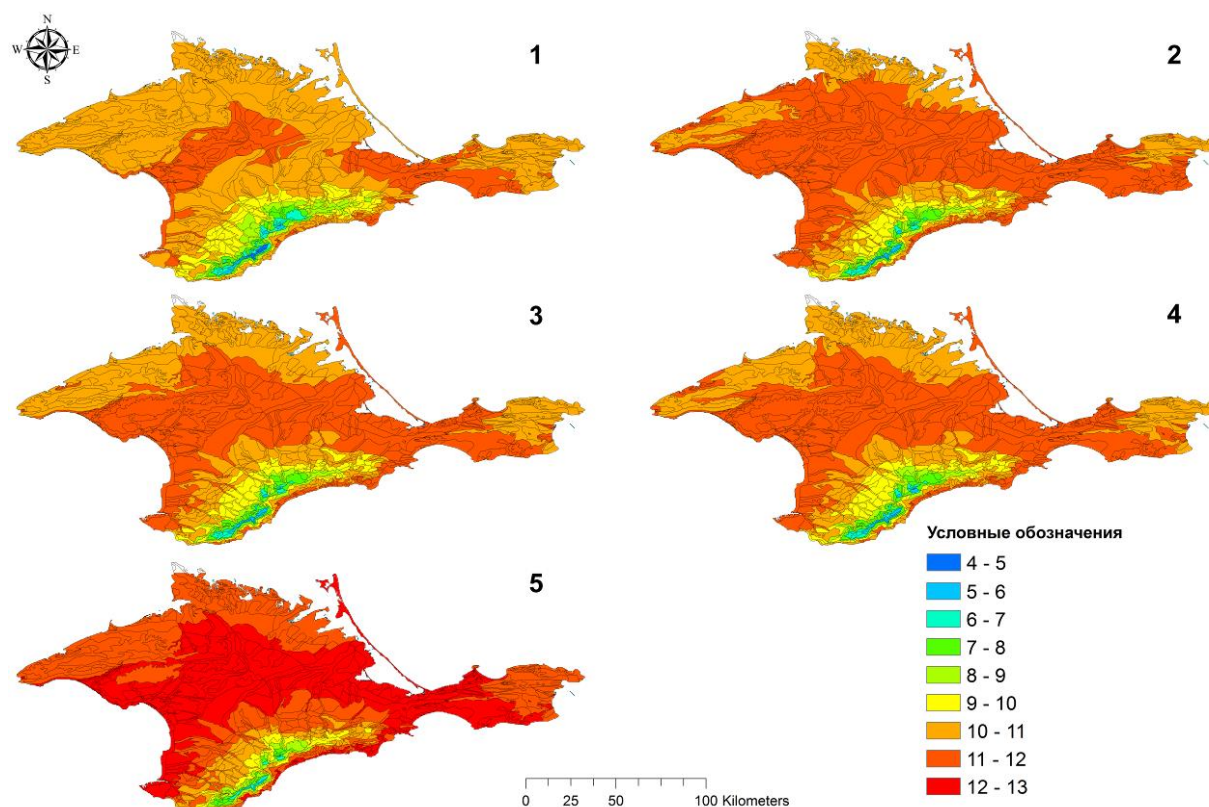


Рисунок 6 – Среднеголетняя температура воздуха в ландшафтах Крымского полуострова по циркуляционным эпохам и периодам, °С: 1) ЗЦЭ; 2) первый период МЮЦЭ; 3) второй период МЮЦЭ; 4) третий период МЮЦЭ; 5) четвертый период МЮЦЭ

При сравнении показателей средних температур воздуха на Крымском полуострове очевидна общая тенденция изменения – повышение среднегодовых значений температуры при смене ЗЦЭ первым периодом МЮЦЭ, снижение температуры во втором периоде МЮЦЭ и резкое потепление в четвертом периоде МЮЦЭ.

Геоэкосистемы Горного Крыма. Результаты расчета среднесуточной температуры воздуха, ее стандартного отклонения в пределах контура и значения энтропии по рассматриваемым циркуляционным эпохам и периодам приведены в таблице 7. Во всех рассматриваемых геоэкосистемах температура воздуха по циркуляционным эпохам и периодам подвержена одним и тем же изменениям – после ЗЦЭ в первом периоде МЮЦЭ наступает рост средних значений температуры, который затем падает во втором и третьем периодах МЮЦЭ, достигая самых минимальных значений, и резкий рост температуры в четвертом периоде МЮЦЭ с максимальными значениями во всех циркуляционных эпохах и периодах.

В целом для большинства геоэкосистем ключевых участков характерны минимальные значения энтропии и стандартного отклонения для второго периода МЮЦЭ.

И если для всех ключевых участков в дальнейшем наблюдается рост стандартного отклонения в третьем и уменьшение в четвертом периоде МЮЦЭ, то значения энтропии ведут себя не столь выражено. Однако в большинстве случаев к четвертому периоду МЮЦЭ наблюдаются устойчивые тренды роста значений энтропии, что свидетельствует о формировании в рассматриваемых геоэкосистемах стратегии для их внутренней дифференциации и развития. Это характерно для геоэкосистем дубовых и особенно хвойных лесов, в то время как в буковых лесах тренд изменения энтропии находится близко к нулевому уровню, а в геоэкосистеме яйлинских ландшафтов – наблюдается отрицательный тренд, т.е. увеличение температуры приводит к стратегии стабилизации геоэкосистем.

Геоэкосистемы Равнинного Крыма. Результаты расчетов динамики температурных значений по ключевым участкам Равнинного Крыма приведены в таблице 8. Общей закономерностью наблюдаемых изменений является рост температуры от периферии к центру полуострова в условиях гидроморфного ландшафтного уровня, что закономерно и связано с ростом континентальности климата в этом же направлении.

На плакорном ландшафтном уровне наблюдается обратная картина: происходит рост значений температуры воздуха по направлению к побережью, что определяется как максимальными величинами суммарной солнечной радиации на западном побережье, так и бризовой циркуляцией, повышающей зимние температуры в этой части полуострова. Второй общей закономерностью является рост температуры воздуха во всех ландшафтных контурах в период смены ЗЦЭ первым периодом МЮЦЭ, последующее снижение на протяжении второго и третьего периодов и резкий рост в четвертый период МЮЦЭ.

Анализ динамики стандартного отклонения и энтропии показывает отсутствие синхронности в их изменении по рассматриваемым ключевым участкам: аккумулятивные недреннированные низменности с солончаками и галофитными лугами (контур 1) характеризуются снижением стандартного отклонения при смене ЗЦЭ первым периодом МЮЦЭ и далее ростом стандартного отклонения до смены третьего периода МЮЦЭ четвертым, в котором начинается резкое снижение значений стандартного отклонения при росте среднегодовых значений температуры воздуха.

Таблица 7 – Результаты расчетов среднегодовых значений температуры воздуха (°C), стандартного отклонения и энтропии на территории ключевых участков Горного Крыма. Условные обозначения 1–5 см. в подписи к рисунку 6

№ контура	Параметр	Циркуляционные эпохи и периоды				
		1	2	3	4	5
Дубовые леса						
46	T _{ср}	10,45	11,00	10,90	10,82	11,70
	T _{ст. откл.}	0,2621	0,2599	0,2595	0,2625	0,2602
	E	0,499837	0,375758	0,49591	0,37009	0,48745
54	T _{ср}	9,73	10,26	10,16	10,08	10,94
	T _{ст. откл.}	0,7532	0,7506	0,7483	0,7570	0,7543
	E	0,364875706	0,35723827	0,361375241	0,364168518	0,360080096
71	T _{ср}	8,55	9,10	8,99	8,92	9,81
	T _{ст. откл.}	0,3372	0,3348	0,3325	0,3378	0,3374
	E	0,394112749	0,40004946	0,371965344	0,390479736	0,392126668
92	T _{ср}	9,14	9,66	9,56	9,47	10,32
	T _{ст. откл.}	0,9146	0,9091	0,9069	0,9166	0,9111
	E	0,35472499	0,325985869	0,40981255	0,391615495	0,401933703
120	T _{ср}	10,28	10,80	10,70	10,64	11,50
	T _{ст. откл.}	0,5994	0,5962	0,5950	0,5998	0,5964
	E	0,31172287	0,313390962	0,319094601	0,317331676	0,312600317
Хвойные леса						
	T _{ср}	9,75	10,27	10,17	10,09	10,94
	T _{ст. откл.}	0,2398	0,2376	0,2375	0,2393	0,2375
	E	0,412146834	0,412146834	0,417209722	0,347811899	0,5
93	T _{ср}	7,25	7,79	7,69	7,58	8,45
	T _{ст. откл.}	1,2586	1,2513	1,2481	1,2598	1,2537
	E	0,288058523	0,288588969	0,291233849	0,293369548	0,312542688
108	T _{ср}	10,35	10,87	10,76	10,69	11,53
	T _{ст. откл.}	0,4865	0,4817	0,4811	0,4849	0,4811
	E	0,387486838	0,387486838	0,376167633	0,393441584	0,408982547
118	T _{ср}	9,27	9,80	9,69	9,60	10,46
	T _{ст. откл.}	1,0019	0,9963	0,9936	1,0035	0,9986
	E	0,2972306	0,293477943	0,288748887	0,314405944	0,31713118
Буковые леса						
75	T _{ср}	7,89	8,43	8,33	8,25	9,14
	T _{ст. откл.}	0,3378	0,3359	0,3338	0,3383	0,3376
	E	0,393837	0,417863	0,353237	0,388791	0,392915
101	T _{ср}	7,19	7,73	7,64	7,55	8,43
	T _{ст. откл.}	0,8489	0,8453	0,8435	0,8505	0,8456
	E	0,38465589	0,38366987	0,38366987	0,335711136	0,38366987
Яйлинские ландшафты						
80	T _{ср}	6,76	7,30	7,21	7,12	8,01
	T _{ст. откл.}	0,3626	0,3614	0,3606	0,3635	0,3637
	E	0,403940925	0,400932336	0,403857672	0,398824905	0,400788266
85	T _{ср}	4,70	5,26	5,18	5,04	5,93
	T _{ст. откл.}	0,5033	0,5014	0,4993	0,5056	0,5044
	E	0,36349186	0,356280663	0,353648358	0,32643308	0,307653786

Таблица 8. Результаты расчетов среднегодовых значений температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), стандартного отклонения и факторной энтропии на территории ключевых участков Равнинного Крыма по циркуляционным эпохам и периодам. Условные обозначения 1–5 см. в подписи к рисунку 6

№ контура	Параметр	Циркуляционные эпохи и периоды				
		1	2	3	4	5
Гидроморфный уровень						
1	$T_{\text{ср}}$	10,43	10,95	10,80	10,84	11,80
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,1074	0,1028	0,1055	0,1073	0,1048
	E	0,4927	0,5000	0,2427	0,3542	0,2181
11	$T_{\text{ср}}$	10,37	10,90	10,75	10,77	11,73
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,0264	0,0263	0,0270	0,0257	0,0245
	E	0	0,1240	0	0	0
14	$T_{\text{ср}}$	10,58	11,11	10,97	10,98	11,93
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,0885	0,0849	0,0882	0,0883	0,0866
	E	0,2621	0,2043	0,4434	0,4001	0,4998
19	$T_{\text{ср}}$	10,75	11,27	11,13	11,14	12,08
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,0678	0,0652	0,0667	0,0671	0,0647
	E	0	0	0,0829	0,0755	0,1229
Плакорный уровень						
22	$T_{\text{ср}}$	10,61	11,16	11,04	11,06	11,96
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,0743	0,0753	0,0708	0,0660	0,0660
	E	0,0120	0	0,2567	0,1188	0,4988
31	$T_{\text{ср}}$	10,75	11,29	11,18	11,22	12,11
	$T_{\text{ст. откл.}}$	0,0844	0,0844	0,0865	0,0851	0,0834
	E	0	0,1003	0	0	0,0501

Таким образом, для данного типа геоэкосистем характерно снижение значений стандартного отклонения на фоне роста среднегодовых значений температуры воздуха. В свою очередь, значения энтропии не столь однозначны: возникает небольшой рост значений факторной энтропии в третий период МЮЦЭ при общем тренде снижения ее величины. Таким образом, можно говорить о том, что рост температуры в Присивашье формирует стратегию стабилизации геоэкосистем.

