

УДК 574.45:551.583(477.75)

DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-17-25

СВЯЗЬ ПРОДУКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ДИНАМИКОЙ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Роман Вячеславович Горбунов

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН

299011, г. Севастополь, пр-т Нахимова, 2

E-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Представлены результаты оценки пространственно-временной взаимосвязи и межгодовой динамики продуктивности региональных экосистем Крыма с гидротермическими условиями. В исследовании были использованы космические снимки Landsat с разрешением 30x30 м. Для учета продуктивности экосистем был использован индекс NDVI. Для определения данного индекса использован модуль анализа изображений ArcGIS 10. На основе рангового коэффициента корреляции определено несколько четко выраженных интервалов и периодов влияния гидротермических состояний региональных экосистем на формирование величины их биологической продуктивности. За промежуток с 1979 по 2017 гг. выявлено четыре периода, характеризующиеся различной степенью пространственно-временной корреляции продуктивности региональных экосистем и их тепло- и влагообеспеченности. Показана роль различных групп циркуляции в межгодовой динамике пространственно-временной взаимосвязи рассматриваемых характеристик. Отмечается, что с 1957 вплоть до 1985 гг. абсолютное преобладание имел рост продолжительности северной циркуляции. Барьер в 1985 г. достаточно четко совпадает со сменой первого периода настоящего анализа. Это явно обеспечивало стабильность показателей пространственной связи в первом период и некоторое их расхождение во втором периоде после смены типа циркуляции. Второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи совпадает с первым периодом стабильной взаимосвязи между показателя тепло- и влагообеспеченности и величинами продуктивности региональных экосистем. Период с 1970 по 1997 гг. характеризовался выходом с моря южных циклонов, которые в Крыму в среднем за год привели к снижению температуры воздуха, и к нестабильности корреляционных связей с продуктивностью экосистем. С 1998 г. по настоящее время при преобладании меридиональной северной циркуляции и минимальной продолжительности зональной, происходит уменьшение продолжительности меридиональной южной циркуляции, что обуславливает достаточно продолжительный период стабильной связи продуктивности и основных климатических показателей в третьем периоде настоящего анализа. Рост температуры воздуха в период 1998-2013 гг. связан с ростом антициклонического режима.

Ключевые слова: региональные экосистемы; продуктивность; NDVI; гидротермические условия; Крымский полуостров

Введение

Общеизвестным является факт того, что экосистемы Крыма находятся в условиях недостатка поступления влаги, а большинство современных растительных сообществ сформировались в предыдущие климатические эпохи [3–6]. Взаимосвязи величины продуктивности экосистем, морфологических параметров растительных сообществ, их структуры и других качественных и количественных характеристик в условиях Крыма многократно доказана. Как отмечалось в предыдущих работах авторов [1, 7, 8], посвященных оценке региональных трендов климатических изменений в Крыму, сегодня основной тенденцией изменения климата за период инструментальных наблюдений выступает увеличение его континентальности, а также потепление на 1°C, которое произошло в последний циркуляционный период. Вместе с тем открытым остается вопрос наличия пространственно-временной связи между гидротермическими условиями региональных экосистем и их продуктивностью, нахождения тесноты взаимосвязи между этими параметрами в достаточно длинном временном отрезке.

Таким образом, целью данной работы является выявление взаимосвязи межгодовой динамики продуктивности региональных экосистем с межгодовой динамикой гидротермических условий на фоне смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария.

Объекты и методы исследования

В качестве материала исследований были использованы космические снимки Landsat за период с 1979 по 2017 гг. Снимки были получены путем скачивания с открытого ресурса USGS [9]. Из всего каталога спутниковых данных были выбраны снимки с максимальным набором цветовых каналов типа Level 1 GeoTIFF Data Product. Всего было получено 277 космических снимков за разные периоды с различным территориальным охватом районов Крыма. Разрешение каждого снимка составляет 30x30 м. Специфика орбиты спутников Landsat и особенности работы камеры делят территорию Крыма на 4 накладываются сегмента, которые при наложении позволяют получить достаточно детальное отображение территории в многоканальном спектре. Обработка снимков была произведена в программе ArcGIS 10.

Особенности и история проекта Landsat не обеспечивают возможность получения полного комплекта всех четырех сегментов спутникового снимка для каждого из интересующих периодов. В ряде случаев на одну дату могут быть представлены 2, 3 или даже 1 сегмент снимка, в зависимости от прохождения орбиты снимка. При этом наблюдается определенное смещение части снимков при переходе от спутника к спутнику (период с 1979 по 2017 г. охватывает работу спутников Landsat3, Landsat4, Landsat5, Landsat7 и Landsat8). При отбраковке снимков большое значение имеет наличие на них облачности. В работе было использовано правило минимизации облачности.

