



## ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212

УДК 504:631

Научная статья

### Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова

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

*Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,  
Российская Федерация, 299011, Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2*

✉ karadag\_station@mail.ru

**Аннотация.** Изучение реакции лесных экосистем на климатические изменения является одной из актуальных задач современной экологии. Региональные проявления глобальных климатических изменений приводят к особым реакциям лесных экосистем. Основным источником энергии всех процессов в экосистемах является солнечная радиация. Именно она запускает все процессы трансформации вещества, энергии и информации в экосистеме. Изменение ее поступления приводит к перестройке системы функционирования экосистем. Для Крымского полуострова на сегодняшний день вопросы реакции лесных экосистем на климатические изменения остаются мало изученными. Это определяет актуальность и цель данной работы. На основе ландшафтно-типологической карты Крымского полуострова, открытых баз данных реанализов, а также геоинформационного моделирования произведена оценка элементов радиационного баланса дубовых лесных экосистем Крымского полуострова в условиях современных климатических изменений. Показаны основные закономерности формирования радиационного баланса дубовых лесных экосистем и особенности его межгодовой динамики.

**Ключевые слова:** радиационный баланс, лес, дубовый лес, экосистема дубового леса, Крымский полуостров, Крым

### Введение

Современное изменение климата оказывает воздействия на все процессы, протекающие в экосистемах, как природных, так и антропогенных. В этом аспекте можно говорить об уязвимости экосистем, их устойчивости и адаптации к климатическим изменениям. Все эти направления устойчиво вошли в современный научный обиход и активно изучаются исследователями ми-



рового сообщества. Совокупность всех этих понятий и процессов, стоящих за ними, – это реакция экосистем на климатические изменения. Говоря о реакциях, можно судить о том, что они наблюдаются как на уровне структуры экосистем – изменение ее компонентного состава, морфологической структуры ландшафтов, например под действием склоновых процессов, так и на уровне функционирования. Изменения климата приводят к изменению структуры радиационного, теплового, водного и вещественного состава экосистем, формируя таким образом трансформацию потоков вещества, энергии и информации в экосистеме. Причем эти изменения формируют цепь событий, при развитии которых функциональные изменения приводят к структурным трансформациям в экосистеме [1].

Основным источником энергии всех процессов в экосистеме является солнечная радиация. Именно поэтому с изменением радиационного баланса экосистем запускается вся цепь событий, связанных с реакцией на климатические изменения.

Крымские леса, находясь на границе своего ареала [2] и по своей сути являясь геоэкономом регионального масштаба [3], в силу своей слабой устойчивости наиболее подвержены климатическим изменениям. Структура лесов Крымского полуострова хорошо описана в работах [4–6]. В них показано, что значительную площадь Крымских гор занимают дубовые леса, распространившие свой ареал как на северном, так и на южном макросклонах Крымских гор. Кроме того, дубовые леса занимают все высотные уровни Горного Крыма, что делает их интересным и актуальным объектом исследования с точки зрения изучения их реакции на региональные проявления глобальных климатических изменений.

Таким образом, целью данной работы явилось изучение межгодовой динамики радиационного баланса дубовых лесов Крымского полуострова на фоне региональных проявлений изменения климата.

### **Методы и материалы**

В качестве операционно-территориальной единицы исследования были выбраны ландшафтные контуры, представленные на ландшафтно-типологической карте Крыма Г.Е. Гришанкова [7]. На основе данной карты и карты лесной растительности Горного Крыма [2] были выбраны наиболее типичные ландшафтные контуры с дубовыми лесами. Согласно Ю.В. Плугатаря [6], лесные экосистемы с дубом пушистым являются преобладающими по площади в Горном Крыму. Ими занято почти 142 тыс. га, что составляет 54,7 %. При этом дуб скальный и дуб пушистый являются наиболее распространенными по занимаемой площади – 78,3 и 21,5 % соответственно. Именно поэтому в качестве модельных территорий нами были выбраны эти типы лесных экосистем. Вместе с тем, учитывая значительные экологические различия формирования лесных экосистем на южном и северном макросклонах Крымских гор, а также в условиях высотной поясности, нами были выбраны для рассмотрения ландшафтные контуры, расположенные в различных высотных поясах на южном и северном макросклонах Горного Крыма. В табл. 1 приводится характеристика выбранных контуров.

