ISSN 2414-4738
Научный журнал
Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

ЭКОСИСТЕМЫ

Флора и фауна
Биоценология
Биология и экология видов
Охрана природы

2020 • 23

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО

ЭКОСИСТЕМЫ

2020

Выпуск 23

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ● ОСНОВАН В 1979 ГОДУ ● ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД ● СИМФЕРОПОЛЬ

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. I. VERNADSKY CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY

EKOSISTEMY

2020

ISSUE 23

SCIENTIFIC JOURNAL ● FOUNDED IN 1979 ● PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR ● SIMFEROPOL

ISSN 2414-4738

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61820 от 18 мая 2015 г. Выдано Федеральной службой по надзору сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол № ____ от _____

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям и соответствующим им отраслям науки: 03.02.01 – Ботаника (биологические науки) и 03.02.08 – Экология (по отраслям) (биологические науки)

Адрес редакции: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, кафедра ботаники и физиологии растений и биотехнологии, пр. Академика Вернадского, 4, Симферополь, 295007
E-mail: *ekotnu@list.ru*

Полнотекстовые версии статей последних выпусков журнала в формате PDF и правила для авторов размещены на официальном сайте журнала по адресу: http://ekosystems.cfuv.ru/

Оригинал-макет: С. В. Леонов.

На обложке: Буковый лес в Крымском заповеднике. Фото С. П. Иванова.

Подписано в печать _____. Формат 60×84/8. Усл. п. л. _____. Печать цифровая. Тираж 50 экз. Бесплатно
Заказ № _____. Дата выхода в свет _____

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности
ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»
295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

УДК 581:551.521.1(292.471) **DOI 10.37279/2414-4738-2020-23-5-15**

Структура и межгодовая динамика радиационного баланса региональных экосистем равнинного Крыма

Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Табунщик В. А., Дрыгваль А. В.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
gorbunov@ibss-ras.ru

В работе на основе открытых баз климатических данных и геоинформационного моделирования рассчитаны значения элементов радиационного баланса экосистем равнинного Крыма и проанализирована их пространственно-временная дифференциация. Выявлено, что пространственное распределение радиационного баланса характеризуется увеличением значений от центра к побережью полуострова, что согласуется с пространственной дифференциацией как суммарной солнечной радиации, так и всех остальных элементов коротковолновой части радиационного баланса. Выявлено значительное превышение значений радиационного баланса у экосистем плакорного ландшафтного уровня над значениями экосистем гидроморфного ландшафтного уровня, что определяется их расположением выбранных ключевых участков на западном побережье Крымского полуострова, для которого характерны максимальные значения поступления суммарной солнечной радиации в Крыму. Элементы длинноволновой части радиационного баланса изменяются в пространстве в противоположном направлении, по сравнению с коротковолновой частью, что связано с увеличением температуры воздуха и континентальностью климата в направлении от побережья к центральной части полуострова. В межгодовой динамике выявлены два периода, согласующиеся со сменой циркуляционных периодов Северного полушария. В целом для рассматриваемых экосистем характерны тренды увеличения значений радиационного баланса на фоне роста всех его элементов. Такой рост обеспечивается за счёт значительного роста значений во второй период на фоне отрицательных трендов значений радиационного баланса по ряду экосистем в первый период.

Ключевые слова: радиационный баланс, региональные экосистемы, ландшафт, Крымский полуостров, равнинный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Территория равнинного Крыма занимает большую часть Крымского полуострова и характеризуется обратной широтной зональностью – зона полупустынь на севере, лесостепей – на юге. Такое явление в Крыму обусловлено барьерным влиянием Крымских гор, что детально описано Г.Е. Гришанковым (Гришанков, 1977). Таким образом, в пределах равнинного Крыма в рамках ландшафтной дифференциации Г.Е. Гришанкова выделяются два ландшафтных уровня: гидроморфный и плакорный (Гришанков, 1969; Современные ландшафты…, 2009). К гидроморфному ландшафтному уровню относится зона низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльными, полынно-типчаковыми и, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными степями и лугами. В пределах данного пояса выделяются 4 ландшафтных пояса: пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псамофитов; пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями; пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин с ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями; пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчаковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями.