Аналогичная ситуация характерна и для аккумулятивных плоских слабодренированных равнин с полынно-житняковыми и ковылково-типчачковыми степями (контур 11), хотя в данном случае максимум значений стандартного отклонения приходится на второй период МЮЦЭ. После его смены третьим начинается планомерное снижение значений стандартного отклонения. Величина энтропии незначительно возрастает при смене ЗЦЭ первым периодом МЮЦЭ, а далее, как и в ЗЦЭ, возвращается в нулевое значение.

Аккумулятивные плоские слабодренированные равнины с бедноразнотравными ковыльно-типчачковыми и полынно-типчачковыми степями (контур 14) и аккумулятивные дренированные слабоволнистые равнины с ковыльно-разнотравными степями в комплексе с ковыльно-типчачковыми степями (контур 19) характеризуются аналогичным описанному для контуров 1 и 11 поведением значений стандартного отклонения, однако наблюдается совершенно

иная картина в динамике значений факторной энтропии, которая иллюстрирует существенный рост значений, формируя, таким образом, стратегию развития геосистем. Таким образом, в пределах гидроморфного ландшафтного уровня наблюдается смена стратегий геосистем – от стратегии стабилизации в условиях приморского положения к стратегии развития в центре полуострова.

Для геосистем плакорного уровня сохраняется такая же закономерность – общее снижение значений стандартного отклонения на фоне роста среднегодовых значений температуры, но в то же время рост значений факторной энтропии, что формирует стратегию развития геосистем. Более сложная картина событий при этом формируется в случае с контуром 31, для которого значения факторной энтропии снижаются до нуля в периоды уменьшения среднегодовых значений температуры воздуха и растут при их увеличении.

Изменение количества атмосферных осадков. На рисунке 7 представлены карты поступления атмосферных осадков по ландшафтным контурам Крымского полуострова. Для каждого ландшафтного контура была получена база данных, отражающая статистические характеристики изменчивости поступления количества осадков в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария.

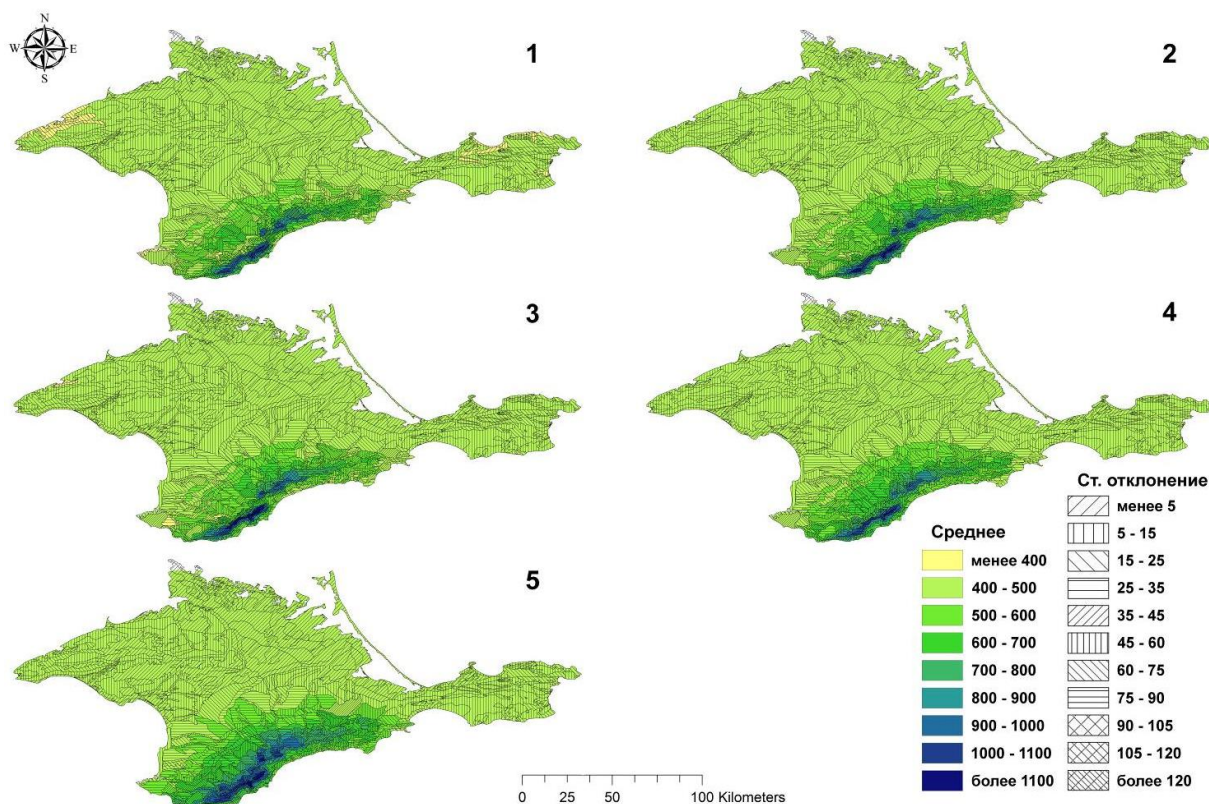


Рисунок 7 – Среднемноголетние значения количества осадков на Крымском полуострове и их стандартное отклонение по ландшафтным контурам в границах циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. Условные обозначения 1–5 см. в подписи к рисунку 6

Выявлено, что для всех ландшафтов Крымского полуострова характерно увеличение количества атмосферных осадков при неоднородности изменения

величин стандартного отклонения. В Равнинном Крыму в пределах геоэкосистем гидроморфного ландшафтного уровня после ЗЦЭ наблюдается резкий рост среднегодового значения количества осадков в первом периоде МЮЦЭ, который сменяется значительным снижением во втором периоде МЮЦЭ, незначительным ростом в третьем периоде и снижением в четвертом периоде. В пределах плакорного ландшафтного уровня наблюдается похожая картина, за исключением того, что в третьем и четвертом периодах МЮЦЭ отмечается рост количества выпадающих осадков.

В Горном Крыму формируется более сложная межгодовая изменчивость поля осадков. В геоэкосистемах дубовых лесов наблюдается как существенный постоянный рост количества выпадающих осадков при смене циркуляционных эпох и периодов (ландшафты скальnodубовых лесов северного макросклона Крымских гор и пушистодубовых лесов южного макросклона Крымских гор), так и незначительное уменьшение их количества (ландшафты скальnodубовых лесов южного макросклона Крымских гор и пушистодубовых лесов северного макросклона Крымских гор). В геоэкосистемах сосновых лесов наблюдается рост количества выпадающих осадков в первом периоде МЮЦЭ, который сменяется спадом во втором периоде МЮЦЭ и незначительным ростом в третьем и четвертом периодах. Геоэкосистемы можжевельников северного и южного макросклонов Крымских гор по-разному реагируют на смену поля осадков. Так, на северном макросклоне наблюдается рост количества выпадающих осадков за период исследований, в то время как на южном макросклоне в четвертом периоде МЮЦЭ происходит существенное уменьшение их количества. В геоэкосистемах буковых лесов северного макросклона Крымских гор идет постоянный рост количества выпадающих осадков, в то время как на южном макросклоне после второго периода МЮЦЭ наступает существенный спад количества выпадающих осадков в третьем и четвертом периодах МЮЦЭ. На яйлах наблюдается постепенный рост количества выпадающих осадков.

Анализ стандартного отклонения и факторной энтропии для выбранных ключевых участков Равнинного Крыма позволяет утверждать, что в пределах гидроморфного ландшафтного уровня превалирует стратегия стабилизации (контуры 1, 11, 14), и только в одном контуре (19) – стратегия развития. В пределах плакорного ландшафтного уровня наблюдаются как стратегии развития (контур 22), так и стратегии стабилизации (контур 31). В Горном Крыму геоэкосистемы скальnodубовых лесов, сосновых лесов, буковых лесов характеризуются стратегией стабилизации, а ландшафты можжевельников – стратегией развития. В то же время яйлинские геоэкосистемы пояса лесного и лугово-лесостепного плато характеризуются стратегией развития геоэкосистем, а яйлинские геоэкосистемы пояса луговых и лугово-лесных плато – стратегией стабилизации в отношении воздействия фактора изменения осадков.

Динамика региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата.

Пространственно-временная динамика характеристик экологических ниш региональных геоэкосистем. Анализ экологических ниш региональных геоэкосистем Крымского полуострова в пространстве факторов «Температура, °С»

и «Осадки, мм» при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария показывает смещение экологических ниш большинства региональных геоэкосистем в сторону роста среднегодовых значений температуры воздуха и количества выпадающих осадков. В то же время на территории Равнинного Крыма для большинства ключевых участков это смещение выражено более четко, чем в Горном Крыму, хотя при этом объемы экологических ниш в Равнинном Крыму практически на порядок меньше, чем в Горном Крыму. Средние значения ширины факторных амплитуд в пределах Равнинного Крыма являются небольшими, что позволяет говорить о том, что в пространстве факторов «Температура, °С» и «Осадки, мм» тут преобладают стенофакторные ландшафты. В Горном Крыму для Предгорья и ЮБК характерны большей частью мезофакторные ландшафты, а для Главной гряды – эврифакторные, что объясняется широкой факторной амплитудой и характеризует эти геоэкосистемы как наиболее устойчивые к внешним воздействиям (рисунок 8).