Расчет радиационного баланса ( $B$ ) осуществлялся по формуле [8]:

$$B = (Q - R) - E_e,$$

где  $Q$  – суммарная солнечная радиация;  $R$  – отраженная солнечная радиация;  $E_e$  – эффективное излучение.

Таблица 1

**Характеристика выбранных ландшафтных контуров для изучения динамики радиационного баланса дубовых экосистем**

Макросклон	Ландшафтный уровень	Тип лесной экосистемы	
		Скальнодубовые	Пушистодубовые
Северный	Низкогорье	54. Низкогорные куэстовые сильно расчлененные возвышенности с дубовыми лесами	46. Мелкогорно-куэстовые возвышенности с зарослями типа «дубки» и разнотравными степями
	Среднегорье	71. Структурные наклонные слабо расчлененные равнины с дубовыми и смешанными широколиственными лесами	–
Южный	Низкогорье	–	120. Эрозионное овражно-балочное ступенчато-склоновое низкогорье с дубовыми лесами и шибляковыми зарослями
	Среднегорье	92. Среднегорный ступенчато-склоновый с выходами коренных пород в виде скал с дубовыми, грабово-дубовыми лесами и лесокустарниковыми зарослями	–

Table 1

**Characteristic of selected landscape contours for studying dynamics of oak ecosystems radiation balance**

Macroslope	Landscape level	Forest ecosystem type	
		<i>Quercus petraea</i> forests	<i>Quercus pubescens</i> forests
Northern	Low-mountain relief	54. Low-mountain, cuesta, strongly dissected elevations under oak forests	46. Small-mountain, cuesta elevations under “dubki” scrubs type and forb steppe
	Middle-mountain relief	71. Structural, inclined, slightly dissected plains under oak and mixed broad-leaved forests	–
Southern	Low-mountain relief	–	120. Eroded, ravine-beam step-sloped low-mountain relief under oak forests and sheblyak scrubs
	Middle-mountain relief	92. Middle-mountain, step-sloped relief with rock outcrop in the form of cliff under oak, hornbeam-oak forests and forest-shrub thicket	–

Расчеты поступающей солнечной радиации выполнены на основе данных реанализа по материалам Европейской организации спутниковой метеорологии (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT) [9]. Набор данных представлен файлами в формате netCDF, используемом для хранения многоспектральных данных. Из базы данных были взяты среднемесячные показатели по суммарной и прямой солнечной радиации с 1983 по 2015 г. Данные были преобразованы в формат geotiff с извлечением информации по территории Крымского полуострова и представлены в виде слоев за каждый месяц каждого года. В программе ArcGIS 10.2 при помощи

функции Raster Calculator были рассчитаны значения поступления суммарной солнечной радиации в Крыму в сумме за год. На основе полученных растров с помощью функции Raster to Point в ArcGIS 10.2 был получен слой регулярной сети точек с расстоянием между ними  $0,05^\circ$ . Далее по точкам, которые попадают в пределы рассматриваемых контуров (табл. 1), из полученных ранее карт поступления суммарной солнечной радиации были извлечены значения величины суммарной солнечной радиации. В результате для каждого контура была сформирована атрибутивная таблица, содержащая сведения о поступлении суммарной солнечной радиации в каждой точке в пределах рассматриваемого контура. Полученная таблица была экспортирована в MS Excel для последующих расчетов.

Отраженная радиация рассчитывалась по формуле [8]

$$R = A \cdot Q,$$

где  $A$  – альbedo земной поверхности.