Плакорный ландшафтный уровень представлен зоной типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями. Зона, в свою очередь, делится на два яруса: верхний денудационный ярус ковыльно-типчаковых, петрофитных и кустарниковых степей и нижний

денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчаковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями.

В хозяйственном отношении территория равнинного Крыма практически полностью освоена и сохранившиеся естественные ландшафты занимают незначительные площади. В работе (Драган, Альшевби, 1998), показано что в Равнинном Крыму наибольшую площадь занимают очень сильно преобразованные (41 %), сильно преобразованные (40 %) и средне преобразованные (15 %) ландшафты.

Вместе с тем, эти территории представляют собой уникальные участки целинной степи, охрана которых является чрезвычайно актуальной.

Современные климатические изменения достаточно сильно оказывают влияние на структуру, функционирование и динамику степных экосистем, что подтверждается наличием международных программ по их сохранению («Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России»; «Sustainable Integrated Land Use of the Eurasian Steppes»; «Управление засушливыми землями» и ряд других проектов и программ). В этой связи крымские степи, которые являются сильно фрагментированными в пространстве и расположенны в зонах с сильной антропогенной нагрузкой, в том числе и рекреационной, характеризуются высокими рисками полного исчезновения. Наблюдаемая и описанная в ряде работ аридизация климата в Крыму, повышение континентальности климата приводят в итоге к трансформации экогеодинамических процессов и запускают часто непрогнозируемые процессы трансформации потоков вещества и энергии в экосистеме, и, как следствие – изменение её инварианта.

Вопросам изменения климата в равнинном Крыму посвящены работы (Ильин, Репетин, 2006; Парубец, 2009а; Парубец, 2009б; Горбунов, Горбунова, Кононова, 2014; Косовец, Донич, 2014; Кононова, 2014; Горбунов и др.. 2016; Fedorov et al., 2017; Корсакова, 2018; Корсакова, Корсаков, 2018; Ergina, Zhuk, 2019; Kazakov et al., 2019). Среди них стоит выделить работы О. В. Парубец (Парубец, 2014; Трансформация ландшафтно-экологических…, 2010), которая затрагивает аспекты изменения составляющих радиационного баланса на территории Крымского полуострова, в связи с изменением подстилающей поверхности. В работе (Парубец, 2014) она указывает, что увеличение площади пашни в конце XIX века в степной части Крымского полуострова за счет естественных степных сообществ привело к уменьшению поглощенной радиации на территории Крымского полуострова на 2 %, а в степном Крыму – на 5 %. Начиная с 30-х по 80-е годы XX века увеличение распашки земель привело к снижению радиационного баланса, уменьшению доли затрат тепла на испарение и к увеличению поверхностного стока.

Публикации, целенаправленно посвященные вопросам межгодовой динамики радиационного баланса экосистем равнинного Крыма, в настоящее время отсутствуют. Ситуация усложняется еще и тем обстоятельством, что на территории Крымского полуострова всего три метеостанции осуществляли актинометрические изменения, две из которых располагаются в Горном Крыму, а биоклиматическая станция в Евпатории, осуществлявшая актинометрические измерения на территории равнинного Крыма располагалась на морском побережье, что снижает её репрезентативность для всей территории равнинного Крыма. В настоящее время она прекратила своё существование. Таким образом, вопросы изучения межгодовой динамики элементов радиационного баланса равнинного Крыма оставались до сих пор не решёнными. А вместе с тем, как было показано в предыдущих работах авторов (Боков, Горбунов, 2011; Горбунов, 2014) именно поступление солнечной радиации является основным источником всех процессов, проходящих в экосистеме, а, соответственно, именно радиационный баланс во многом определяет стратегию экосистемного развития.