Важное значение имеет выбор диапазона дат, в пределах которых сегменты снимка могут быть тождественны для соединения. Учитывая, что основная цель анализа снимков состоит в оценке динамики величины биологической продуктивности, то целевым периодом для наших исследований выступает вегетационный период. Кроме того, анализ представленных в проекте снимков позволяет заключить, что в зимний и, даже в осенний и весенний периоды практически на всех космических снимках присутствует облачность. В некоторых случаях она достигает 100% и не позволяет использовать снимок для дальнейшей работы.

В пределах вегетационного периода нами был выбран август месяц. В течение данного месяца за период с 1979 по 2017 г. были доступны снимки на следующие даты: 01.08, 05.08, 06.08, 12.08, 16.08, 20.08, 26.08, 29.08, 31.08. Весь спектр снимков был обработан, в том числе и отбракованы снимки с облачностью. Выбор последовательности наложения снимков обусловлен следующим условием: по мере удаления облачности и приближении даты к середине вегетационного периода и середине августа месяца.

Анализ базы данных космических снимков показывает, что использование снимков за июнь месяц является не целесообразным, так как в данном случае максимальная величина биологического разнообразия за данный период не достигнута. В июле месяце величина биомассы существенно выше, однако на практике практически на каждом космоснимке присутствует облачность, особенно в пределах горного Крыма, что связано с высокой величиной осадков в данный период в Крыму. Учитывая этот факт, использовать июльские снимки достаточно затруднительно и нецелесообразно.

Таким образом, и с технической и с логической точки зрения, использование снимков за август месяц является наиболее оптимальным, так как с одной стороны за данный период достигнута более высокая величина биомассы, а с другой – в данный

период снимки являются «наиболее чистыми» от облаков и практически для каждого года из выбранного периода имеется возможность собрать хотя бы одну «полосу» пролета снимка над территорией Крыма.

Для учета фактора продуктивности экосистем, в исследовании был использован индекс NDVI. Он представляет собой один из множества разработанных на сегодня индексов для определения величины биологической продуктивности экосистем, базирующийся на расчете соотношения каналов мультиспектральных космических снимков. Индекс NDVI среди всего многообразия индексов является одним из базовых и имеет колоссальную практику при определении, устоявшуюся методологию дешифрирования полученных данных, а также уже встроен в качестве автоматических скриптов в современные геоинформационные пакеты программ. Для определения данного индекса использован модуль анализа изображений ArcGIS 10. По сути, NDVI – это один из самых простых индексов для оценки количественного показателя биомассы, рассмотрение методологии данного индекса в рамках данной работы не представляет интерес, так как она является сформированной и апробированной. Отметим лишь, что в критике практики использования данного индекса ставится вопрос относительно необходимости сравнения данных с тестовыми участками для определения фактической величины биомассы, так как индекс является относительным. В рамках данного исследования нас более интересует динамика величины продуктивности в относительных величинах при изменении климатических параметров, нежели фактические величины биомассы. Отметим также, что для территории Крыма, в том числе и для естественных растительных сообществ, накоплен широкий полевой опыт определения величины продуктивности сообществ, и интерпретация индекса также является возможной, но в рамках этого исследования не является необходимой.

Автоматический расчет величины индекса в данном модуле классифицируется по шкале от 0 до 200 единиц (данный диапазон разработан для 8-ми битной структуры и может быть отображен при помощи цветовой шкалы или цветовой гаммы, что делает его использование более удобным), которые в последствии могут быть переведены в значение величин индекса в диапазоне от 0 до 1 в классическом варианте интерпретации индекса. Учитывая, что задачей нашей работы ставится сравнение величины биологической продуктивности, а не дешифрирование растительного покрова, применение стандартной шкалы ArcGIS является более удобной для работы.

С целью проведения анализа многолетней пространственно-временной динамики продуктивности экосистем была составлена база данных значений их NDVI. В качестве операционно-территориальной единицы (ОТЕ) анализа была использована ландшафтно-типологическая карта Крымского полуострова, составленная Г.Е. Гришанковым [4].

Для анализа связи продуктивности региональных экосистем с гидротермическими условиями среды были 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 ОТЕ:

1. Типы контуров ландшафтной дифференциации Крыма (124 типа контуров);
2. Контура 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 контуров).