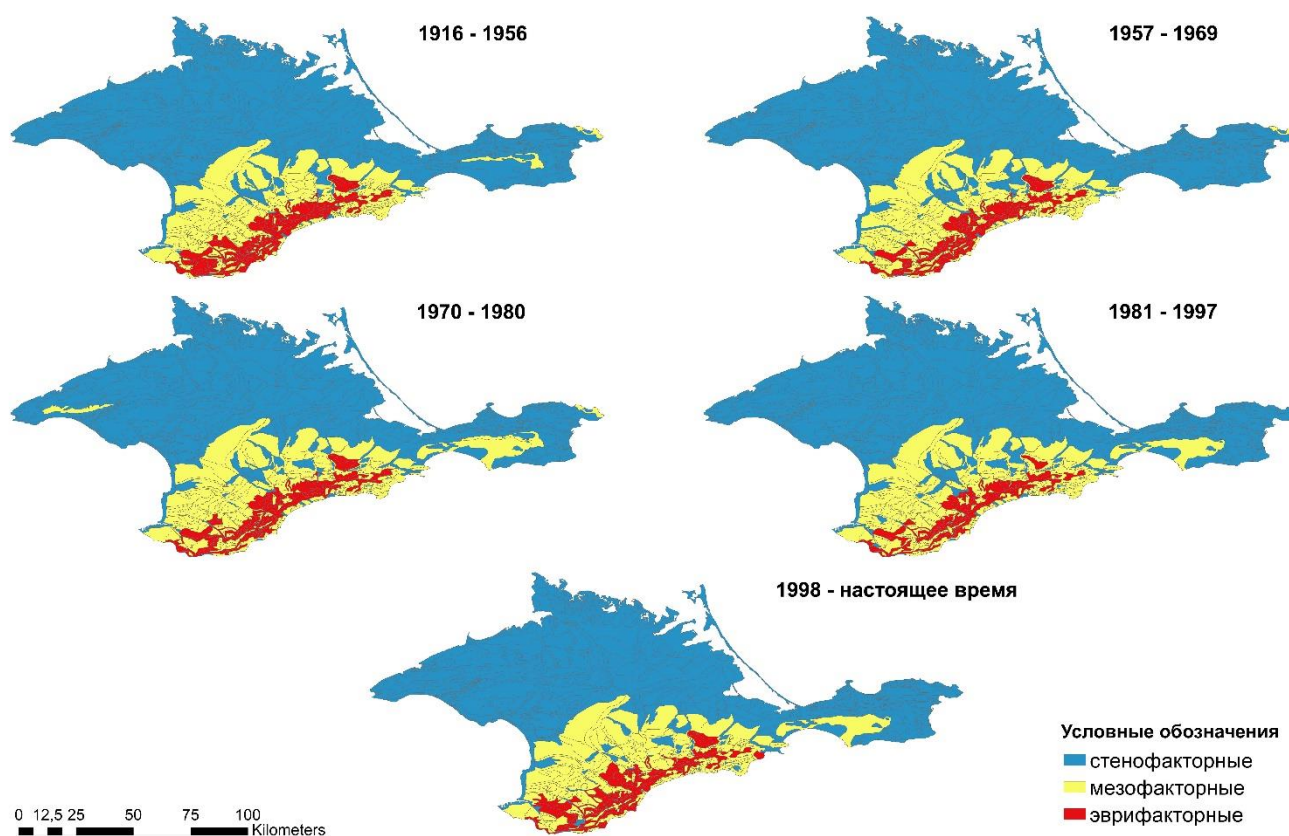


Рисунок 8 – Пространственно-временная динамика региональных геоэкосистем Крымского полуострова по показателю среднего значения факторной амплитуды

В многомерном факторном пространстве экологические ниши относительно друг друга могут располагаться независимо; одна ниша может быть включена в другую; ниши могут перекрываться. Анализ показывает, что в большинстве случаев при смене циркуляционных эпох и периодов изменение экологических ниш происходит плавно, о чем свидетельствуют довольно большие значения перекрытия экологических ниш, особенно в смежных эпохах и периодах. В то же

время пересечение показывает схожесть условий рассматриваемых осей факторного пространства для развития ландшафтных контуров в различные циркуляционные эпохи и периоды. Стоит отметить, что для большинства ландшафтных контуров Равнинного Крыма наблюдается отсутствие перекрытия экологических ниш ЗЦЭ и четвертого периода МЮЦЭ, что проявляется в более резких различиях факторного пространства. В то же время в Горном Крыму отмечается более плавная динамика перекрытия экологических ниш, которые частично включены друг в друга во всех рассматриваемых циркуляционных эпохах и периодах.

На рисунке 9 представлены результаты расчетов объемов экологических ниш ландшафтных контуров в пространстве факторов «Температура, °С» и «Осадки, мм» на территории Крымского полуострова по циркуляционным эпохам и периодам Северного полушария.

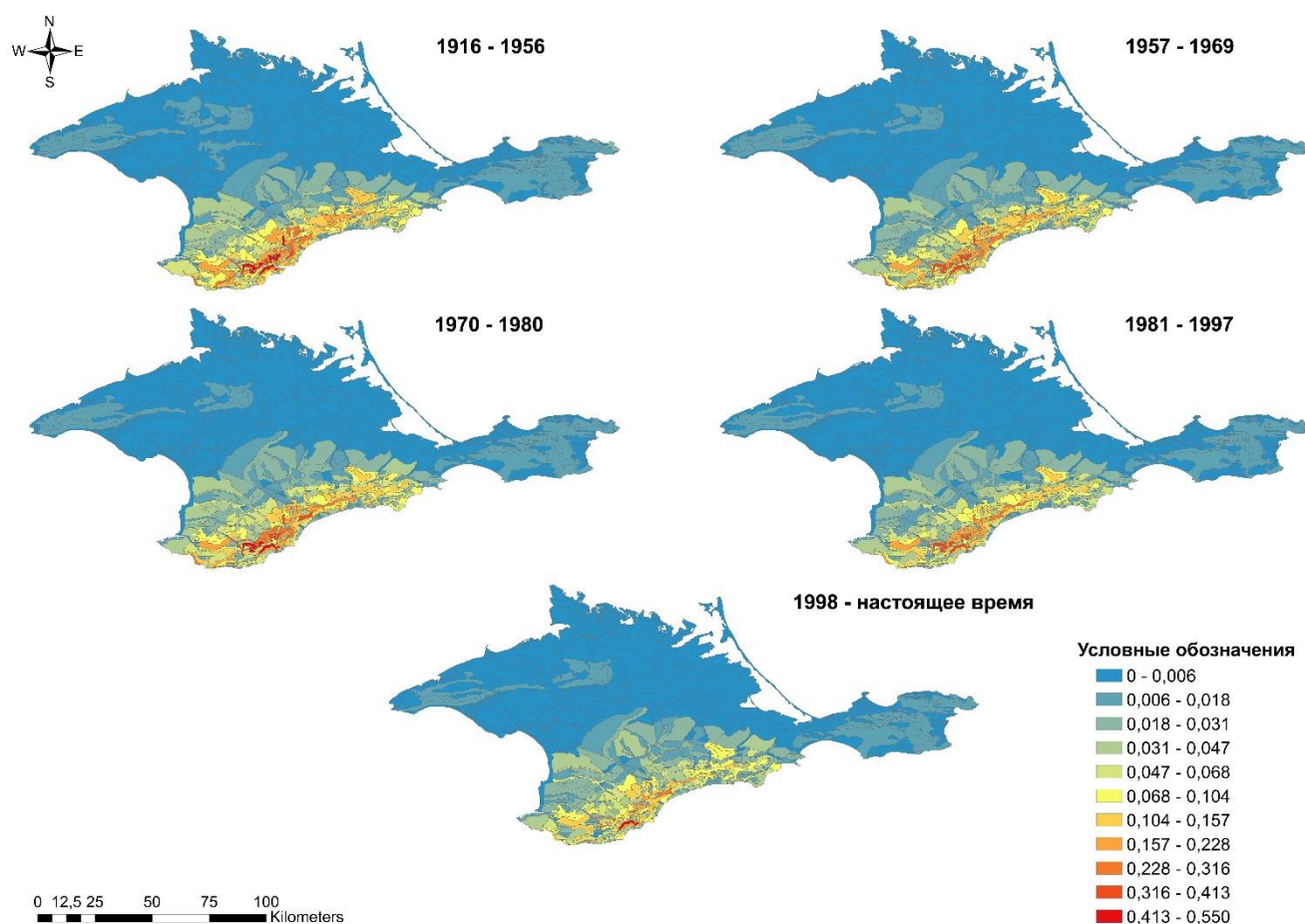


Рисунок 9 – Пространственно-временная динамика объемов экологических ниш ландшафтных контуров

На территории гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней ландшафтные контуры характеризуются более низкими показателями объема экологических ниш, чем ландшафтные контуры низкогорного и среднегорного ландшафтных уровней. В целом на территории Крымского полуострова прослеживается тенденция увеличения объема экологических ниш ландшафтных контуров с севера на юг – от Присивашской низменности до Главной гряды

Крымских гор, что связано с увеличением ландшафтного разнообразия, сложностью формирования позиционных отношений к полям климатических факторов и ростом абсолютной высоты рельефа. Рассмотрим более подробно значения объемов экологических ниш региональных геоэкосистем на примере ключевых участков (таблица 9). Анализ объемов экологических ниш региональных геоэкосистем показывает, что с ЗЦЭ до четвертого периода МЮЦЭ для большинства региональных геоэкосистем объем их экологических ниш уменьшился. При этом только в геоэкосистемах сосновых лесов наблюдается незначительное увеличение объемов экологических ниш (на 1–2 %).

Таблица 9 – Объемы ниш ландшафтов (ключевых участков) при смене циркуляционных эпох и периодов. Условные обозначения 1–5 см. в подписи к рисунку 6

Ключевой участок	Циркуляционная эпоха (период)				
	1	2	3	4	5
1	0,0017	0,0013	0,0014	0,0011	0,0012
11	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001
14	0,0012	0,0010	0,0012	0,0009	0,0008
19	0,0013	0,0010	0,0013	0,0010	0,0006
22	0,0050	0,0036	0,0035	0,0026	0,0015
31	0,0035	0,0027	0,0029	0,0023	0,0020
46	0,0189	0,0142	0,0206	0,0144	0,0130
54	0,1981	0,1637	0,1714	0,1371	0,1232
71	0,0397	0,0342	0,0396	0,0328	0,0298
92	0,1912	0,1714	0,1431	0,1292	0,1643
120	0,2173	0,1631	0,1606	0,1186	0,0985
57	0,0255	0,0226	0,0345	0,0257	0,0142
108	0,0575	0,0544	0,0962	0,0734	0,0554
93	0,3846	0,3499	0,4110	0,3433	0,3902
118	0,1936	0,1573	0,1758	0,1396	0,1967
75	0,0404	0,0337	0,0324	0,0278	0,0287
101	0,0575	0,0544	0,0962	0,0734	0,0554
80	0,1409	0,0981	0,0822	0,0694	0,0254
85	0,1812	0,1329	0,1713	0,1438	0,0647

В то же время объем экологических ниш геоэкосистем гидроморфного ландшафтного уровня уменьшился на 29–69 %, плакорного уровня – на 43–70 %. В геоэкосистемах скальнодубовых лесов объем экологических ниш уменьшился на 14–38 %, а пушистодубовых – на 25–55 %. В геоэкосистемах можжевельниковых лесов произошло уменьшение объемов экологических ниш на 4–44 %, в геоэкосистемах буковых лесов – на 4–29 %, а в геоэкосистемах яйлинских ландшафтов – на 64–82 %. Стоит отметить следующее: за исключением геоэкосистем пушистодубовых лесов, сокращение объемов экологических ниш на южном макросклоне Крымских гор менее выражено чем на северном макросклоне.

Пространственно-временная динамика продуктивности региональных геоэкосистем. В работе была составлена база данных величины продуктивности

геоэкосистем Крыма на основе данных мультиспектральных космических снимков за период 1979–2017 гг.

В качестве примера многолетней динамики изменения состояний геоэкосистем, выраженной в виде «эффекта» продуктивности, был выбран контур 68 – среднегорно-склоновый, расчлененный балками с дубовыми и смешанными широколиственными лесами (геоэкосистема скальнодубовых лесов). Данные контур по ландшафтно-экологическим условиям наиболее полно соответствует свежему сугроду. На рисунке 10 приведены величины изменения продуктивности по состоянию на август месяц. Среднее значение индекса NDVI находится в диапазоне 140–150 единиц, при этом устоявшейся многолетней нормой возможно считать 146–148, что в среднем может соответствовать величине фактической продуктивности в 153 м³/га, определенной на основе многолетних наблюдений Ю. В. Плугатарем (2015). Минимальные значения для данного ландшафтного контура находятся в диапазоне 70–120 единиц, а максимальные – в пределах 165–170, что свидетельствует о снижении фактической продуктивности до 70 м³/га в определенных частях ландшафта и возможном ее увеличении до 165–170 м³/га на отдельных участках в зависимости от изменения экологических условий.