Таким образом, целью данной работы является изучение структуры и межгодовой динамики элементов радиационного баланса основных типов экосистем равнинного Крыма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве операционно-территориальной единицы исследования были использованы контура ландшафтов, представленные на ландшафтно-типологической карте Г.Е. Гришанкова (Современные ландшафты…, 2009). Ландшафтные контура с различными типами степных экосистем выбирались исходя из их приуроченности к различным ландшафтным уровням и ярусам. В таблице 1 представлены описания выбранных ландшафтных контуров.

Таблица 1

Характеристика выбранных ландшафтных контуров для изучения радиационного баланса экосистем равнинного Крыма

Ландшафтный уровень	Ландшафтная зона	Ландшафтный пояс / ландшафтный ярус	Ландшафт
1	2	3	4
Гидроморфный	Низменные недренированные и слабодренированные аккумулятивные и денудационные равнины с типчаково-ковыльными, полынно-типчаковыми и, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными степями и лугами	Пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофиными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов	1. Аккумалятивные недренированные низменности с солончаками и галофитными лугами
		Пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями	11. Аккумулятивные плоские слабодренированные равнины с полынно-житняковыми и ковылково-типчаковыми степями
		Пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин с ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями	14. Аккумулятивные плоские слабодренированные равнины с бедно-разнотравными ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями
		Пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчаковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	19. Аккумулятивные дренированные слабоволнистые равнины с ковыльно-разнотравными степями в комплексе с ковыльно-типчаковыми степями

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
Плакорный	Типичные ковыльно-типчаковые и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковые степи в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями	Верхний денудационный ярус ковыльно-типчаковых, петрофитных и кустарниковых степей	22. Структурные денудационные водораздельные плато с ковыльно-типчаковыми и петрофитными степями
		Нижний денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчаковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями	31. Структурные пологонаклонные денудационно-аккумулятивные равнины с ковыльно-типчаковыми степями

В качестве исходных данных для расчета элементов радиационного баланса была использована база данных реанализа Европейской организации спутниковой метеорологии (European Organisataion for the Exploitation of Meteorological Satellites – EUMETSAT) (https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI). Указанная база данных позволяет хранить многоспектральные наборы данных, которые представлены отдельными файлами в формате netCDF. Имеющийся набор данных был преобразован в формат geotiff для возможности загрузки их в программу. Для дальнейшей работы были извлечены данные только по территории Крымского полуострова. Расчеты солнечной радиации, поступающей на дневную поверхность, были произведены в программе ArcGIS 10.2.

Расчетная формула радиационного баланса представлена в виде (Будыко, 1956):

$$B = (Q - R) - E_e, \qquad (1)$$

где: Q – суммарная солнечная радиация, R – отражённая солнечная радиация, E_e – эффективное излучение.

Расчет значений суммарной солнечной радиации на территории Крымского полуострова производился по данным солнечной радиации временного интервала 1983–2015 гг. за каждый месяц каждого года. Расчетные данные показывают распределение сумм солнечной радиации за год в виде растровых слоев. Далее растры были переформатированы в слой с сетью регулярных точек с расстоянием между ними 0,05°. В рамках выбранных ранее контуров были определены точки, попадающие в их пределы. По выбранным точкам была извлечена необходимая расчетная информация по величине суммарной солнечной радиации. Для каждого отдельного ландшафтного контура была составлена атрибутивная таблица с данными, содержащими значения суммарной солнечной радиации в каждой точке. Полученная атрибутивная таблица была экспортирована в табличный формат MS Excel для удобства дальнейших расчетов.

Отраженная солнечная радиация была рассчитана по формуле (Будыко, 1956):

$$R = A \cdot Q, \qquad (2)$$

где: A – альбедо земной поверхности.

Информация по альбедо поверхности была взята из работы (Рахманов, 1984).

Поглощенная коротковолновая радиация рассчитывалась как разность между суммарной и отраженной радиацией (B_s).

Эффективное излучение было рассчитано по формуле (Будыко, 1956):

$$E_e = E_s - \delta E_a, \qquad (3)$$

где: E_s – поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы, E_a – противоизлучение атмосферы, δ – относительная излучательная способность поверхности.

Поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы определялся по формуле (Будыко, 1956):

$$E_s = \delta\sigma T^4, \qquad (4)$$

где: σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура воздуха.