Альbedo определялось по данным, приведенным в [10].

Разность между суммарной и отраженной радиацией дает величину поглощенной коротковолновой радиации, или коротковолнового радиационного баланса ( $B_s$ ).

Эффективное излучение земной поверхности определялось по формуле [8]

$$E_e = E_s - \delta E_a,$$

где  $E_s$  – поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы;  $E_a$  – противоизлучение атмосферы;  $\delta$  – относительная излучательная способность поверхности.

Поток теплового излучения подстилающей поверхности, направленный в сторону атмосферы, определялся по формуле [8]

$$E_s = \delta \sigma T^4,$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана;  $T$  – температура воздуха.

Данные по температуре воздуха были сгенерированы с помощью программного пакета ClimateEU v4.63, доступного по адресу <http://tinyurl.com/ClimateEU> [11], на основе методологии, описанной в [12].

Для получения данных реанализа с помощью программы ClimateEU в программе ArcGIS 10.2 на территорию Крымского полуострова был создан слой точек с расстоянием между ними  $0,01^\circ$ . С помощью функции X, Y Coordinate для каждой точки были извлечены координаты широты и долготы. Из космического снимка SRTM были получены значения абсолютной высоты для каждой из заданных точек. Эта база в табличном варианте была перенесена в MS Excel и подгружена в программу ClimateEU, где для каждой из заданных точек была получена база данных, содержащая информацию о температуре воздуха по месяцам за период с 1983 по 2013 г.

На основании полученного файла MS Excel в программе Arc GIS 10.2 был построен точечный шейп-файл, содержащий атрибутивную таблицу с полученными значениями среднемесячных температур за каждый год указанного периода. Интерполяция полученных значений позволила построить серию карт, которые в дальнейшем при помощи функции Raster Calculator усреднялись до среднегодовых.

Далее для каждого из рассматриваемых контуров были получены атрибутивные таблицы, содержащие данные по температурам в точках, попадающих в пределы рассматриваемых ландшафтных контуров.

Противоизлучение атмосферы определялось по формуле Д. Брента:

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

где  $a' = 1 - a$ ;  $a$  и  $b$  – эмпирические константы;  $e$  – парциальное давление водяного пара.

Согласно М.Е. Берлянд и Т.Г. Берлянд [8],  $a = 0,39$ ;  $b = 0,058$ .

С целью определения величин парциального давления водяного пара использовалась база данных реанализа MERRA-2, которая позволяет получить данные по выбранной точке в пространстве. Данные генерируются системой сразу в файл MS Excel. На основе полученных данных о среднемесячных значениях относительной влажности воздуха и атмосферного давления в пределах рассматриваемых контуров были рассчитаны значения парциального давления водяного пара.

### Результаты исследований и их обсуждение

Структура радиационного баланса рассматриваемых лесных экосистем представлена в табл. 2. Для всех рассматриваемых лесных экосистем характерен положительный радиационный баланс, который снижается с увеличением высотного расположения лесов на северном макросклоне. Для южного макросклона наблюдается обратная картина – южнобережные низкогорные пушистодубовые лесные экосистемы характеризуются значительно более низкими значениями величин радиационного баланса, по сравнению с остальными рассматриваемыми контурами. Это объясняется рядом факторов. Основной среди них – пространственная дифференциация полей суммарной солнечной радиации над территорией Крымского полуострова – максимальные значения поступления солнечной радиации в Крыму характерны не для Южного берега Крыма, а для западного побережья. Зона распространения пушистодубовых сообществ, характеризующаяся максимальной площадью без дефрагментации в пространстве характерна для Юго-Восточного Крыма, где и располагается выбранный в работе ландшафтный контур. Кроме того, для Юго-Восточного Крыма существует эффект затенения солнечной радиацией от Главной гряды Крымских гор, что также снижает количество поступающей солнечной радиации и, соответственно, величины радиационного баланса.

