

---

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

УДК 911.9:[574:551.581/.583](292.471)

**УЯЗВИМОСТЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ  
КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА\***

**Горбунов Р. В.**

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: karadag\_station@mail.ru*

На основе данных о потенциальном биологическом разнообразии Крымского полуострова и региональных проявлениях изменения климата получены картографические модели уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова к антропогенному воздействию и климатическим изменениям. Описаны пространственные особенности уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова.

**Ключевые слова:** уязвимость, устойчивость, региональные экосистемы, изменение климата, Крымский полуостров.

**Введение**

Региональные экосистемы Крымского полуострова в настоящее время испытывают сильнейшую нагрузку как со стороны антропогенного воздействия, так и со стороны изменения климата. В предыдущих наших работах было показано, что в Крыму существует сильная пространственно-временная дифференциация изменения полей основных метеоэлементов [Gorbunov et al., *Spatiotemporal aspects...*, 2020; Горбунов и др., 2020], происходит изменение внутриландшафтной дифференциации факторных пространств, что формирует индивидуальные ландшафтные стратегии [Горбунов и др., 2021]. Вместе с тем вопросы уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова к внешним воздействиям в настоящее время рассмотрены не достаточно. При этом следует отметить ряд публикаций, посвящённых вопросам изучения реакции экосистем на климатические изменения [Трансформация ландшафтно-экологических..., 2010; Трансформация структуры водного..., 2011; Корсакова, Корженевский, 2018; Корсакова, Анализ временной..., 2018; Табунщик, Горбунов, Даниленко, 2019; Зуев, Летухова, Зуева, 2020; Gorbunov, 2020], иллюстрирующие отдельные аспекты данного вопроса. В то же время при наличии достаточно большого количества публикаций, посвящённых изучению изменения климата в Крыму [Ильин, Репетин, 2006; Парубец, 2009; Трансформация ландшафтно-экологических..., 2010; Трансформация структуры водного..., 2011; Глущенко, 2012; Куклин и др., 2012; Вышкваркова, Воскресенская, 2014; Кононова, 2014; Косолец, Доніч, 2014; Холощев, Астафьева, 2014; Лемешко, Евстигнеев, Наумова, 2014; Climate change 2014..., 2014; Hatzaki, Wu, 2015; Нестеренко, 2016; Cordova, 2016; Climate change, impacts..., 2017; Fedorov et al., 2017; Корсакова, Реакция феноиндикаторов..., 2018; Global warming..., 2018; Ergina, Zhuk, 2019; Gorbunov et al., Integrated model..., 2020], в настоящее время практически отсутствуют работы, направленные на системное изучение уязвимости экосистем к климатическим изменениям, что определяет актуальность данного исследования. В связи с этим цель данной работы — выполнить оценку и построить картографические модели уязвимости региональных экосистем Крымского полуострова.

---

\* Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», номер гос. регистрации 121040100327-3.

## Методика исследований

В качестве исходных данных для проведения исследований были использованы: интегральная модель потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова, а также данные об изменении климата в Крыму, полученные в предыдущих работах автора [Gorbunov et al., *Spatiotemporal aspects...*, 2020; Gorbunov et al., *Integrated model...*, 2020; Горбунов и др., 2020].

Одним из перспективных направлений является оценка уязвимости региональных экосистем к антропогенным нагрузкам, осуществляемая на основании интегральной модели биологического разнообразия, и возможность её внедрения на территории Крыма.

Важное значение имеет общее развитие теоретических и методологических представлений относительно подходов к моделированию величин биологического разнообразия на локальном и региональном уровнях с выделением потенциально устойчивых экосистем с точки зрения разнообразия местоположений и местообитаний. 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 точки зрения 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 экосистемы. По сути, данное положение является отображением одного из ключевых и устоявшихся законов экологии, который звучит так: «Разнообразие — признак устойчивости».

Также необходимо учитывать поправку на дифференциацию зональных типов экосистем, которые существенно отличны и разнообразны, и расчёт уязвимости нужно осуществлять для каждой конкретной зоны. Мы будем использовать наиболее общую дифференциацию территории Крыма с выделением равнинных и горных экосистем. Для каждой зоны определяется представленный интервал разнообразия условий местообитания и величины биоразнообразия. В каждом данном интервале может быть выделен диапазон средних значений величин, максимальных и минимальных. При этом здесь могут быть разные подходы к выделению интервалов, что представляется с научной точки зрения отдельной задачей и требует глубокой проработки и осмысления. В наиболее общем случае возможно разбиение диапазона на равные интервалы, что является наиболее простым с точки зрения методического обоснования. Возможно построение интервала по естественным границам или с использованием гауссова распределения.