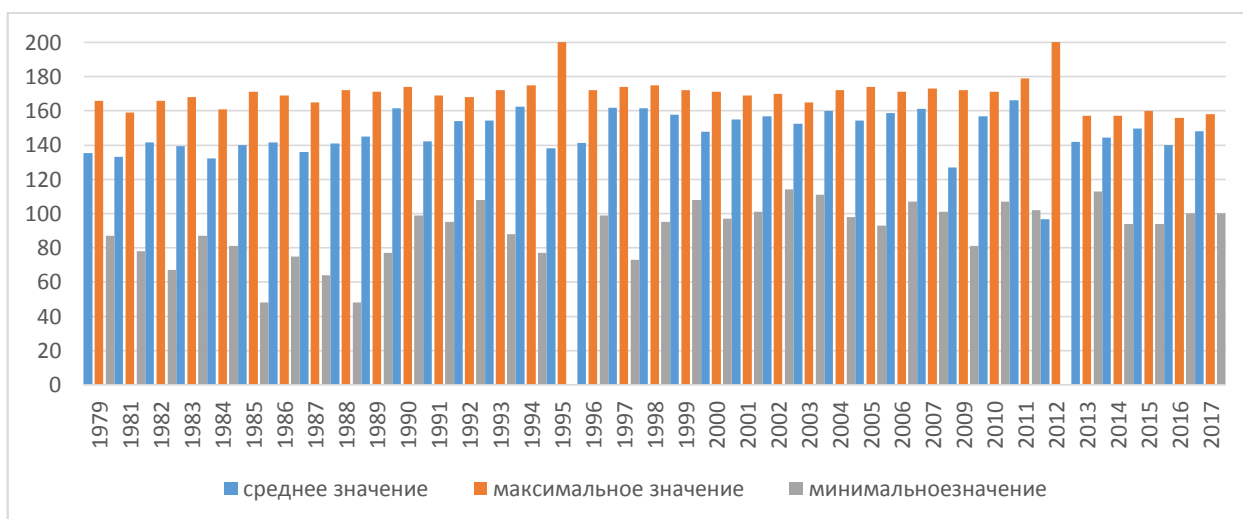


Рисунок 10 – Многолетнее изменение величин продуктивности для среднегорно-склонового ландшафта, расчлененного балками с дубовыми и смешанными широколиственными лесами

Таким образом, для типов ландшафтов территории Крыма возможно выделение типов состояния геоэкосистем в зависимости от величины продуктивности на уровне нормальной продуктивности, пониженной и повышенной.

Анализ многолетней динамики показателя позволяет выявить определенные периоды в виде своеобразных волн. Период с 1979 по 1988 г. характеризуется нормальным уровнем продуктивности рассматриваемых геоэкосистем с незначительными колебаниями параметра; период с 1989 по 1998 г. имеет тенденцию к нарастанию флуктуаций параметра и появлению единичных состояний пониженной и повышенной продуктивности. Период с 1999 по 2007 г. характеризуется устойчивыми значениями параметра в диапазоне, близком к

повышенной продуктивности. В период с 2008 г. по наши дни наблюдается резкое колебание параметров – хаотичные изменения в сторону повышения и понижения, что может свидетельствовать об определенных тенденциях изменения параметров тепло- и влагообеспеченности в сторону колебания температурных норм и величин осадков.

Для анализа связи продуктивности геозкосистем с гидротермическими условиями среды выбраны сумма температур за вегетационный период с ограничением до августа месяца и среднегодовая сумма осадков. Соответствующие базы данных были составлены для трех вариантов параметрических сочетаний, где в качестве объекта анализа выступают различные операционно-территориальные единицы: 1) типы контуров ландшафтной дифференциации Крыма (124 типа контуров); 2) контуры ландшафтной дифференциации в пределах горной части Крыма без типизации (величины определялись для каждого контура, всего выделено 338 контуров); 3) единицы дифференциации сети ООПТ Крыма (59 объектов). На рисунке 11 представлены результаты расчетов пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности геозкосистем Крыма и их продуктивности за период 1979–2013 гг.

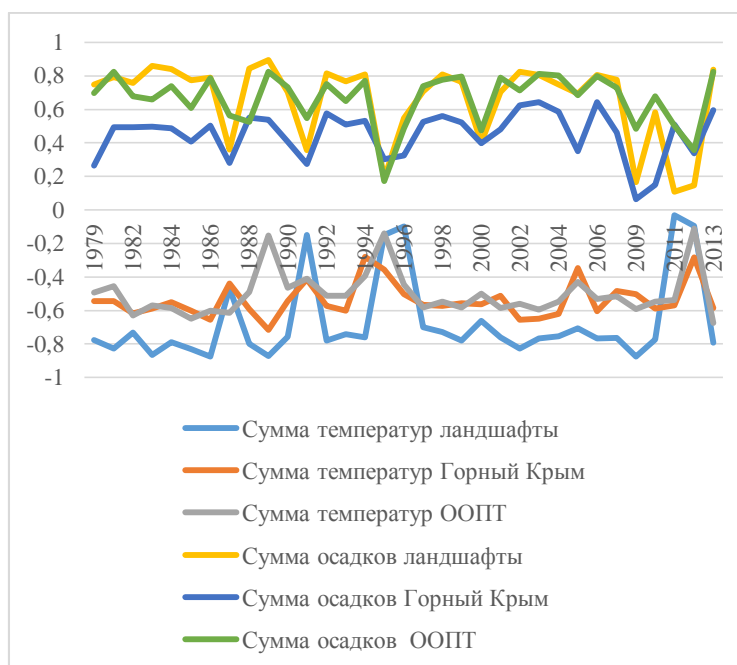


Рисунок 11 – Динамика показателей пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности геозкосистем Крыма и их продуктивности за период 1979–2013 гг. на основе рангового коэффициента

Рассматривая динамику показателей пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности геозкосистем Крыма и их продуктивности за период 1979–2013 гг., на основе рангового коэффициента возможно выделить несколько четко выраженных интервалов данного индекса:

1) интервал крайне тесной взаимосвязи – величина рангового коэффициента в пределах $0,8 \dots 0,9$ и $-0,8 \dots -0,9$;

2) интервал тесной взаимосвязи – величина рангового коэффициента в пределах 0,6...0,8 и –0,6...–0,8;

3) интервал умеренно тесной взаимосвязи – величина рангового коэффициента в пределах 0,5...0,6 и –0,5...–0,6;

4) интервал незначительной взаимосвязи – величина рангового коэффициента в пределах 0,4...0,5 и –0,4...–0,5;

5) интервал практического отсутствия взаимосвязи с точки зрения экологической составляющей при наличии статистически значимых результатов – величина рангового коэффициента в пределах 0,3...0,4 и –0,3...–0,4;

6) интервал практического отсутствия взаимосвязи с точки зрения экологической составляющей при отсутствии статистически значимых результатов – величина рангового коэффициента в пределах менее 0,3 и более –0,3.

Отмечается наличие широкого диапазона колебания индекса пространственной взаимосвязи продуктивности с температурами воздуха и с осадками. Для первых двух диапазонов гидротермические условия являются определяющими в при формировании пространственной структуры продуктивности региональных геосистем. Последующие диапазоны уже характеризуют второстепенную роль данных факторов при формировании пространственной структуры продуктивности геосистем.

Выявлены следующие закономерности динамики геосистем. В случае рассмотрения сумм температур, определено: чем выше сумма температур вегетационного периода, тем меньше величина продуктивности, в связи со сдвигом наступления соответствующих внутрисезонных состояний региональных геосистем с августа на июль. При учете сумм величины годовых осадков определено, что чем выше суммы осадков и их средние величины в разрезе года и каждого конкретного месяца, тем выше величина продуктивности. В свою очередь выявляются определенные временные периоды на основе влияния гидротермических условий геосистем на формирование величины их биологической продуктивности: период 1: 1979–1987 гг.; период 2: 1987–1996 гг.; период 3: 1996–2010 гг.; период 4: 2010–2013 гг. Выделенные периоды достаточно четко связаны с изменением преобладающих циркуляционных процессов. Отмечается, что вплоть до 1985 года абсолютное преобладание имел рост продолжительности северной циркуляции. Барьер в 1985 году достаточно четко совпадает со сменой 1-го периода данного анализа. Это явно обеспечивало стабильность показателей пространственной связи в 1-й период и некоторое их расхождение на 2-м периоде после смены типа циркуляции.

Раздел 5 Биоразнообразие региональных геосистем Крымского полуострова

В исследовании выдвинута гипотеза о наличии тесной пространственной взаимосвязи дифференциации типов местообитаний и биоразнообразия. В продолжение развития данной гипотезы ставится вопрос о возможности рассмотрения структуры пространственной дифференциации местообитаний как одного из ведущих показателей формирования величины биоразнообразия. В работе получена картографическая модель (рисунок 12) и база данных базовых

местоположений и выполнена оценка величин разнообразия местообитаний, выделенных на основе базовых местоположений для пространственных структур дифференциации ландшафтов Крыма.

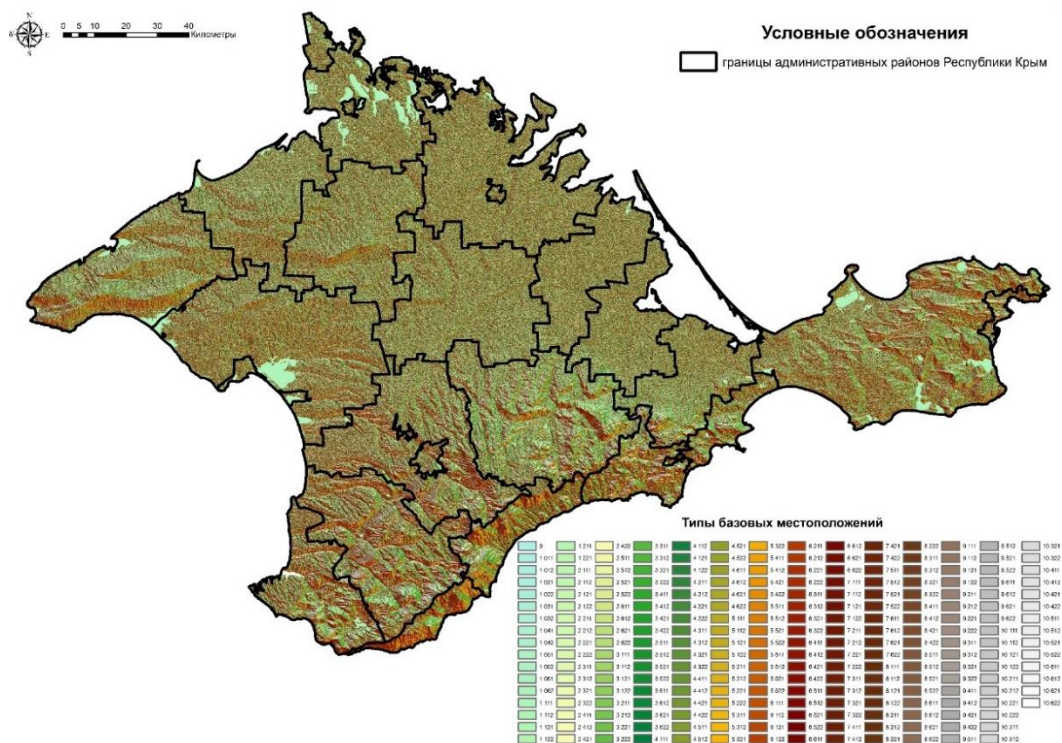


Рисунок 12 – Типы базовых местоположений (местообитаний) Крыма

Биоразнообразие региональных геозкосистем представлено на рисунке 13. Рассмотрение пространственного распределения показателей биологического разнообразия выполнено в разрезе структурных элементов экологической сети Крыма на основании значений плотности видов, плотности эндемиков и редких видов, показателей индексов видового богатства.