Пространственная связь продуктивности региональных экосистем с гидротермическими условиями рассматривалась с применением рангового коэффициента корреляции.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены результаты расчётов пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности региональных экосистем Крыма и их продуктивности за период 1979-2013 гг.

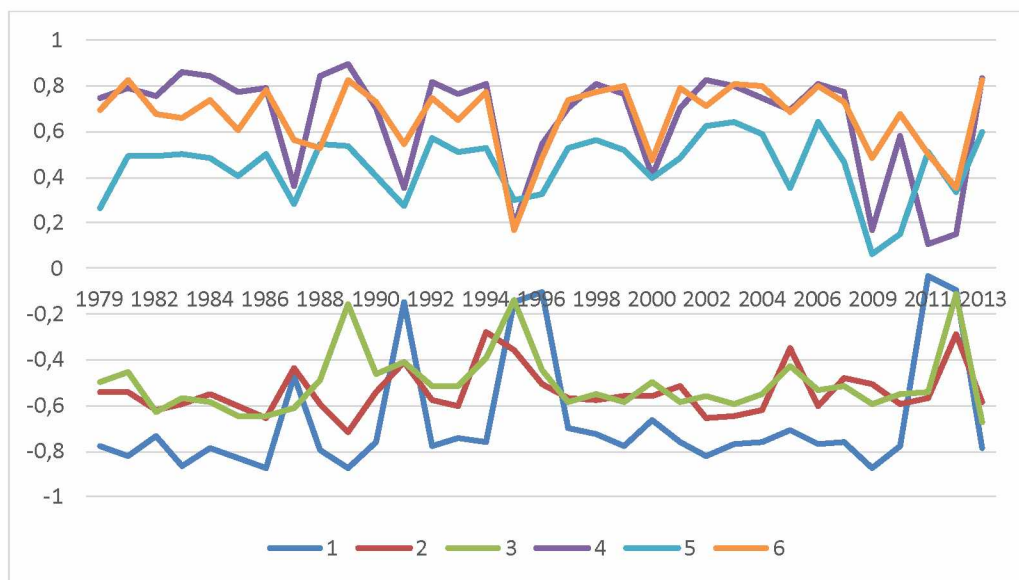


Рис. 1 Динамика показателей пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности региональных экосистем Крыма и их продуктивности за период 1979-2013 гг. на основе рангового коэффициента корреляции: 1 – коэффициент корреляции между суммами температур и продуктивностью в пределах ОТЕ «Типы контуров ландшафтной дифференциации»; 2 – коэффициент корреляции между суммами температур и продуктивностью в пределах ОТЕ «Контур ландшафтной дифференциации в пределах горной части Крыма без типизации»; 3 – коэффициент корреляции между суммами температур и продуктивностью в пределах ОТЕ «ООПТ Крыма»; 4 – коэффициент корреляции между суммами осадков и продуктивностью в пределах ОТЕ «Типы контуров ландшафтной дифференциации»; 5 – коэффициент корреляции между суммами осадков и продуктивностью в пределах ОТЕ «Контур ландшафтной дифференциации в пределах горной части Крыма без типизации»; 6 – коэффициент корреляции между суммами осадков и продуктивностью в пределах ОТЕ «ООПТ Крыма»

Рассматривая динамику показателей пространственной связи показателей тепло- и влагообеспеченности региональных экосистем Крыма и их продуктивности за период 1979-2013 гг. на основе рангового коэффициента корреляции возможно выделить несколько четко выраженных интервалов:

1. Интервал крайне тесной взаимосвязи – величина рангового коэффициента в пределах 0,8-0,9 и -0,8 - -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 –0,3.

Обращает на себя внимание наличие широкого диапазона колебания индекса пространственной взаимосвязи продуктивности с температурами воздуха и с осадками. В первом интервале связь является явной и показывает то, что формирование полей осадков и температур являются в данный конкретный год или период ведущими факторами при формировании величины продуктивности. Это справедливо и для второго интервала, когда пространственная дифференциация величин осадков, например, может объяснить пространственную структуру величины продуктивности экосистем, например, на 60%, при разработке соответствующей статистической модели.

Показатели третьего интервала занимают промежуточное значение. Здесь статистическая взаимосвязь является явной, однако необходимо справедливо отмечать, что рассматриваемый фактор является не единственным ведущим при формировании продуктивности. Например, поля осадков в каждый конкретный год не являются доминирующими при формировании величин продуктивности и в данном случае может возрастать как роль температур, так и роль других факторов, присущих в каждой конкретной экосистеме, будь то трофность, особенности местообитания, последовательности смены внутрисезонных и внутрисуточных состояний и т.д.