С технической точки зрения необходимо осуществление процедур с классификатором растровых изображений и разбиение соответствующего растра на необходимые интервалы с возможностью его последующего анализа и векторизации (при необходимости). Далее возможно 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. Также подход может быть использован с целью развития зонирования рекреационно-ландшафтных парков и других объектов ООПТ, выделения заповедных и потенциально опасных для биологического разнообразия зон, потенциально устойчивых зон.

## Результаты исследований

На рисунке 1 приведены результаты выделения наиболее уязвимых и устойчивых экосистем с точки зрения разнообразия. Нами был выбран для дифференциации величин интервал, построенный на основе гауссова распределения, отдельно для равнинного и для горного Крыма. Большая часть диапазона входит в состав потенциально устойчивых условий местообитания, и далее в каждом подинтервале выделяются экстремально низкие и экстремально высокие значения. В итоге нами получена шкала, на основе которой возможно рекогносцировочно оценить степень устойчивости и уязвимости экосистем Крыма с позиции разнообразия условий местообитания и выделить своеобразные зоны уязвимости биологического разнообразия и относительной устойчивости.

Всего было выделено 11 позиций, отличающихся по величине разнообразия условий местообитания, сформированных на основе сочетаний разнообразия базовых местоположений и величины потенциального и фактического биологического разнообразия.

На рисунке 1 можно выделить явно отличающиеся по рассматриваемому параметру зоны, дифференциация которых является достаточно дробной и мозаичной, что открывает возможности для последующего анализа, а также позволяет сравнивать различные экосистемы в различных природных зонах.

Функционирование и динамика региональных экосистем осуществляется в условиях региональных проявлений климатических изменений, это влияет на формирование уязвимости региональных экосистем. Основная задача при этом состоит в оценке степени устойчивости и уязвимости экосистем в условиях изменения показателей температуры и осадков и построении соответствующей картографической модели. С практической точки зрения необходимым является выделение экосистем, в которых особенности изменения климата проявляются наиболее ярко и, следовательно, имеют наибольшие значения при оценке уязвимости экосистем в условиях изменения климата.

За период 1979–2013 гг. были получены растровые изображения средних значений рассматриваемых показателей. Далее для каждого года были определены отклонения показателей.

Затем были определены величины среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август (рис. 2) и величины среднего отклонения средних многолетних сумм осадков (рис. 3). Данные модели показывают пространственную структуру экосистем по степени контрастности изменения и отклонения гидротермических состояний 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 экосистем, что в итоге оказывает влияние на их уязвимость. Рассмотрим более подробно построенные модели.

Величина среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август в своём пространственном рисунке в определённой мере повторяет схемы континентальности климата. Отметим, что диапазон отклонений здесь лежит только в положительном спектре, что говорит об общем повышении температур в динамике за период вегетации и формировании зон, в которых суммы данных температур в будущем будут выше, а следовательно, и смещение сезонных состояний в сторону смены зимы весной, весны — летом будет происходить раньше, а наступление календарных сроков с данными состояниями будет всё чаще не совпадать.

Диапазон отклонений показателя средних многолетних сумм температур за период март — август лежит в пределах 99–142 °С. При этом минимальные диапазоны в пределах 99–109 °С пространственно привязаны к юго-западной части горного Крыма и ЮБК, где показатель отклонений будет обеспечивать определённую устойчивость сезонных состояний, а следовательно, и устойчивость экосистем как таковых к реакции на изменение температур.