Необходимый набор данных по температуре воздуха на территории Крымского полуострова был сгенерирован с помощью программного пакета ClimateEU v4.63 (http://tinyurl.com/ClimateEU) на основе методологии, описанной в (Wang et al., 2016).

Для получения данных реанализа по температуре на территории Крымского полуострова был сформирован слой точек с расстоянием между ними 0,01°. Для каждой точки в атрибутивную таблицу были извлечены координаты широты и долготы. В качестве источника информации по данным абсолютной высоты точки был взят космический снимок SRTM. Материалы координат и абсолютных высот были перенесены в табличный вид в MS Excel, а далее подгружены в программу ClimateEU. В итоге в каждой из заданных точек были составлены базы данных с информацией о температуре воздуха по месяцам за период с 1983 по 2013 гг.

На основании полученного файла MS Excel в программе Arc GIS 10.2 был построен точечный шейп-файл с информацией о среднемесячной температуре воздуха за каждый год указанного периода. С помощью интерполяции полученных значений были построены карты, которые впоследствии усреднялись до среднегодовых значений температур воздуха.

Расчет противоизлучения атмосферы производился по формуле Д. Брента:

$$E_a = \delta\sigma T^4 (a' + b\sqrt{e}), \qquad (5)$$

где: $a' = 1 - a$, a и b – эмпирические константы, e – парциальное давление водяного пара. Согласно М. Е. Берлянд и Т. Г. Берлянд (Будыко, 1956), a = 0,39; b = 0,058.

Определение величин парциального давления водяного пара производилось с помощью базы данных реанализа MERRA-2 (Global Modeling…, 2015). Среднемесячные значения относительной влажности воздуха и атмосферного давления были определены для каждого из рассматриваемых ландшафтных контуров. Данные генерируются системой сразу в файл MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитанные значения элементов радиационного баланса ключевых участков представлены в таблице 2. Пространственная дифференциация радиационного баланса экосистем 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 отражённой и поглощенной солнечной радиации закономерно повторяют пространственную дифференциацию значений суммарной солнечной радиации.

Таблица 2

Радиационный баланс ландшафтов равнинного Крыма (МДж/м^2·год)

№ 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

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. Причем формирование такого распределения значений эффективного излучения происходит за счёт синхронного поведения в пространстве как полей потока теплового излучения подстилающей поверхности, направленного в сторону атмосферы, так и за счёт противоизлучения атмосферы.

Таким образом, динамика среднегодовых значений радиационного баланса на территории равнинного Крыма имеет ярко выраженную пространственную дифференциацию. Рассмотрим более детально географическое распределение значений радиационного баланса на территории равнинного Крыма за период с 1983 по 2013 годы в пределах ранее выбранных ключевых участков.

Радиационный баланс экосистем аккумулятивных недренированных низменностей с солончаками и галофитными лугами (ландшафтный контур № 1) колеблется от 1497,0 до 2256,8 МДж/м^2·год. При этом среднее значение радиационного баланса в пределах ключевого участка за рассматриваемый период составляет 1992,9 МДж/м^2·год, а медиана значений – 2043,5 МДж/м^2·год. Наибольшее количество значений приходится на диапазоны – 1950–2000, 2050–2100 и 2150–2200 МДж/м^2·год. Общий тренд изменения среднегодовых значений радиационного баланса за рассматриваемый период направлен на увеличение.

В пределах ключевого участка, расположенного на аккумулятивной плоской слабодренированной равнине с полынно-житняковыми и ковылково-типчаковыми степями (ландшафтный контур № 11) значения радиационного баланса за рассматриваемый период изменяются от 1465,7 до 2225,6 МДж/м^2·год. Среднее значение составляет 1969,2 МДж/м^2·год, а медиана 2007,7 МДж/м^2·год. Больше всего значений радиационного баланса за рассматриваемый период находится в промежутке от 1950 до 2100 МДж/м^2·год. Общий тренд изменения среднегодовых значений радиационного баланса за рассматриваемый период также направлен на увеличение.