Разнообразие региональных геозкосистем по показателю типов местообитаний в пределах структурных элементов экологической сети представлено на рисунке 14. Представленные детализированные схемы позволяют выявить неоднородность структуры базовых местоположений и наглядно демонстрируют различия в данной структуре в каждом элементе экосети.

Полученные картографические модели и базы данных позволили определить зависимость между пространственным распределением величины биологического разнообразия и разнообразия базовых местоположений в пределах структурных элементов экологической сети Крыма (таблица 10). Поиск корреляционных зависимостей показывает наличие тесной пространственной взаимосвязи между распределением величины биологического разнообразия и величины разнообразия базовых местоположений.

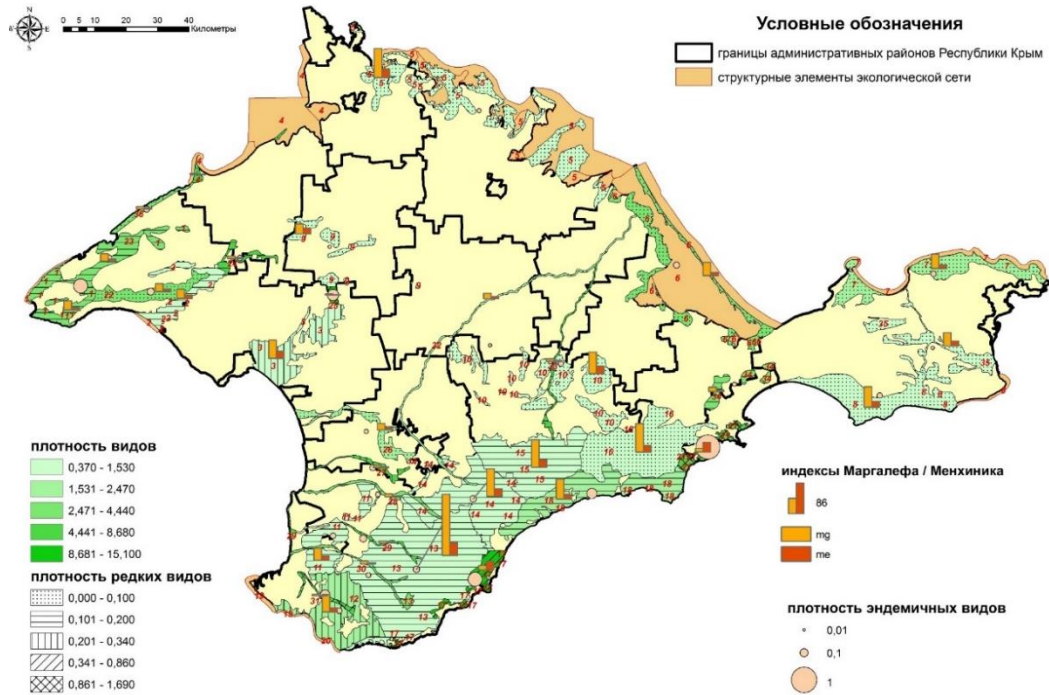


Рисунок 13 – Биологическое разнообразие региональных геозкосистем

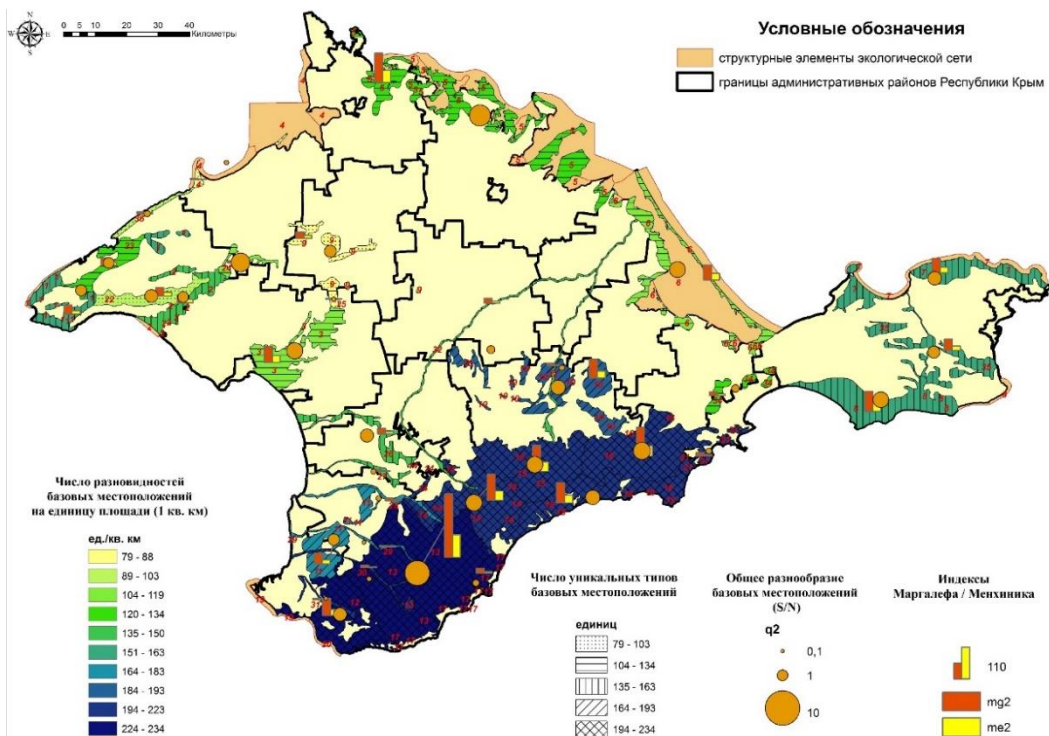


Рисунок 14 – Разнообразие базовых местоположений в пределах структурных элементов экологической сети

При этом величины показателей велики, что позволяет сделать заключение о том, что разнообразие местоположений в преобладающей роли определяет разнообразие местообитания, что, в свою очередь, определяет разнообразие экотопических условий геозкосистем и, как следствие, уровень биологического разнообразия на региональном пространственном уровне.

Таблица 10 – Показатели пространственной взаимосвязи разнообразия местоположений и биологического разнообразия в разрезе структурных элементов экосети Крыма

№	Пара показателей	Коэффициенты пространственной взаимосвязи	
		Коэффициент линейной регрессии	Коэффициент ранговой корреляции
1	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие видов на единицу площади (уточненная) (плотность видов на 1 км ²)	0,676	0,827
2	Индекс видового богатства Маргалефа / Индекс Маргалефа для базовых местоположений	0,792	0,859
3	Индекс видового богатства Менхиника / Индекс Менхиника для базовых местоположений	0,767	0,813
4	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ² , занесенных в охранные списки)	0,491	0,532
5	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ² , эндемичные виды)	0,174	0,161
6	Общее разнообразие базовых местоположений / Индекс видового богатства Маргалефа	0,731	0,808
7	Общее разнообразие базовых местоположений / Индекс видового богатства Менхиника	0,750	0,784

В основу рассмотрения разнообразия локальных геоэкосистем по показателю типов местообитания и показателям биологического разнообразия положено рассмотрение структурных элементов сети ООПТ. Была выдвинута гипотеза о том, что на локальном пространственном уровне существует более тесная взаимосвязь в дифференциации величины биологического разнообразия и разнообразия местообитаний. Пространственная дифференциация разнообразия базовых местоположений в пределах ООПТ приводится на рисунке 15.

На рисунке 16 представлены значения базовых показателей биологического разнообразия ООПТ Крыма. Результаты расчетов связи разнообразия местообитаний и биоразнообразия в пределах ООПТ отображены в таблице 11.

Из таблиц 10 и 11 видно, что гипотеза относительно наличия более тесной взаимосвязи в дифференциации величины биологического разнообразия и разнообразия местообитаний на локальном уровне подтверждается, что определяет ее использование для построения интегральной модели потенциального биологического разнообразия Крыма.

На рисунке 17 приведена картографическая модель потенциального биоразнообразия. Принципиально важным моментом при рассмотрении и использовании данной картографической модели является то, что она отображает удельное число видов.