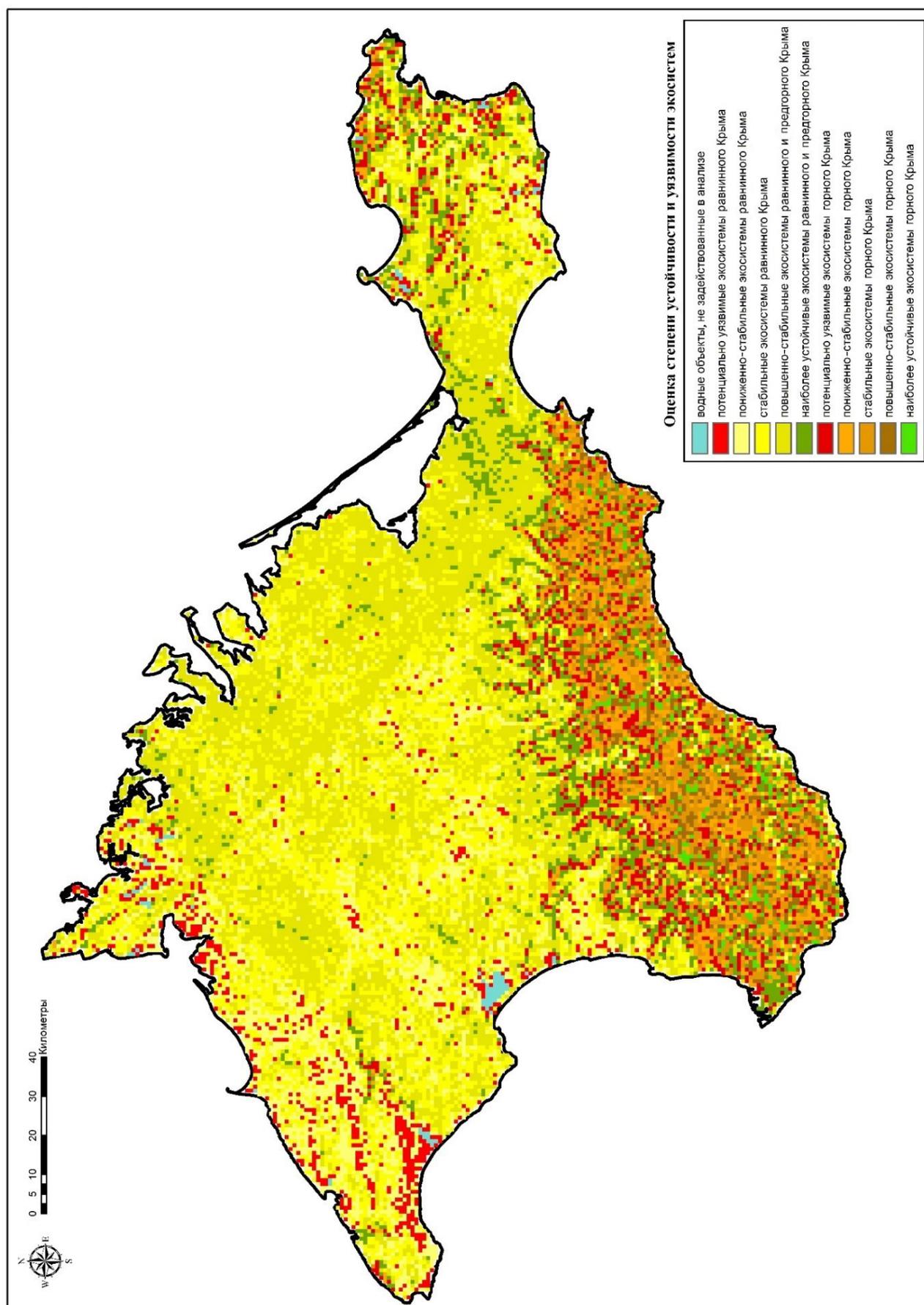


Рис. 1. Оценка степени устойчивости и уязвимости экосистем

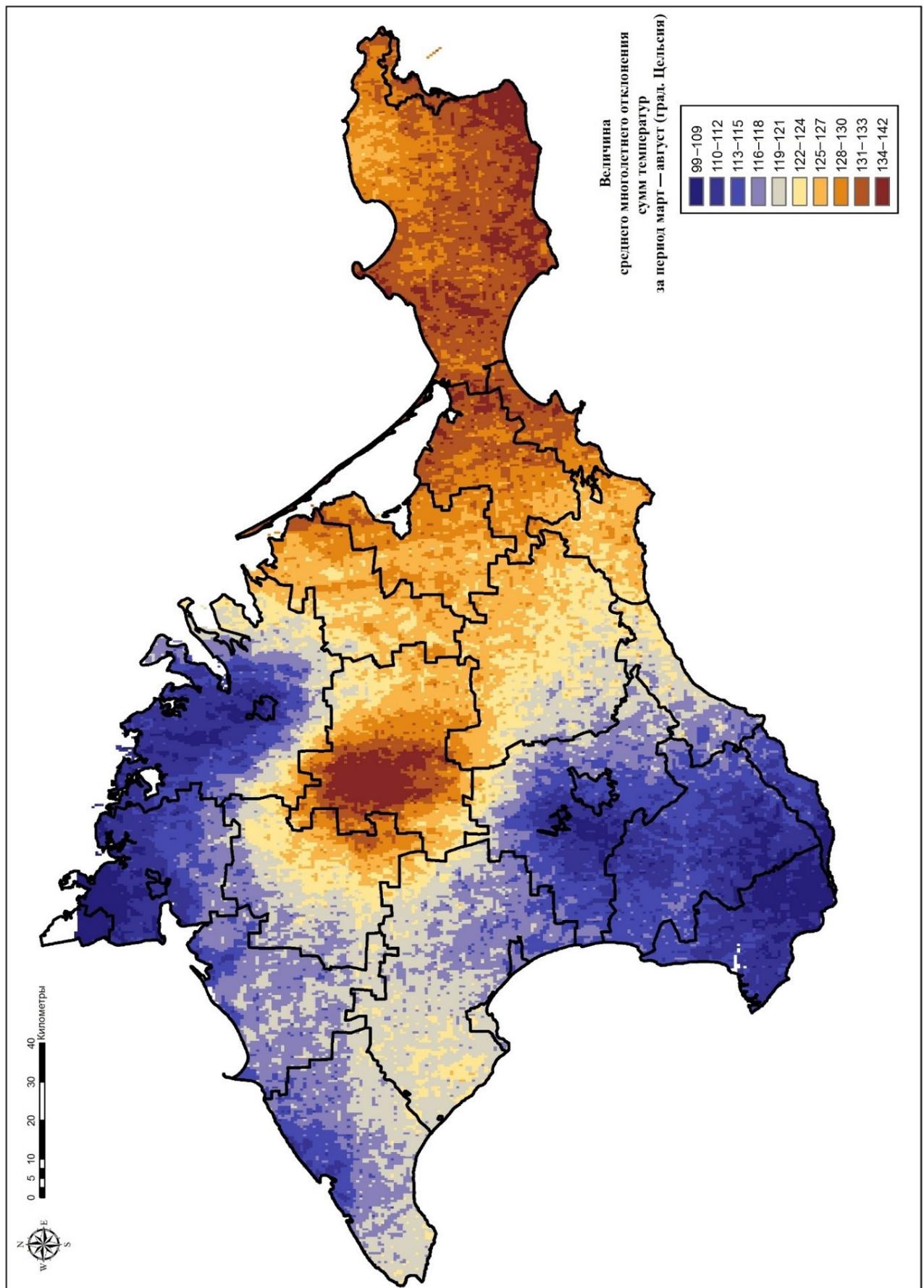


Рис. 2. Величина среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август

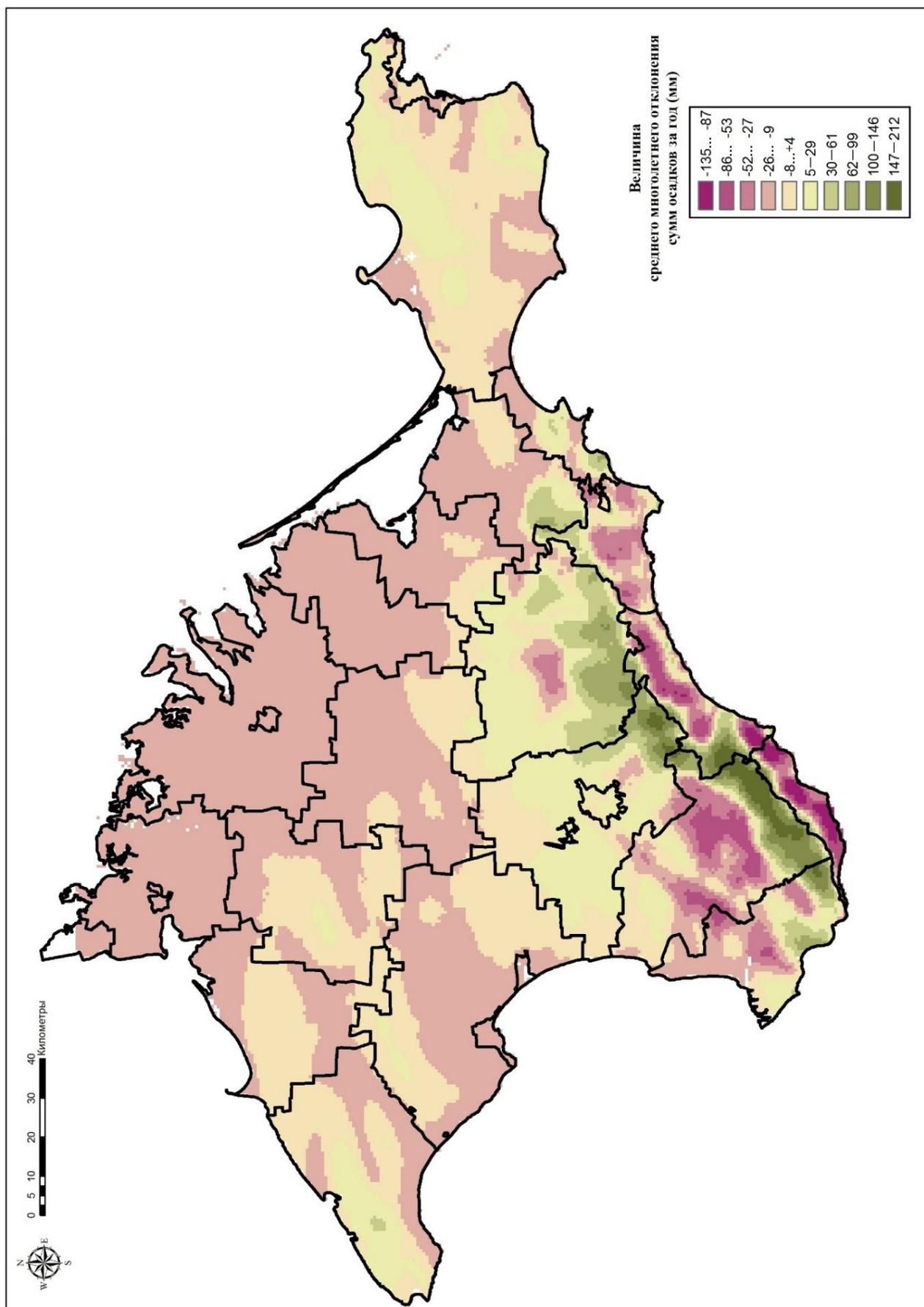


Рис. 3. Величина среднего отклонения средних многолетних сумм осадков

Наименее устойчивыми по показателю термической обеспеченности выступают экосистемы Керченского полуострова, где отклонение сумм температур достигает 134–142 °С, что говорит о возможной «разбалансировке» устойчивости наступления внутрисезонных состояний. Вторым резким ядром понижения степени устойчивости выступает центральная часть равнинного Крыма, где выделяется также участок весомых значений отклонения в пределах 131–142 °С.