На ключевом участке, представленном аккумулятивными плоскими слабодренированными равнинами с бедноразнотравными ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями (ландшафтный контур № 14) значения радиационного баланса варьируются в пределах 1497,6–2194,7 МДж/м^2·год, при среднем значении в 1962,3 МДж/м^2·год и медиане в 1978,7 МДж/м^2·год. Наибольшее количество значений

радиационного баланса приходится на промежуток от 2150 до 2200 МДж/м^2·год. Общий тренд изменения среднегодовых значений радиационного баланса за рассматриваемый период направлен в сторону их роста.

На территории ключевого участка, расположенного в аккумулятивной денудационной слабоволнистой равнине с ковыльно-разнотравными степями в комплексе с ковыльно-типчаковыми степями (ландшафтный контур № 19) значения радиационного баланса изменяются от 1490,2 до 2201,6 МДж/м^2·год. За рассматриваемый период среднее значение радиационного баланса составляет 1957,8 МДж/м^2·год, а медиана – 1968,1 МДж/м^2·год. Самое большое количество значений радиационного баланса охватывает промежутоки значений 1950–2000, 2050–2100 и 2150–2200 МДж/м^2·год. Тренд среднегодовых значений радиационного баланса характеризуется ростом значений.

Распределение значений радиационного баланса в пределах экосистем плакорного ландшафтного уровня отличается от экосистем гидроморфного ландшафтного уровня. Как уже указывалось, обращает на себя внимание увеличение значений суммарной солнечной радиации, отражённой солнечной радиации, и соответственно, коротковолнового радиационного баланса, а также противоизлучения атмосферы и радиационного баланса на этом ландшафтном уровне, что связано с расположением выбранных ключевых участков на западном побережье полуострова, в зоне с максимальными значениями поступающей суммарной солнечной радиации. В пределах ключевого участка, расположенного на структурном денудационном водораздельном плато с ковыльно-типчаковыми и петрофитными степями (ландшафтный контур 22) значения радиационного баланса за период с 1983 по 2013 год изменяются от 1710,5 до 2444,9 МДж/м^2·год. Среднее значение за наблюдаемый период составляет 2120,6 МДж/м^2·год, а медиана значений за анализируемый период составляет 2122,3 МДж/м^2·год. Вместе с тем, наибольшее количество значений радиационного баланса находится в диапазоне значений от 2100 до 2150 МДж/м^2·год. За изучаемый период тренд изменения среднегодовых значений радиационного баланса направлен на увеличение.

В пределах экосистемы структурных пологонаклонных денудационно-аккумулятивных равнин с ковыльно-типчаковыми степями (ландшафтный контур 31) значения радиационного баланса за учитываемый период изменяются от 1811,6 до 2534,5 МДж/м^2·год. В то же время, среднее значение радиационного баланса составляет 2222,2 МДж/м^2·год, а медиана значений – 2243,9 МДж/м^2·год. Наибольшее количество значений радиационного баланса приходится на промежуток от 2200 до 2250 МДж/м^2·год. Тренд значений радиационного баланса за рассматриваемый период направлен на увеличение.

Временная динамика изменения значений радиационного баланса на всех ключевых участках характеризуется наличием двух периодов – первый период продолжался по 1997 гг., а второй начался с 1998 года, – которые характеризуются различными вариантами изменения межгодовой динамики значений радиационного баланса (рис. 1, 2). Выявленная временная граница соответствует смене циркуляционных периодов Северного полушария (Кононова, 2009). В таблице 3 приведены основные количественные характеристики значений радиационного баланса для выбранных ключевых участков в рамках выявленных периодов.