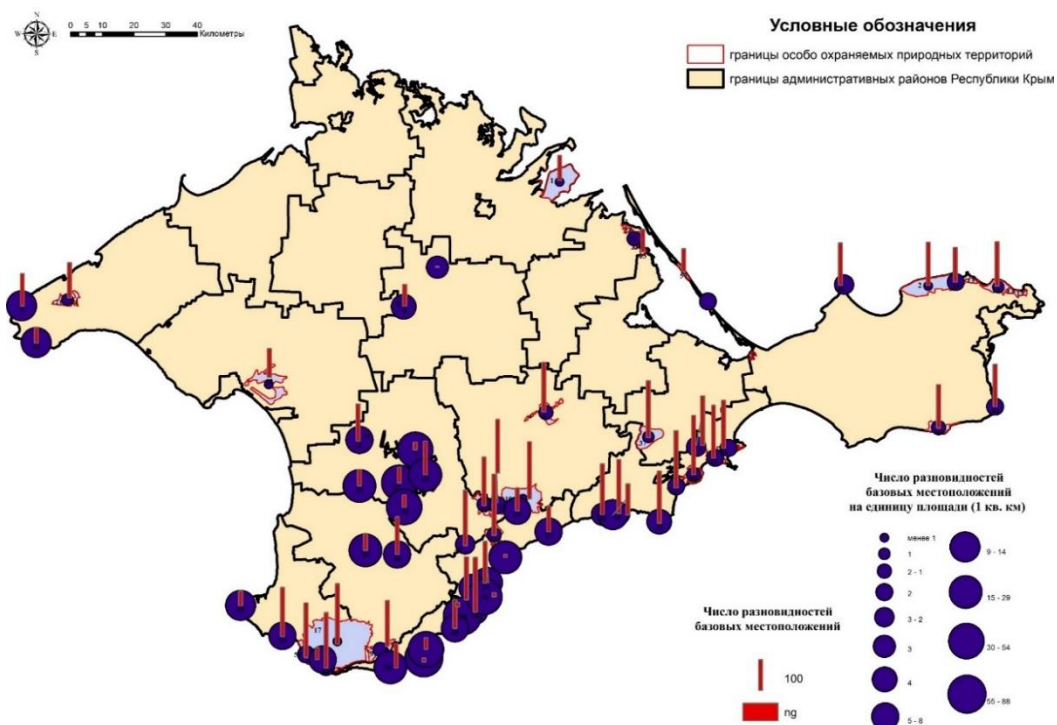


Рисунок 15 – Разнообразие базовых местоположений в пределах ООПТ

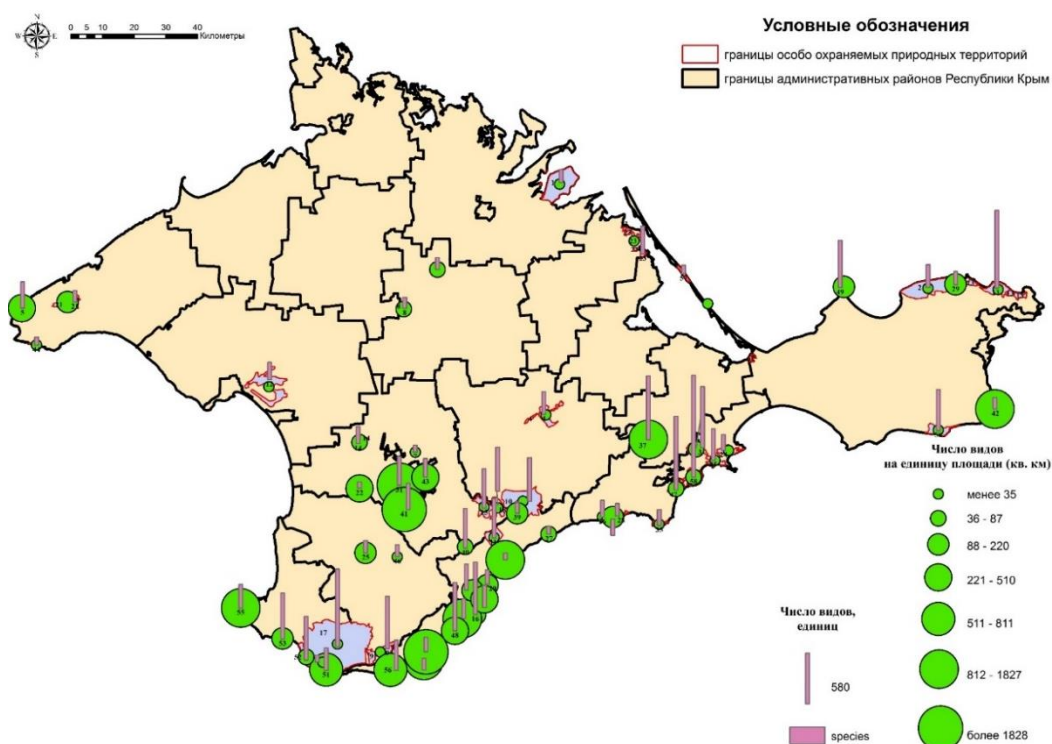


Рисунок 16 – Базовые показатели биоразнообразия элементов сети ООПТ

Так, при расчете разнообразия потенциальных видов для какого-либо объекта, включающего, например, несколько ячеек, их нельзя просто суммировать, равно как и нельзя переводить площадь за счет сложения соседних ячеек в 1 га. В пределах соседних ячеек разнообразие видов могут составлять одни и те же виды, могут появляться новые, или, наоборот, некоторые могут быть не представлены. Просто сложив величины соседних ячеек, мы не получим конкретного числа видов.

Таблица 11 – Показатели пространственной взаимосвязи разнообразия местоположений и биологического разнообразия в разрезе структурных элементов сети ООПТ Республики Крым на локальном пространственном уровне

№	Пара показателей	Коэффициенты пространственной взаимосвязи	
		Коэффициент линейной регрессии	Коэффициент ранговой корреляции
1	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие видов на единицу площади (уточненная) (плотность видов на 1 км ²)	0,780	0,731
2	Индекс видового богатства Маргалефа / Индекс Маргалефа для базовых местоположений	0,498	0,835
3	Индекс видового богатства Менхиника / Индекс Менхиника для базовых местоположений	0,481	0,798
4	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ² , занесенных в охранные списки)	0,707	0,749
5	Число разновидностей базовых местоположений на единицу площади (1 км ²) / Разнообразие на единицу площади (плотность видов на 1 км ² , эндемичные виды)	0,746	0,71
6	Общее разнообразие базовых местоположений / Индекс видового богатства Маргалефа	0,675	0,823
7	Общее разнообразие базовых местоположений / Индекс видового богатства Менхиника	0,612	0,793

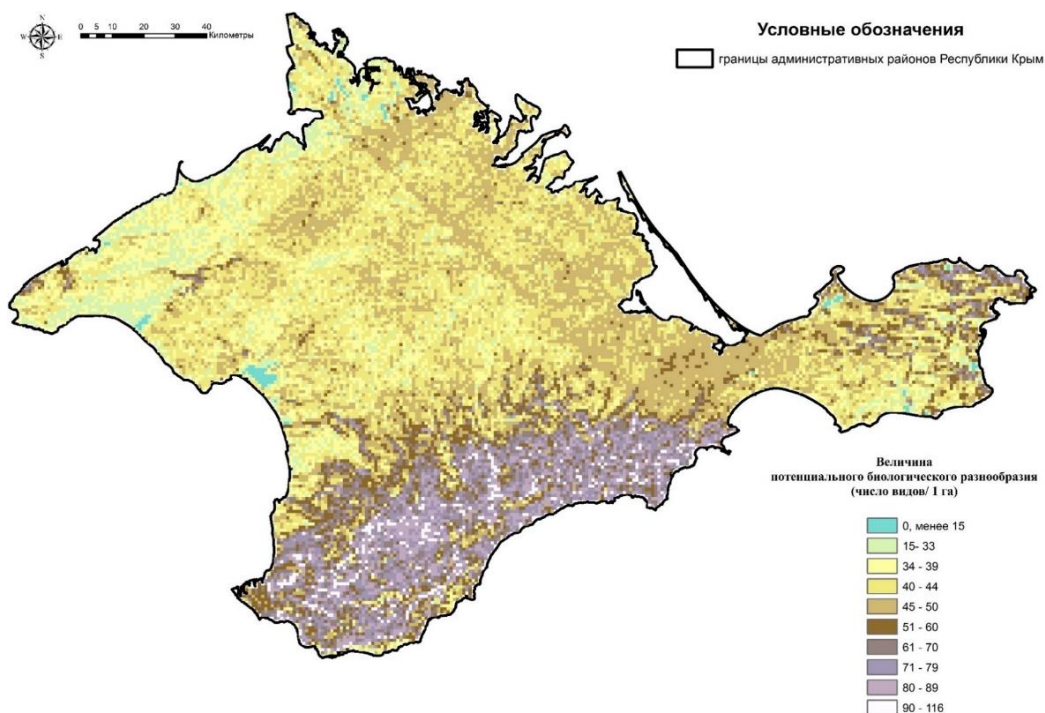


Рисунок 17 – Картографическая модель величины потенциального биологического разнообразия (число видов / 1 га)

В целом представленная модель впервые раскрывает на базе нового подхода к моделированию величины потенциального биоразнообразия на основе разнообразия местообитаний пространственную картину дифференциации биологического разнообразия. Модель показывает высокую эффективность при оценке пространственных аспектов биологического разнообразия для территории Крыма, позволяет эффективно выявлять пространственные различия и проводить многокритериальный анализ.

Раздел 6 Оценка уязвимости региональных геосистем и научные основы оптимизации системы природопользования Крымского полуострова в условиях изменения климата

На основании результатов исследования рассмотрим возможности оптимизации системы природопользования в условиях изменения климата. Одним из перспективных направлений является оценка уязвимости региональных геосистем к антропогенным нагрузкам, осуществляемая на основании интегральной модели биологического разнообразия и возможность ее внедрения. С методической точки зрения принимается положение о том, что разнообразие условий местообитания определяет разнообразие видов, которые в совокупности определяют степень устойчивости и уязвимости конкретных территорий с позиции сохранения биологического разнообразия и условий местообитания. Чем меньше разнообразие условий местообитания, тем более уязвимым представляется каждый конкретный участок с точки зрения сохранения биологического разнообразия и, наоборот, чем разнообразнее условия местообитаний, тем шире экологическая ниша каждой конкретной геосистемы. По сути данное положение является отображением одного из ключевых и устоявшихся законов экологии, который выражается вербально в следующем виде: «Разнообразие – признак устойчивости».

На рисунке 18 приведены результаты выделения наиболее уязвимых и устойчивых с точки зрения разнообразия геосистем. Рассмотрение рисунка позволяет выделить явно отличающиеся по рассматриваемому параметру зоны, дифференциация которых является достаточно дробной и мозаичной, что открывает возможности для последующего анализа, а, так же позволяет проводить сравнение различных геосистем в различных природных зонах.

Функционирование и динамика региональных геосистем осуществляется в условиях региональных проявлений климатических изменений, что накладывает свое влияние на формирование уязвимости региональных геосистем. За период 1979–2013 гг. были определены величина среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март-август (рисунок 19) и величины среднего отклонения средних многолетних сумм осадков (рисунок 20).

Данные модели показывают пространственную структуру геосистем по степени контрастности изменения и отклонения гидротермических характеристик от средних значений и фактической нормы. Выделенные зоны, по сути, показывают, насколько глубоко и контрастно происходит изменение климатических показателей, а, следовательно, и меняются условия функционирования и динамики геосистем, что в итоге оказывает влияние на их уязвимость.