Северная часть равнинного Крыма и Тарханкутский полуостров лежат в пределах высокой устойчивости сезонных состояний и их смены по температурному показателю. Величина отклонения соответствующего показателя находится в диапазоне 110–115 °С. Зоны несколько более пониженной устойчивости выделяются в пределах восточной части предгорного Крыма, Центрального Присивашья, где величины среднего отклонения средних многолетних сумм температур за период март — август составляют 121–127 °С.

Величина среднего отклонения средних многолетних сумм осадков показывает достаточно яркую и пространственно отличную картину дифференциации с выделением достаточно пространственно «оформленных» и чётких зон, в пределах которых формирование состояний экосистем происходит в условиях увлажнения с высокой долей отличий от средних многолетних норм.

Данная величина имеет ключевое значение при формировании состояний экосистем и их устойчивости, что ещё раз подтверждает факт недостаточности увлажнения экосистем полуострова и ведущую роль влаги в их функционировании и уязвимости.

В пространственном распределении показателя чётко выделяются зоны, в пределах которых отклонение имеет весомые значения, проявляется более умеренно или имеет слабое значение. Интервал колебания отклонений находится как в положительном, так и в отрицательном диапазоне. Отрицательный диапазон имеет пределы от –135 до 0 мм осадков, а положительный — от 0 до 212 мм.