Последующие диапазоны говорят уже скорее о второстепенной роли фактора при формировании пространственной структуры продуктивности региональных экосистем. Так, четвертый интервал подтверждает наличие пространственной взаимосвязи, как таковой на достаточно «плотном» и, что самое главное, статистически значимом уровне, однако при этом рассматриваемый фактор не является ведущим, хотя его роль имеет значимое корректирующее значение. В пятом интервале данное корректирующее значение существенно снижается, но, все же, имеет статистически значимое выражение, а в шестом интервале – роль фактора вообще отсутствует.

В случае рассмотрения сумм температур за период близкий по продолжительности к периоду вегетации, значение коэффициента находится в отрицательном диапазоне, что в общем виде говорит о том, что чем выше сумма температур вегетационного периода, тем меньшее величина продуктивности будет «на выходе» в августе. Здесь суть вопроса состоит в смещении величины пика продуктивности за счет достаточных сумм температур и наступления, соответствующих внутрисезонных состояний несколько ранее, например, со сдвигом в июль.

В случае рассмотрения величин годовых осадков – связь с величинами продуктивности положительная, что говорит о том, что чем выше суммы осадков и их средние величины в разрезе года и каждого конкретного месяца, тем выше величина продуктивности.

Выделенные интервалы позволяют за выбранный временной период выделить несколько достаточно четко выраженных периодов при определении влияния гидротермических состояний экосистем 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.

Сразу необходимо отметить, что максимальные значения коэффициентов как для температуры воздуха, так и для осадков были получены для варианта рассмотрения

типов контуров ландшафтной дифференциации Крыма. Близкие к ним значения были получены для сети ООПТ Крыма в случае осадков. Контур ландшафтной дифференциации в пределах горной части Крыма без типизации в случае осадков и температуры во взаимосвязи с продуктивностью экосистем показали более низкие значения как по осадкам, так и по температуре, аналогичные диапазоны показателей представлены и в случае единиц дифференциации сети ООПТ Крыма.

Снижение величин коэффициентов для контуров ландшафтов в пределах горного Крыма объясняется не учетом ландшафтных контуров в пределах равнинного Крыма, Керченского полуострова, что не позволяет учитывать динамику продуктивности степных сообществ, как наиболее требовательных к гидротермическому режиму. Преимущественные площади в данной выборке представлены лесными экосистемами, многие из которых достаточно однородны по площади и пространственным значениям величины индекса продуктивности, что в некоторой мере снижает величины пространственной взаимосвязи, так как дифференциация гидротермических состояний в пределах горного Крыма существенно более дробная.

В случае выбора для анализа в качестве ОТЕ ландшафтных контуров Крыма, в их пределы попадают и сельскохозяйственные угодья. Это на первый взгляд должно снизить точность рассчитываемых коэффициентов и возможности интерполяции данных на природные сообщества. С другой стороны, развитие продуктивности и внутрисезонных состояний степных сообществ по своим фазам часто схожи с агроценозами в части совпадения периодов вегетации их возможного смещения по фазам во времени. Это подтвердил анализ, проведенный с учетом степных сообществ в пределах ООПТ Крыма как возможных ОТЕ. Различие агроценозов состоит в том, что смещение стадии фаз вегетации в сторону ускорения достижения пика продуктивности приводит к тому, что в августе месяце на полях уже достаточно часто произведена уборка урожая. Но, с другой стороны, в естественных степных сообществах в данных случаях происходит усыхание биомассы. Рассмотрим далее более подробно каждый период.

Первый период характеризуется относительно устойчивыми и достаточно высокими показателями пространственной связи между величинами продуктивности сообществ и величинами гидротермических состояний. Показатель пространственной взаимосвязи находится в пределах 0,6 в среднем для рассматриваемых вариантов при незначительных флуктуациях в сторону увеличения до 0,8 в случае осадков и на уровне $-0,6$ в среднем и до $-0,8$ при повышении связи в случаях температур.

Второй период характеризуется значительно менее устойчивыми значениям и колебанием величины пространственной связи в динамике от года к году. Максимальные значения здесь в среднем снижаются до 0,6 по осадкам и до $-0,6$ по температуре, при этом возможны резкие скачки в сторону снижения показателей связи в крайне слабый диапазон (0,4-0,5 – осадки, $-0,3$ – $-0,4$ – температура) и, даже проявление моментов отсутствия пространственной связи.