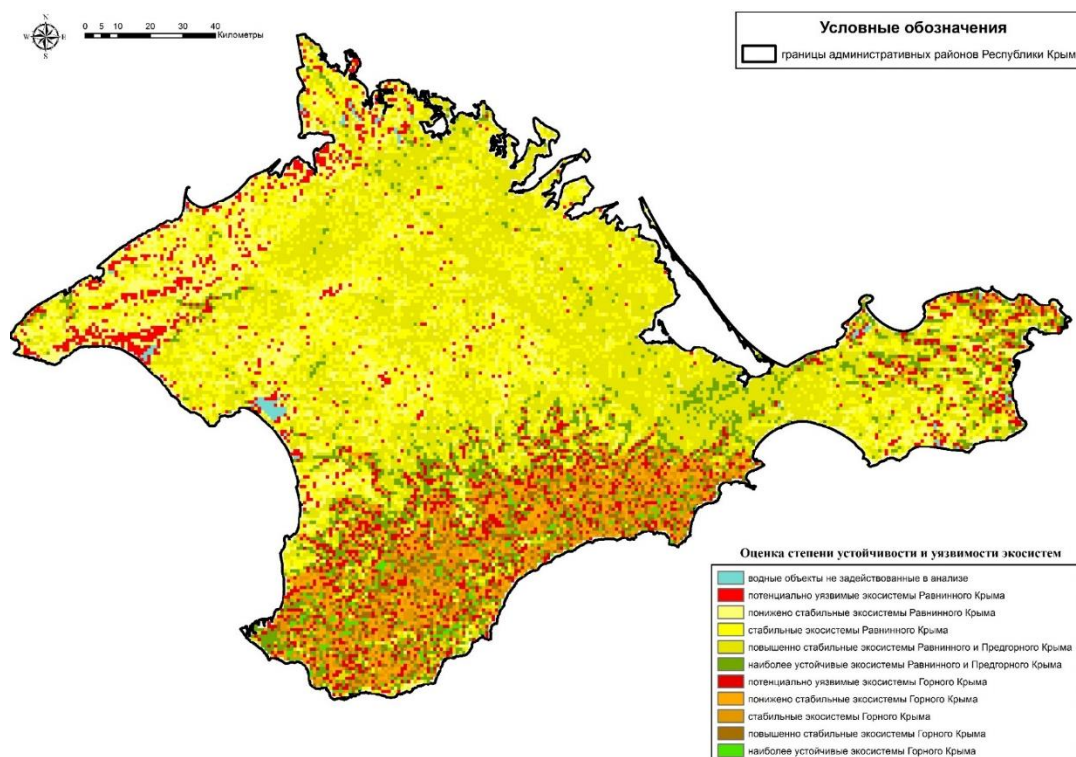


Рисунок 18 – Оценка степени устойчивости и уязвимости геоэкосистем

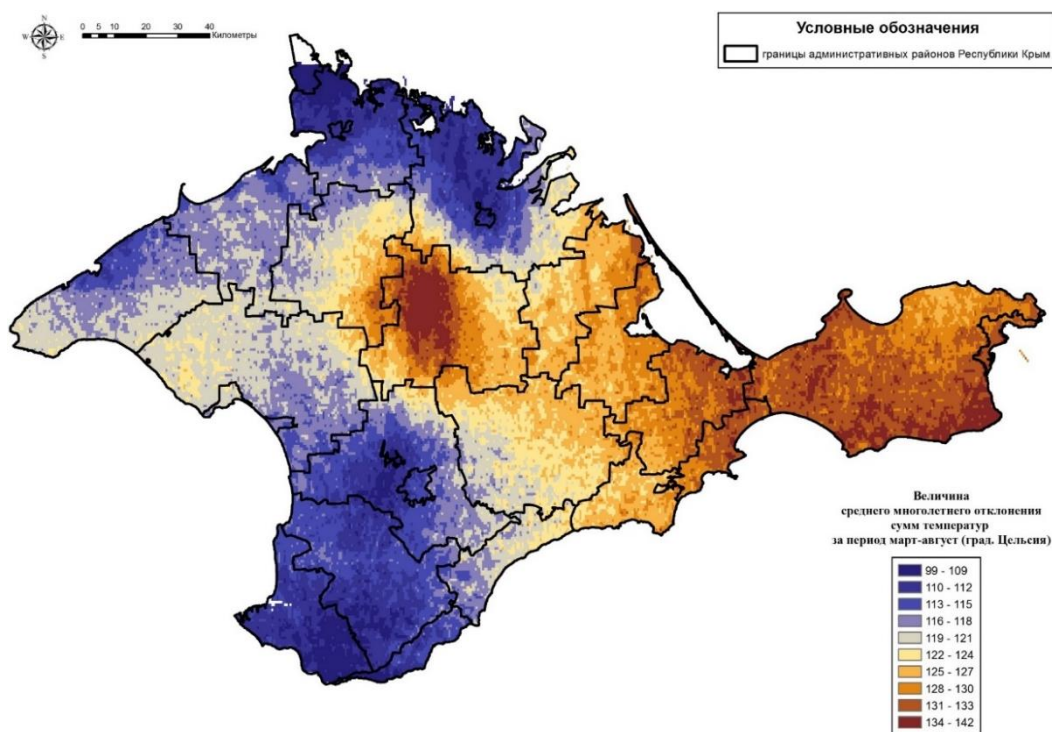


Рисунок 19 – Уязвимость региональных геоэкосистем к изменению средних многолетних сумм температур за период март-август

Произведем рассмотрение практической составляющей построенных моделей и приведем возможные направления их применения, частично апробировав для территории Крыма с целью представления многоаспектных направлений применения в научных и практических исследованиях геоэкосистем, их разнообразия и особенностей природопользования.

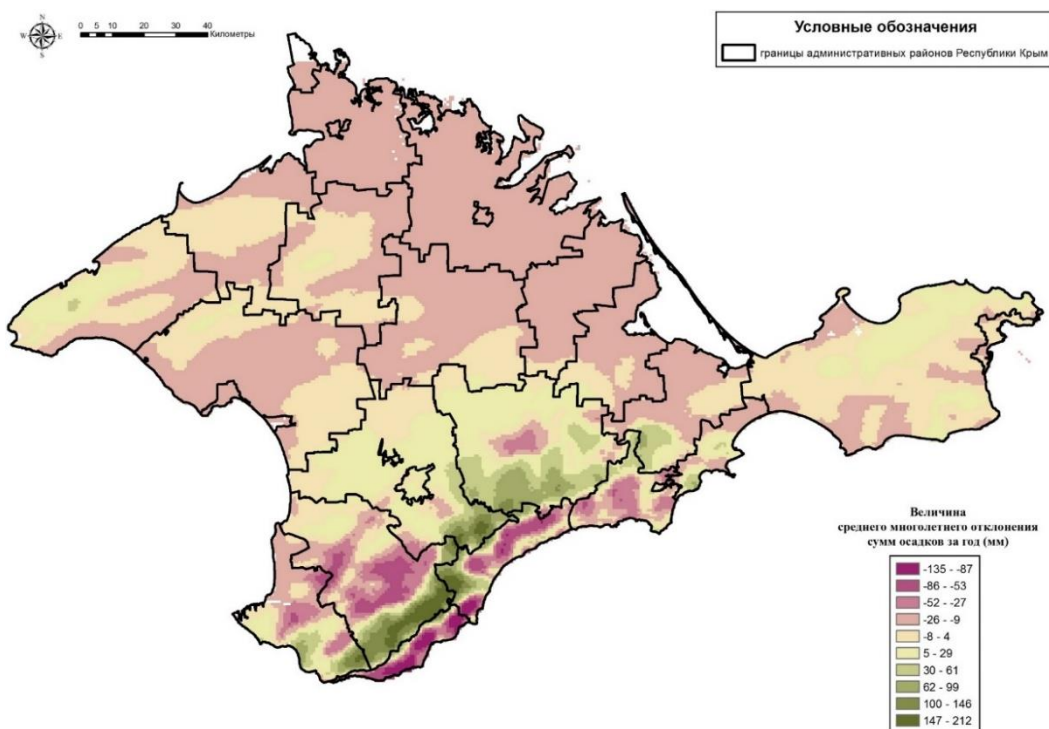


Рисунок 20 – Уязвимость региональных геозкосистем к изменению средних многолетних сумм осадков

Практическое назначение разработанных моделей:

- развитие представлений о подходах к формированию территориальной структуры экологической сети и ее детализация;
- использование полученных результатов для определения возможной потенциальной величины биологического разнообразия выделенных ренатурализируемых территорий в структуре экологической сети Крымского полуострова;
- выделение новых потенциально значимых участков для включения в систему ренатурализованных территорий, как новых потенциальных структурных элементов экологической сети;
- детализация структуры экоцентров и ядер экологической сети за счет дифференциации зон с потенциально повышенным, средним и более низким биологическим разнообразием;
- использование результатов для планирования полевых геоботанических исследований, выборе участков в пределах которых еще потенциально могут быть обнаружены дополнительные виды, но на сегодня по результатам исследований они еще не выявлены;
- выбор ключевых участков для стационарных геоботанических наблюдений, мониторинговых исследований в части растительного покрова, его состояния и состояния геозкосистем в целом;
- дополнительное изучение и рекогносцировочные исследования относительно числа видов и биоразнообразия в пределах объектов, не включенных в экологическую сеть и сеть ООПТ, например, в пределах гослесфонда или лесов на муниципальных землях;

- общее развитие теоретических и методологических представлений относительно подходов к моделированию величин биологического разнообразия на локальном и региональном уровне;

- выявление зон совмещения уязвимых типов местообитаний с точки зрения снижения биологического разнообразия и совмещения их с зонами существующего и перспективного антропогенного воздействия при территориальном планировании;

- развитие и зонирование рекреационно-ландшафтных парков и других объектов ООПТ, выделение заповедных и потенциально опасных для угрозы биологическому разнообразию зон, потенциально устойчивых зон.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы диссертационного исследования:

1. Выполнен анализ формирования научных подходов к изучению функционирования и динамики геоэкосистем, развития данных понятий в историческом разрезе. Выделен ряд этапов в формировании знаний о функционировании геоэкосистем и их динамике. Анализ работ показывает, что, несмотря на значительное количество публикаций, вопросы функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях глобальных климатических изменений имеют особую важность в силу необходимости адаптации системы природопользования в условиях реакции геоэкосистем на эти изменения.

2. Разработаны научные подходы к оценке функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях климатических изменений на базе интеграции теоретических и методологических основ экологии и ландшафтной экологии. Обоснована целесообразность использования в качестве операционно-территориальной единицы исследования и сформулировано представление о ландшафтах как региональных геоэкосистемах. Показано, что в условиях климатических изменений функционирование геоэкосистем определяет их индивидуальную стратегию, обуславливающую их дальнейшую динамику и/или развитие. Показано, что исследование реакции геоэкосистем на климатические изменения необходимо производить с учетом циркуляционных процессов Северного полушария, определяющих временные границы циркуляционных эпох и периодов.

3. Разработан комплекс методик, позволяющий оценить реакцию региональных геоэкосистем на климатические изменения, который включает методики изучения пространственно-временной динамики полей основных метеоэлементов на региональном уровне в условиях климатических изменений, функционирования и динамики региональных геоэкосистем в условиях климатических изменений. Впервые разработан комплекс методик оценки потенциального биологического разнообразия через доказательство пространственной взаимосвязи показателей биоразнообразия и разнообразия базовых местоположений.

4. Изучены природные предпосылки функционирования и динамики региональных геоэкосистем Крымского полуострова. Построен пакет

климатических карт Крымского полуострова. На основе управляемой классификации получена карта ландшафтного покрова Крыма, иллюстрирующая пространственную структуру природопользования.

5. Проанализированы процессы изменения климата в Крыму с учетом временных границ циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. Впервые для территории Крымского полуострова получены карты температуры воздуха и количества атмосферных осадков для каждой циркуляционной эпохи и периода Северного полушария, а также карты динамики полей температуры воздуха и атмосферных осадков в Крыму в связи со сменой циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. На основе анализа полученных карт выявлено, что изменение температуры воздуха и количества атмосферных осадков не происходит синхронно, а имеет свои особенности в различных регионах Крымского полуострова, что объясняется влиянием местных факторов.

6. Изучено функционирование региональных геоэкосистем Крымского полуострова в условиях региональных проявлений изменения климата с точки зрения изменчивости элементов радиационного баланса, температуры воздуха и количества осадков. Рассчитан радиационный баланс основных типов региональных геоэкосистем, показана его пространственно-временная дифференциация. Впервые выявлено пространственное распределение средних значений, стандартного отклонения и энтропии температуры воздуха и количества атмосферных осадков по циркуляционным эпохам и периодам, для основных типов геоэкосистем Крыма. Выявлены ландшафтные стратегии, формирующиеся в региональных геоэкосистемах в условиях изменения факторных пространств.

7. Выявлено, что для территории полуострова характерно смещение экологических ниш геоэкосистем в зону с большими температурами и количеством осадков. В Горном Крыму имеет место наложение экологических ниш, что может указывать на меньшую уязвимость горных геоэкосистем к изменению климата по сравнению с равнинными геоэкосистемами.

8. Впервые на основе данных мультиспектральных космических снимков составлена база данных величины продуктивности геоэкосистем Крыма за период 1979–2017 гг. Выполнен анализ и выявлены закономерности изменения величины биологической продуктивности для основных типов региональных геоэкосистем Крыма. Установлено наличие тесной пространственно-временной связи между гидротермическими характеристиками геоэкосистем и их продуктивностью. В целом для геоэкосистем Горного Крыма характерно увеличение продуктивности на фоне ее сильного снижения в степных сообществах Равнинного Крыма. Для яйлинских геоэкосистем характерно отсутствие явно выраженной динамики продуктивности за период исследования.

9. Впервые построена пространственная модель базовых местоположений Крымского полуострова. Проведено рассмотрение разнообразия региональных геоэкосистем по показателю типов местообитаний. Поиск корреляционных зависимостей показывает наличие тесной пространственной взаимосвязи между распределением величины биологического разнообразия и величины разнообразия базовых местоположений в пределах структурных элементов экологической сети и сети ООПТ. На основе выявленной пространственной взаимосвязи построена

интегральная модель потенциального (восстановленного) биологического разнообразия Крымского полуострова.