Первый период в целом, по сравнению со вторым, характеризуется меньшими значениями радиационного баланса (как по максимальным, так и по минимальным, средним значениям и медиане), причем эти различия могут значительно различаться. Прирост значений радиационного баланса для второго периода (1998–2013 гг.), по сравнению с первым (1983–1997 гг.), на территории ключевых участков в среднем достигает 10,6 % по средним значениям (максимально 11,0 % на территории ключевого участка 1 и минимально – 9,4 % на территории ключевого участка 22) и 11,0 % по медиане (максимально 12,4 % на территории ключевого участка 2 и минимально – 7,2 % на территории ключевого участка 31). При этом рост максимальных значений в рассматриваемые периоды отличается незначительно (0,7–6,4 %, среднее – 3,1%), а вот минимальных значений – существенно (16,2–30,9 %, среднее – 25,3 %). Отдельно стоит отметить, что для первого периода характерно наличие тренда на

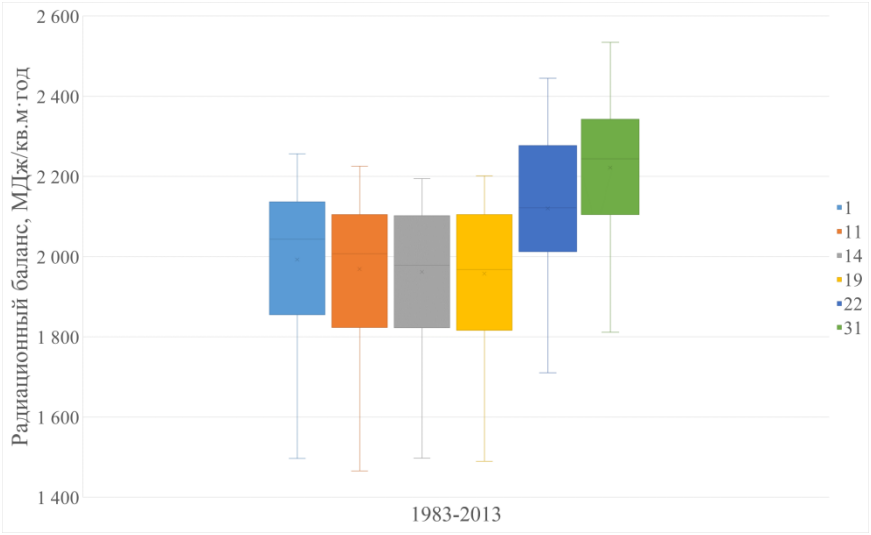

Рис. 1. Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 2013 год

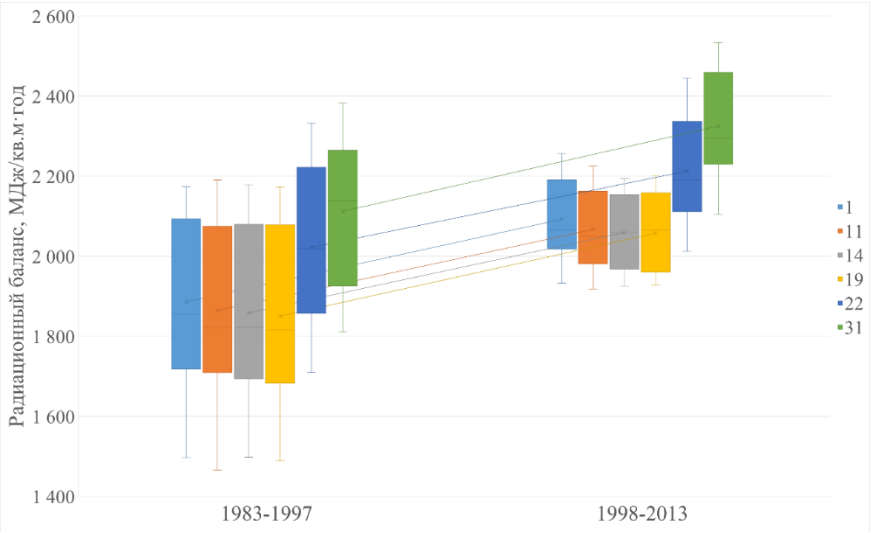

Рис. 2. Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 1997 и с 1998 по 2013 год