Чёткими зонами, в пределах которых отклонение сумм осадков имеет отрицательный диапазон, являются центральная часть ЮБК, восточная часть Главной гряды Крымских гор и предгорная зона в пределах западной и центральной её частей. Экосистемы центральной части ЮБК, в районе линии г. Аю-Даг — п. Мисхор, имеют максимальные величины отклонений по данному показателю в пределах –135... –87 мм. Восточная часть Главной гряды Крымских гор имеет отклонение в пределах –86... –53 мм. Предгорная зона в пределах западной и центральной её частей имеет диапазон в пределах –86... –27 мм.

Данная картина обуславливает формирование зон потенциально уязвимых экосистем с точки зрения оценки степени их устойчивости и уязвимости в условиях изменения величин осадков, что отображено на соответствующих картографических моделях.

Контрастной выступает зона северного макросклона Крымских гор, в пределах которой, особенно в западной её части, отклонения величин имеют положительные значения, что в условиях недостаточного увлажнения экосистем полуострова приводит к формированию здесь зоны с потенциально стабильными состояниями с точки зрения оценки степени устойчивости и уязвимости экосистем в условиях изменения величин осадков. Величины отклонений здесь составляют 146–122 мм.

Средние и промежуточные значения отклонений с пространственной точки зрения по показателю осадков приводят к формированию зон пониженно-стабильных и стабильных показателей состояний. Так, например, подобная зона выделяется в пределах восточной части предгорного Крыма, где величины отклонений лежат в пределах 30–61 мм. Экосистемы равнинного Крыма в центральной части Крымского полуострова и Керченского полуострова имеют незначительные отрицательные и частично положительные значения отклонений в пределах –8... +4 мм и 5–29 мм, что обуславливает определённую стабильность данных экосистем. Зона Присивашья формирует менее устойчивый характер величины уязвимости экосистем по гидроклиматическим показателям. Здесь величина отклонения повышается до –27... –52 мм.

## Заключение

Таким образом, в результате работы на основе интегральной модели потенциального биологического разнообразия Крымского полуострова и данных об изменении климата в Крыму были построены пространственные модели уязвимости региональных экосистем. Описана пространственная дифференциация уязвимости экосистем.

Полученные модели имеют широкий спектр использования как в научной, так и в практической деятельности за счёт наложения на них других тематических слоёв. Это может быть схема современного или перспективного использования территории, схемы территориального планирования конкретных административных единиц, схемы генеральных планов развития территорий муниципальных образований, конкретные проекты, например в рамках программ социально-экономического развития регионов, материалы оценок воздействия на окружающую среду для отдельных промышленных или хозяйственных объектов.

Важное значение имеет научная составляющая. Например, может быть проведено сравнение со схемами неблагоприятных физико-географических процессов и неблагоприятных природных экологических факторов, возможно сравнение и анализ с тематическими слоями и картами компонентов ландшафта, ландшафтной структуры как таковой, парадинамическими и парагенетическими структурами ландшафтов. Имеет место и использование моделей при геоботанических исследованиях, исследованиях по ренутарализации территорий, лесоразведению и лесоводству, мелиорации ландшафтов, агроэкологических исследованиях.

## Список литературы

1. *Вьшкваркова Е. В., Воскресенская Е. Н.* Пространственное распределение экстремальных осадков на территории Крымского полуострова // Системы контроля окружающей среды. – 2014. – № 20. – С. 136–139.
2. *Глуценко И. В.* Методические проблемы подготовки данных для построения SWAT-модели на территорию Крыма // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 38–47.
3. *Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Дрыгваль А. В., Табуницкий В. А.* Изменение температуры воздуха в Крыму // Социально-экологические технологии. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 370–383. – <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383>
4. *Горбунов Р. В., Табуницкий 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. – <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2021-11-1-121-138>
5. *Зуев А. В., Летухова В. Ю., Зуева Е. А.* Климатические изменения как фактор трансформации растительного покрова на примере Карадагского ландшафтно-экологического стационара // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2020. – Вып. 1 (13). – С. 77–98.
6. *Ильин Ю. П., Репетин Л. Н.* Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2006. – № 14. – С. 433–448.
7. *Кононова Н. К.* Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, вып. 1. – С. 633–639.