Таблица 2

Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова, МДж/м<sup>2</sup>-год  
[Table 2. Radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean peninsula, MJ/m<sup>2</sup>-year]

№ контура [No. contours]	Коротковолновая радиация [Shortwave radiation]			Длинноволновая радиация [Longwave radiation]			B
	Q	R	B <sub>s</sub>	E <sub>s</sub>	E <sub>a</sub>	E <sub>e</sub>	
46	5095,0	917,1	4177,9	11586,2	9135,7	2450,5	1727,4
54	5061,2	911,0	4140,9	11475,6	9021,2	2454,4	1686,5
71	4711,3	848,0	3863,3	11308,8	8805,3	2503,3	1359,7
92	5227,2	940,9	4286,3	11385,6	8922,7	2462,9	1823,5
120	4979,8	896,4	4083,4	11559,1	9120,2	2438,9	1644,6

Максимальные значения элементов радиационного баланса характерны для среднегорных скальнодубовых лесов южного макросклона, что объясняется высокими значениями крутизны рельефа в зоне их произрастания, определяющей высокие значения суммарной солнечной радиации и практически полного отсутствия эффекта затенения и закрытости склонов.

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

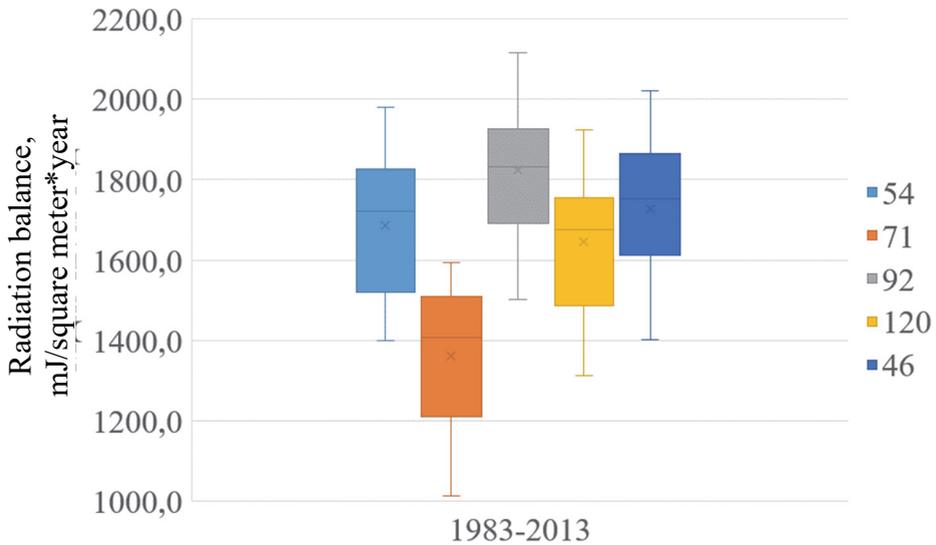
Являясь функцией от приходящей суммарной солнечной радиации, а также циркуляции воздушных масс на региональном и локальном уровнях, тепловой поток от земной поверхности компенсируется противоизлучением атмосферы, выравнивая значения эффективного излучения. В результате значения эффективного излучения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

Выявленные закономерности отражают среднемноголетнее усреднение значений элементов радиационного баланса за рассматриваемых период. Вместе с тем с точки зрения изучения реакции лесных экосистем на климатические изменения интересным является анализ межгодовой динамики величин радиационного баланса для каждого рассматриваемого типа лесных экосистем.