незначительное уменьшение значений радиационного баланса, в то время как во втором периоде имеется существенный рост значений радиационного баланса, который вносит наибольший вклад в увеличение значений радиационного баланса за весь рассматриваемый период с 1983 по 2013 годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате исследования были получены и проанализированы значения элементов радиационного баланса экосистем равнинного Крыма для гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней. Выявлено, что значения радиационного баланса на территориях ключевых участков равнинного Крыма колеблются от 1957,8 до 2222,2 МДж/м^2·год, при этом экосистемы плакорного ландшафтного уровня характеризуются более высокими значениями радиационного баланса, чем экосистемы гидроморфного

Таблица 3

Основные количественные характеристики рассматриваемых периодов в межгодовой динамике радиационного баланса, МДж/м^2·год

Ключевой участок	Период	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана
1	1-й период	1497,0	2174,2	1886,2	1855,2
	2-й период	1933,3	2256,8	2092,9	2066,0
11	1-й период	1465,7	2191,1	1864,6	1823,5
	2-й период	1918,6	2225,6	2067,3	2049,7
14	1-й период	1497,6	2178,4	1859,0	1823,2
	2-й период	1925,2	2194,7	2059,1	2059,5
19	1-й период	1490,2	2172,7	1850,8	1816,2
	2-й период	1927,3	2201,6	2058,1	2064,9
22	1-й период	1710,5	2332,9	2022,3	2019,6
	2-й период	2012,8	2444,9	2212,7	2190,1
31	1-й период	1811,6	2383,0	2112,2	2139,6
	2-й период	2104,8	2534,5	2325,4	2294,5

ландшафтного уровня, что связано с их расположением на западном побережье, в зоне максимальных величин поступления суммарной солнечной радиации в Крыму. Пространственная дифференциация распределения значений радиационного баланса состоит в увеличении значений радиационного баланса по направлению от центральных частей полуострова к побережью. При этом, значения радиационного баланса изменяются синхронно значениям суммарной солнечной радиации. Значения отражённой и поглощенной солнечной радиации закономерно повторяют пространственную дифференциацию значений суммарной солнечной радиации.

Пространственное распределение значений эффективного излучения характеризуется обратным, по отношению к коротковолновым элементам радиационного баланса, направлением. Наблюдается рост значений эффективного излучения от прибрежных районов к центральным, что объясняется увеличением в этом же направлении средних температур воздуха и континентальности климата.

Межгодовая динамика распределения значений радиационного баланса для всех ключевых участков в пределах рассматриваемых временных границ характеризуется наличием двух временных периодов с различными характеристиками значений радиационного баланса. Первый период продолжался по 1997 год, а второй – начался с 1998. Их выделение связано со сменой циркуляционных периодов Северного полушария. Если до 1997 года значения радиационного баланса (как по максимальным, так и по минимальным, средним значениям и медиане) были минимальными, то после 1997 года начался их значительный рост, который на отдельных ключевых участках достигал 20–30 %. Рост значений радиационного баланса после 1997 года также влияет на межгодовую динамику значений радиационного баланса равнинного Крыма в целом, внося существенный вклад в тренд, направленный на увеличение значений радиационного баланса, при том что тренд первого периода до 1997 года имеет незначительную тенденцию на уменьшение среднегодовых значений радиационного баланса. Таким образом выявлено, что общие тренды изменения среднегодовых значений радиационного баланса для всех рассматриваемых ландшафтных контуров направлены на увеличение за период с 1983 по 2013 год.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», № АААА-А19-119061190081-9.

Список литературы

Боков В. А., Горбунов Р. В. Климатическая диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов Горного Крыма // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – Серия: География. – 2011. – Т. 24 (63), № 1. – С. 3–14.

Будыко М. И. Тепловой баланс Земной поверхности. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1956. – 256 с.

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.

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.

Горбунов Р. В. Ландшафтно-кліматична дисиметрія схилових локальних ландшафтних комплексів Гірського Криму // Проблеми гірського ландшафтознавства. Збірник наукових праць. – 2014. – Вып. 1. – С. 94–100.

Гришанков Г. Е. Парагенетическая система природных зон (на примере Крыма) // Вопросы географии. – 1977. – Вып. 104. – С. 128–139.