Третий период связан со стабилизацией показателей пространственной связи и повышения их до уровня первого периода, при этом связь продуктивности с температурами более устойчива по времени. В случае осадков присутствуют колебания с определенными спадами в средний диапазон связи при общем сохранении количественных различий между вариантами выбранных ОТЕ.

Четвертый период, характеризуется нарушением стабильной динамики в рассматриваемых показателях, наблюдаются их колебания в сторону снижения степени пространственной связи при возможных резких скачках в случае особо сухих и жарких сезонных состояний, что, в целом, достаточно плотно коррелирует со сдвигом сезонных состояний.

Отметим, что выделенные периоды достаточно четко связаны с изменением преобладающих циркуляционных процессов. Так при анализе периодов циркуляционных эпох [2] в заданный интервал с 1979 по 2013 попадает 2 периода меридиональной южной циркуляционной эпохи, начало которой приурочено к 1957 г. Последний период, данной эпохи, как отмечалось выше, приурочен к 1998 г., что в целом совпадает с границей периода 2 и 3 данного анализа с разницей в 1-2 года, что обусловлено учетом при выделении данных интервалов момента начала спада показателя пространственной связи, а также возможной «задержкой» реакции экосистем на изменение гидротермического режима.

Также отмечается, что с 1957 вплоть до 1985 г. абсолютное преобладание имел рост продолжительности северной циркуляции. Барьер в 1985 г. достаточно четко совпадает со сменой первого периода данного анализа. Это явно обеспечивало стабильность показателей пространственной связи в второго периода и некоторое их расхождение во втором периоде после смены типа циркуляции. Преобладающими по продолжительности в первой половине этого периода были элементарные циркуляционные механизмы меридиональной северной группы циркуляции с тремя-четырьмя блокирующими процессами на полушарии, а позднее – с двумя противоположными по направлению блокирующими процессами. Как отмечалось ранее, в 1977-1985 гг. при абсолютном преобладании меридиональной северной циркуляции, процессы нарушения зональности стали продолжительнее и преобладали над меридиональными южными. Именно второй период данной циркуляционной эпохи совпадает с первым периодом стабильной взаимосвязи между показателя тепло- и влагообеспеченности и величинами продуктивности региональных экосистем.

Быстрый рост меридиональных южных процессов, начавшийся в 1981 г., привел к чередованию в период с 1987 по 1997 гг. лет с преобладанием одной из меридиональных групп циркуляции при существенном уменьшении продолжительности зональных, что, в целом, совпадает со вторым периодом данного анализа с 1987 по 1996 гг. В этот период меридиональная южная группа была продолжительнее средней более чем в три раза. Такое положение означало крайнюю неустойчивость атмосферной циркуляции, какой не было за весь предыдущий период, что выразилось в быстром росте повторяемости метеорологических экстремумов и метеорологически обусловленных опасных природных процессов, привело к неустойчивым колебаниям пространственной связи гидротермического режима и величины продуктивности экосистем.

Ранее отмечалось, что с 1998 г. по настоящее время при преобладании меридиональной северной циркуляции и минимальной продолжительности зональной, происходит уменьшение продолжительности меридиональной южной циркуляции, что обуславливает достаточно продолжительный период стабильной связи продуктивности и основных климатических показателей в третьем периоде данного анализа.

Обращает на себя внимание, что спад среднегодовой температуры в период 1981-1997 гг. и её резкий рост в период 1998-2013 гг. достаточно четко оказывает влияние на изменение связей с данными параметрами у продуктивности региональных экосистем. Такое повышение связано с увеличением значений летних температур, на фоне снижения зимних. То есть, происходит увеличение континентальности климата полуострова и определенная стабилизация реакции экосистем на данные процессы.

Рост температуры воздуха в период 1998-2013 гг. связан с ростом антициклонического режима. Период с 1970 по 1997 гг. характеризовался выходом с моря южных циклонов, которые в Крыму в среднем за год привели к снижению температуры воздуха, и к неустойчивости корреляционных связей с продуктивностью экосистем.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований на основе рангового коэффициента, были выделены шесть четко выраженных интервалов коэффициента взаимосвязи показателей тепло- и влагообеспеченности экосистем Крыма и их продуктивности. Отмечается наличие широкого диапазона колебания индекса пространственной взаимосвязи продуктивности с температурами воздуха и с осадками. Для первых двух диапазонов гидротермические условия являются определяющими при формировании пространственной структуры продуктивности региональных экосистем. Последующие диапазоны уже характеризуют второстепенную роль данных факторов при формировании пространственной структуры продуктивности экосистем.