10. На основе полученных данных о региональных проявлениях изменения климата в Крыму и модели потенциального биологического разнообразия геосистем выполнена оценка уязвимости геосистем. Даны рекомендации по оптимизации природопользования на территории Крымского полуострова.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертационного исследования:

в изданиях из списка в Web of Science и/или Scopus:

1. **Gorbunov R.**, Gorbunova T., Tabunshchik V., Drygval A. Structure and interannual variability of coniferous forests radiation balance in the Mountain Crimea // 20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020 : Conf. Proc. – 2020. – Vol. 20. – P. 723–729. (Forest ecosystems; iss. 3.1). DOI: 10.5593/sgem2020/3.1/s14.093

2. **Gorbunov R.V.**, Plugatar Yu.V., Smyrnov V.O., Gorbunova T.Yu., Snegur A.V., Drygval A.V., Priymak A.S. Integrated model of potential biodiversity of the Crimean Peninsula // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – 579. – 012062. DOI:10.1088/1755-1315/579/1/012062.

3. **Gorbunov R.**, Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea // Journal of Arid Environments. – 2020. – Volume 183. – 104280. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>.

4. **Gorbunov R.** Productivity dynamics of oak forests of the Crimean Peninsula // E3S Web of Conferences. – 2020. – 169. – 03007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016903007>

5. Kargashin P.E., Prasolova A.I., Novakovskiy B.A., Rafikova Yu.Yu., **Gorbunov R.V.**, Gorbunova T.Yu. Data processing as a critical part of GIS based mapping of renewable energy perspectives // MATEC Web of Conferences. 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy – IManE&E 2018. – 2018. – Volume 178. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817809004>

6. Fedorov V.M., **Gorbunov R.V.**, Gorbunova T.Yu., Kononova N.K. Long-term air temperature variability on the Crimean Peninsula // Geography and Natural Resources. – 2017. – Volume 38. – Issue 1. – pp 86–92. doi: 10.1134/S1875372817010115

в изданиях, рекомендованных ВАК:

7. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В., Сафонова М.С. Динамика атмосферных осадков в ландшафтах равнинного Крыма // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 9. – С. 31–38.

8. **Горбунов Р.В.** Уязвимость региональных экосистем Крымского полуострова // Труды Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 3 (19). – С. 33–42. DOI: 10.21072/eco.2021.19.04

9. **Горбунов Р.В.**, Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В. Экологические ниши региональных экосистем Крымского полуострова в условиях изменения климата // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2021. – Т. 7 (73), № 2. – С. 249–278.
10. **Горбунов Р.В.**, Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю., Сафонова М.С. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем горного Крыма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2021. – Т. 29, № 1. С. 30–47. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-30-47>.
11. **Горбунов Р.В.**, Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю., Сафонова М.С. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем равнинного Крыма // Социально-экологические технологии. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 121–138. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-1-121-138
12. **Горбунов Р.В.** История и современное состояние исследований функционирования и динамики региональных экосистем // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 1 (17). – С. 35–66. DOI: 10.21072/eco.2021.17.04
13. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В. Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 201–212. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212
14. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В., Табунщик В.А. Изменение температуры воздуха в Крыму // Социально-экологические технологии. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 370–383. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383
15. **Горбунов Р.В.**, Смирнов В.О., Горбунова Т.Ю. Оценка разнообразия типов местообитаний (базовых местоположений) ландшафтов Крымского полуострова // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – № 2 (10). – С. 52–65. DOI: 10.21072/eco.2021.10.06
16. Табунщик В.А., **Горбунов Р.В.**, Даниленко А.А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков Sentinel-2 // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – № 4 (12). – С. 56–70. DOI: 10.21072/eco.2021.12.03
17. Горбунова Т.Ю., Гапон С.В., **Горбунов Р.В.** Картографирование типов наземных покровов субсредиземноморских низкогорных ландшафтов средствами геоматики (на примере Юго-Восточного Крыма) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Том 25, №. 1. – С. 104–115. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-1-104-115
18. Фёдоров В.М., **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. Многолетняя изменчивость температуры воздуха на Крымском полуострове // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 127–133. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2017-1(127-133)

19. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. Климатические нормы температуры воздуха на территории полуострова Крым // Культура народов Причерноморья. – 2014. – № 278, Т. 2. – С. 89–94.

монографии:

20. Ергина Е.И., **Горбунов Р.В.**, Тронза Г.Е., Лебедев Я.О., Хижняк Ю.С. Изучение и идентификация почвенных эталонов и редких почв с целью мониторинга и охраны почвенных ресурсов в Равнинном Крыму – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. – 140 с.

21. Ергина Е.И., **Горбунов Р.В.**, Щербина А.Д. Географический анализ допустимых норм эрозии почв в агроландшафтах Крымского полуострова. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 180 с.

22. Ергина Е.И., **Горбунов Р.В.**, Щербина А.Д. Почвенные эталоны и редкие почвы Равнинного Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 168 с.

в других изданиях:

23. **Горбунов Р.В.** Связь продуктивности региональных экосистем с динамикой гидротермических условий на территории Крымского полуострова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – № 138. – С. 17–25. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-17-25

24. Kononova N.K., **Gorbunov R.V.**, Gorbunova T.Yu., Lapchenko V.A., Safonova M.S. Relationship of Extreme Precipitations in the Crimea with Macrocirculation Processes // Journal «The Complex Systems». – 2020. – № 3 (9). – P. 3–27.

25. Кононова Н.К., **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Лапченко В.А., Сафонова М.С. Связь экстремальных осадков в Крыму с макроциркуляционными процессами // Сложные системы. – 2020. – № 3 (36). – С. 4–29.

26. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В. Структура и межгодовая динамика радиационного баланса региональных экосистем равнинного Крыма // Экосистемы. – 2020. – Вып. 23. – С. 5–15. DOI 10.37279/2414-4738-2020-23-5-15

27. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В. Радиационный баланс буковых лесов Крымского полуострова // Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. – 2020. – Т. 54, № 3. – С. 44–50.

28. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В. Радиационный баланс яйлинских ландшафтов горного Крыма // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том X (в 2-х частях). Часть 2. / Науч. Ред.: академик РАН А.О. Глико, д.ф.-м.н., профессор И.А. Керимов. – М.: ИИЕТ РАН, 2020. – С. 332–336.

29. **Gorbunov R.V.**, Gorbunova T.Yu., Tabunshchik V.A., Drygval A.V. The radiation balance of various types of forest landscapes of the Crimean Mountains // 1st International IALE-Russia online conference Moscow 14–18 September 2020. Landscape Science and Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges. Book of Abstracts. – iale.conflab.ru. – P. 223.

30. **Горбунов Р.В.** Динамика продуктивности дубовых лесов Крымского полуострова // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник

научных трудов XXI Международной научно-практической конференции: в 3 т. Москва, апрель – сентябрь 2020 г. – Москва: РУДН, 2020. – С. 284–288.

31. **Горбунов Р.В.**, Смирнов В.О., Снегур А.В., Горбунова Т.Ю., Приймак А.С., Дрыгваль А.В. Пространственное распределение показателей биологического разнообразия и типов местообитаний в разрезе структурных элементов экологической сети Крымского полуострова // Экосистемы. – 2019. – Вып. 20. – С. 163–174.

32. **Горбунов Р.В.**, Плугатарь Ю.В., Смирнов В.О., Снегур А.В., Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В., Приймак А.С. Пространственная взаимосвязь биоразнообразия и типов местообитаний на территории Крымского полуострова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – № 133. – С. 224–240. DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-224-240

33. Горбунова Т.Ю., **Горбунов Р.В.**, Киселева С.В. Картографирование ресурсов солнечной энергии на региональном уровне // Сборник тезисов Всероссийской научной конференции «Национальная картографическая конференция – 2018», Москва, Российская государственная библиотека, 16–19 октября 2018г. – М.: Географический факультет МГУ, 2018. – С. 66–68.

34. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Епихин Д.В. Создание цифровой базы данных для ландшафтного картографирования Крымского полуострова // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф.Н. Милькова, Воронеж, 14–17 мая, 2018 г.: в 2 т. / ред.: В.Б. Михно [и др.]. – Воронеж: ИСТОКИ, 2018. – Т. 1. – С. 183–185.

35. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю. Ландшафтные исследования на Карадаге // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Международной ландшафтной конференции. – Тюмень, 2017. – С. 336–340.

36. Кононова Н.К., **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю. Изменение годовых сумм осадков и температуры воздуха в Карадагском заповеднике в XX веке – начале XXI века // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Научные исследования на заповедных территориях», посвящённой 160-летию со дня рождения основателя Карадагской научной станции, доктора медицины, приват-доцента Московского университета Терентия Ивановича Вяземского, а также Году особо охраняемых природных территорий и Году экологии в России / под общ. ред. к.г.н. Горбунова Р.В. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2017. – С. 66.

37. Боков В.А., **Горбунов Р.В.**, Черванёв И.Г. Экологическое картографирование: учебное пособие. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2016. – 238 с.

38. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю. Использование типизации Б.Л. Дзердзеевского для изучения изменений температуры воздуха в Крыму // Сборник трудов Международной научной конференции Исследование изменений климата с использованием методов классификации режимов циркуляции атмосферы. / Отв. ред. В.А. Семенов, Н.К. Кононова. (Москва, 16–18 мая 2016 г.). – М., 2016. – С. 99–102.

39. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю. *Ландшафтные исследования в Карадагском заповеднике // Научные исследования в заповедниках и национальных парках России: Тезисы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 25-летию юбилею биосферного резервата ЮНЕСКО «Национальный парк «Водлозерский» (Петрозаводск, 29 августа – 4 сентября 2016 г.). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. – С. 57.*

40. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Калиновский П.С., Кононова Н.К., Миронюк О.А. *Роль циркуляции атмосферы в изменении температуры воздуха на территории Крымского полуострова в XX веке – начале XXI века // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2016. – № 580. – С. 175–198.*

41. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. *Изменение температуры воздуха в Крыму в связи со сменой циркуляционных эпох северного полушария в XX веке – начале XXI века // Сборник тезисов докладов Международного научно-технического семинара «Системы контроля окружающей среды». – Севастополь: ИПТС, 2015. – С. 65.*

42. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Патлусова Е.С. *Изменение температуры воздуха в Крыму за период инструментальных измерений // Человек-Природа-Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. – Симферополь: РИО КИПУ, 2015. – Вып. 1 (8). – С. 26–28.*

43. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю. *Изменение температуры воздуха на территории полуострова Крым по циркуляционным эпохам Северного полушария в XX веке – начале XXI века // Сборник тезисов участников I научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых учёных «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского». – Симферополь, 2015. – Т. 3., Ч. 1. – С. 128–130.*

44. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Калиновский П.С., Миронюк О.А. *Исследование роли макроциркуляционных механизмов в формировании температурных аномалий в Крыму // Сборник тезисов участников I научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых учёных «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского». – Симферополь, 2015. – Т. 2. – С. 271–272.*

45. **Gorbunov R.**, Gorbunova T., Kononova N. *Seasonal fluctuations of air temperature on the Crimean Peninsula in connection with the atmospheric circulation in the European sector of the Northern Hemisphere // IGU 2015 Book of Abstracts, 2015. – P. 1320.*

46. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. *Изменение температуры воздуха в Крыму (к вопросам о климатических нормах) // Материалы научно-практического семинара «Окружающая среда и здоровье человека». – Симферополь, 2015. – С. 9–10.*

47. **Горбунов Р.В.**, Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К., Калиновский П.С. *Влияние циркуляции атмосферы на формирование климатических норм температуры воздуха в Крыму // Материалы научно-практического семинара «Окружающая среда и здоровье человека». – Симферополь, 2015. – С. 6–8.*