8. Корсакова С. П. Анализ временной изменчивости характеристик термического режима на Южном берегу Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – Вып. 128. – С. 100–111. – <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.128.2018.13>
9. Корсакова С. П., Корженевский В. В. Оценка экологического режима местообитаний растений в условиях изменения климата // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН. – 2018. – № 4 (8). – С. 26–33.
10. Корсакова С. П. Реакция феноиндикаторов умеренных широт на изменение климата в сухих субтропиках: моделирование и прогноз // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 3. – С. 109–124.
11. Косовець О. О., Доніч О. А. Зміни клімату Криму у порівнянні зі змінами клімату в континентальній Україні // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 657–659.
12. Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А., Майборода С. А. Экстремальные значения температуры воздуха и морской воды в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2012. – № 26-1. – С. 284–290.
13. Лемешко Н. А., Евстигнеев В. П., Наумова В. А. Изменения температуры воздуха в Азово-Черноморском бассейне и на территории Крыма // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7, Геология. География. – 2014. – Вып. 4. – С. 131–143.
14. Нестеренко В. П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 18 (239). – С. 115–122.
15. Парубец О. В. Анализ климатических рядов Крымского полуострова // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – № 20. – С. 154–164.
16. Табунищик 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. – Вып. 4 (12). – С. 56–70.
17. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке — начале XXI века / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Доля, 2010. – 304 с.
18. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке — начале XXI века и её оптимизация / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Крым. науч. центр, 2011. – 227 с.
19. Холопцев А. В., Астафьева Д. А. Изменения климатических норм месячных сумм атмосферных осадков в Юго-Западном и Западном Крыму, а также аномалий поверхностных температур регионов Чёрного моря в зимние месяцы, в 1950–2012 гг. // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. – 2014. – Т. 27 (66), № 1. – С. 95–105.
20. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Vol. II. Regional aspects / Edited by С. В. Field [et al.]. – New York : Cambridge University Press, 2014. – 688 p. – <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386>
21. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 : an indicator-based report / European Environmental Agency. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. – 419 p. – (EEA Report ; no. 1/2017).
22. Cordova С. E. The Mediterraneanization of Crimea. Physical and cultural processes in landscape transformation // Méditerranée. – 2016. – Iss. 126. – P. 25–36. – <https://doi.org/10.4000/mediterranee.8179>

23. Ergina E. I., Zhuk V. O. Spatiotemporal variability of the climate and dangerous hydrometeorological phenomena on the Crimean Peninsula // Russian Meteorology and Hydrology. – 2019. – Vol. 44, iss. 7. – P. 494–500. – <https://doi.org/10.3103/S1068373919070082>
24. Fedorov V. M., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Y[u], Kononova N. K. Long-term air temperature variability on the Crimean Peninsula // Geography and Natural Resources. – 2017. – Vol. 38, iss. 1. – P. 86–92. – <https://doi.org/10.1134/S1875372817010115>
25. Global warming of 1.5 °C : IPCC special report / The Intergovernmental Panel of Climate Change. – [S. l.], 2018. – URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (accessed on: 10.03.2021).
26. 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. – Vol. 183, art. 104280. – <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>
27. 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. – Vol. 579, [art.] 012062. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012062>
28. Gorbunov R. Productivity dynamics of oak forests of the Crimean Peninsula // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 169, [art.] 03007. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016903007>
29. Hatzaki M., Wu R. The south-eastern Europe winter precipitation variability in relation to the North Atlantic SST // Atmospheric Research. – 2015. – Vol. 152. – P. 61–68. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.008>

## REGIONAL ECOSYSTEMS VULNERABILITY OF THE CRIMEAN PENINSULA

**Gorbunov R. V.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [karadag\\_station@mail.ru](mailto:karadag_station@mail.ru)*

Based on data on the potential biological diversity of the Crimean peninsula and regional manifestations of climate change, cartographic models of the regional ecosystems vulnerability of the Crimean peninsula to anthropogenic impact and climatic changes were obtained. The spatial features of regional ecosystems vulnerability of the Crimean peninsula are described.

**Keywords:** vulnerability, stability, regional ecosystems, changing of the climate, Crimean peninsula.

### Сведения об авторе

Горбунов	кандидат географических наук, директор ФГБУН ФИЦ «Институт биологии
Роман	южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:karadag_station@mail.ru">karadag_station@mail.ru</a>
Вячеславович	

*Поступила в редакцию 23.05.2021 г.  
Принята к публикации 14.07.2021 г.*