Выявлены следующие вполне логичные закономерности динамики экосистем. 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 экосистем 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 состояний экосистем 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 г. абсолютное преобладание имел рост продолжительности северной циркуляции. Барьер в 1985 г. достаточно четко совпадает со сменой первого периода данного анализа. Это явно обеспечивало стабильность показателей пространственной связи в первом периоде и некоторое их расхождение на втором периоде после смены типа циркуляции.

Работа выполнена в рамках темы НИР ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119061190081-9

Список литературы

1. Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В., Табунчик 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.
2. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерджеевскому. – Москва, 2009. – 372 с.
3. Ландшафтно-геофизические условия произрастания лесов в юго-восточной части Горного Крыма / под ред. В.А. Бокова. – Симферополь, 2001. – 136 с.
4. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. – Симферополь, 2009. – 672 с.
5. Трансформация водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. В.А. Бокова. – Симферополь, 2011. – 227 с.
6. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX– начале XXI века / под ред. В.А. Бокова. – Симферополь, 2010. – 304 с.
7. 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. – Vol. 38. – Issue 1. – P. 86-92. DOI: 10.1134/S1875372817010115.
8. 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. – 104280. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104280.

9. USGS – science for a changing world. – [Электронный ресурс] – <https://www.usgs.gov/>

Статья поступила в редакцию 12.03.2021 г.

Gorbunov R.V. Relationship of regional ecosystems productivity with the dynamics of hydrothermal conditions on the territory of the Crimean peninsula // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2021. – № 138. – P. 17-25

The results of assessing of the spatiotemporal relationship and interannual dynamics the of regional ecosystems productivity of the Crimean Peninsula with hydrothermal conditions are presented. Landsat space images from 1979 to 2017 are used as the research material. The resolution of each image is 30x30 m. The NDVI index was used to account for the productivity factor of ecosystems in the study. The ArcGIS 10 image analysis module is used to determine this index. On the basis of the rank correlation coefficient, several clearly defined intervals are determined, which, in turn, allow for the selected time period to identify several quite clearly defined periods in determining the influence of hydrothermal states of regional ecosystems on the formation of the value of their biological productivity. For the period from 1979 to 2017, four periods characterized by different degrees of spatiotemporal correlation between productivity of regional ecosystems and their heat and moisture supply are identified. The first period is characterized by relatively stable and sufficiently high values of spatial correlation between values of regional ecosystems productivity and indicators of hydrothermal states. The second period is represented by much less stable indicators and fluctuations of spatial relationship in dynamics from year to year. The third period is associated with stabilization of spatial relationship indicators and their increase to the level of the first period, while the relationship of productivity with temperatures is more stable in time. The fourth period, is characterized by violation of stable dynamics in considered indicators, their fluctuations towards decrease of spatial relationship degree with possible sharp jumps in case of especially dry and hot seasonal states, which, in general, correlates rather tightly with the shift of seasonal states. These periods are quite clearly connected with the changes in the prevailing circulation processes. The role of different circulation groups in the interannual dynamics of the spatial-temporal relationship of the characteristics under consideration is shown. It is noted that from 1957 up to 1985, the increase in the duration of the northern circulation had absolute dominance. The barrier in 1985 coincides quite clearly with the change of the 1st period of the present analysis. This clearly provided stability of the spatial relationship indicators in the 1st period and some divergence in the 2nd period after the circulation type change. The 2nd period of the meridional Southern circulation epoch coincides with the 1st period of stable relationship between heat and moisture availability indicators and values of productivity of regional ecosystems. The period from 1970 to 1997 was characterized by southern cyclones exiting from the sea, which led to a decrease in air temperature in the Crimea on average per year, and to unstable correlations with the productivity of ecosystems. From 1998 to the present, with the dominance of the meridional Northern circulation and the minimum duration of the Zonal circulation, there is a decrease in the duration of the meridional Southern circulation, which causes a sufficiently long period of stable relationships between productivity and the main climatic indicators in the 3rd period of this analysis. Decrease in mean annual temperature in 1981-1997 and its sharp increase in 1998-2013 clearly enough influence on the change of links with these parameters in productivity of regional ecosystems. The increase in air temperature in the period 1998-2013 is associated with the growth of the anticyclonic regime.

Key words: *regional ecosystems; productivity; NDVI; hydrothermal conditions; Crimean Peninsula*