Гришанков Г. Е. Ландшафтно-типологические комплексы Равнинного и Предгорного Крыма как основа рационального ведения сельскохозяйственного производства // Природные условия и естественные ресурсы Крыма. – Симферополь: Крым, 1969. – С. 54–56.

Драган Н. А., Альшевби Ф. С. Оценка трансформации сельскохозяйственных земель равнинного Крыма // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия География. – 1998. – № 6 (45). – С. 6–10.

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.

Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.

Кононова Н. К. Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Том 10, Выпуск 1. – С. 633–639.

Корсакова С. П. Анализ временной изменчивости характеристик термического режима на Южном берегу Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – № 128. – С. 100-111.

Корсакова С. П., Корсаков П. Б. Динамика временных границ климатических сезонов на Южном берегу Крыма в условиях изменения климата // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – № 127. – С. 107-115.

Косовець О. О., Доніч О. А. Зміни клімату Криму у порівнянні зі змінами клімату в континентальній Україні // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 657–659.

Парубец О.В. Анализ климатических рядов Крымского полуострова // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009а. – № 20. – С. 154–164.

Парубец О. В. Изменение климата в Крыму // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. – 2009б. – Т. 22 (61), № 2. – С. 88-96.

Парубец О. В. Природно-антропогенные факторы трансформации физико-географических процессов в Крыму в XX – нач. XXI вв.: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 25.00.23. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т им. В.И. Вернадского, 2014. – 19 с.

Рахманов В. В. Гидроклиматическая роль лесов. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 240 с.

Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / Научный редактор Е. А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.

Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке - начале XXI века / Под ред. В. А. Бокова. – Симферополь: Доля, 2010. – 302 с.

Climate data for North America, South America, and Europe [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html (дата обращения 20.07.2020).

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, N 7. – C. 494–500.

EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI (дата обращения 20.07.2020).

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, Iss. 1. – Pp. 86–92.

Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) (2015), MERRA-2 tavg1_2d_slv_Nx: 2d,1-Hourly,Time-Averaged,Single-Level,Assimilation,Single-Level Diagnostics V5.12.4, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed [Data Access 05.05.2020] DOI:10.5067/VJAFPLI1CSIV.

Kazakov S. I., Metik-DIyunova V. V., Simonova Y. V., Mayboroda S. A., Boguslavsky A. S. Regional climatic anomalies of air temperature of the Southern Coast of Crimea and their relation with global atmospheric processes // Proceedings of SPIE. – 2019. – Vol. 11208. – 112087K.

Wang T., Hamann A., Spittlehouse D. L., Carroll C. Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America // PLoS One. – 2016. – 11 (6). – e0156720.

Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Tabunshchik V. A., Drygval A. V. Structure and interannual dynamics of the regional ecosystems radiation balance of the plain Crimea // Ekosistemy. 2020. Iss. 23. P. 5–15.

The research team calculated the values of the radiation balance elements of the plain Crimea ecosystems on the bases of open databases of climate data and GIS-modeling and, moreover, analyzed their spatial and temporal differentiation. It is revealed that the spatial distribution of the radiation balance is characterized by an increase in values from the center to the coast of the peninsular. It correlates with the spatial differentiation of both total solar radiation and all other elements of the short-wave part of the radiation balance. There is a significant excess of radiation balance values of the plateau landscape level ecosystems over values of the hydromorphic landscape level ecosystems. This difference is determined by the location of selected key areas on the western coast of the Crimean Peninsula, which is characterized by the maximum values of total solar radiation supply. The elements of the long-wave part of the radiation balance change in the opposite direction, compared with the short-wave part of the radiation balance, which is associated with an increase of air temperature and climate continentality in the direction from the coast to the center of the peninsula. Two periods were identified in the interannual dynamics corresponding to the change of the circulatory periods of the Northern Hemisphere. In general, the considered ecosystems are characterized by trends of increasing radiation balance values in conditions of growth of all its elements. Such growth is provided by significant increase of values during the second period compared with the negative trends of radiation balance values for a number of ecosystems in the first one.

Key words: radiation balance, regional ecosystems, landscape, Crimean peninsula, the plain Crimea.

Поступила в редакцию 25.07.20