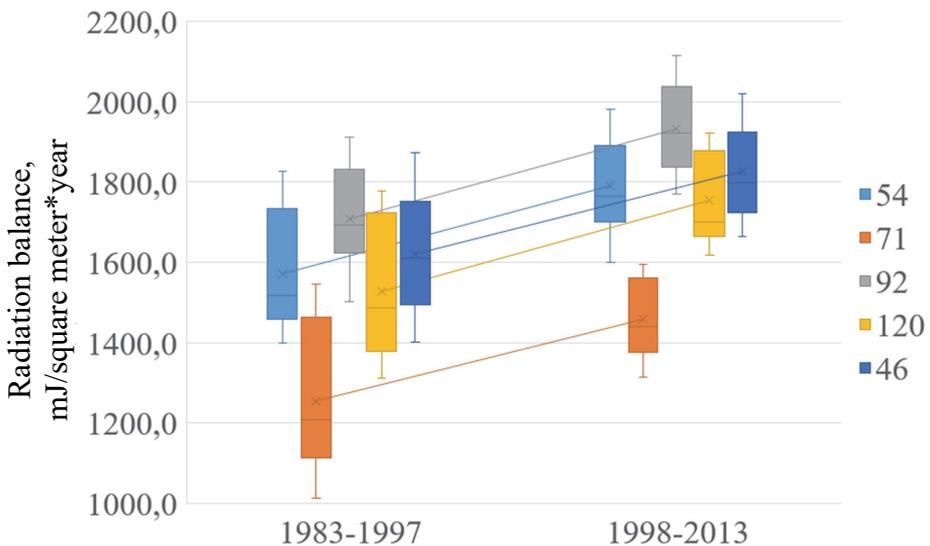
Графически изменение радиационного баланса на рассматриваемых ключевых участках показано на рис. 1 и 2. За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс пушистодубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор изменялся от 1401,1 до 2020,2 МДж/м<sup>2</sup>·год. Среднее значение составило 1727,4 МДж/м<sup>2</sup>·год. Во временном ряде отчетливо прослеживаются два периода – с 1983 по 1997 г. и с 1998 по 2013 г., что соответствует границе циркуляционных периодов в пределах меридиональной южной циркуляционной эпохи Северного полушария [13]. При этом, если сравнивать первый период со вторым, наблюдается рост радиационного баланса. В первый период среднее значение составляет 1621,8 МДж/м<sup>2</sup>·год, а во второй – 1826,4 МДж/м<sup>2</sup>·год. Общий тренд радиационного баланса направлен на повышение, причем в первом периоде среднегодовые колебания радиационного баланса значительные и могут достигать от года к году 350–400 МДж/м<sup>2</sup>·год, в то время как во втором периоде наблюдается более плавный ход радиационного баланса и изменения от года к году составляют 200–250 МДж/м<sup>2</sup>·год без значительных резких колебаний. Если рассматривать первый период, то к 1997 г. наблюдается тренд на незначительное уменьшение радиационного баланса, а во втором периоде тренд на его значительный рост.

Радиационный баланс пушистодубовых лесов низкогорья южного макросклона Крымских гор за период с 1983 по 2013 г. изменялся от 1310,6 до 1923,4 МДж/м<sup>2</sup>·год. Среднее значение составило 1644,6 МДж/м<sup>2</sup>·год. Во временном ряде радиационного баланса пушистодубовых лесов южного макросклона Крымских гор, так же как и северного макросклона, прослеживается два временных периода. Отправной точкой раздела служит 1998 г. Если до

1998 г. радиационный баланс изменялся значительно с большими перепадами значений, то после ход кривой радиационного баланса становится более сглаженным и наблюдается тенденция к его увеличению (преобладают среднегодовые значения более 1600 МДж/м<sup>2</sup>·год). При этом пушистодубовые леса низкоргорья южного макросклона Крымских гор имеют радиационный баланс, который выше радиационного баланса пушистодубовых лесов северного макросклона Крымских гор в среднем на 100 МДж/м<sup>2</sup>·год.



**Рис. 1.** Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 2013 г. [Figure 1. Distribution of annual indicators of radiation balance in the key plots territory for the period from 1983 to 2013]



**Рис. 2.** Распределение годовых показателей радиационного баланса на территории ключевых участков за период с 1983 по 1997 г. и с 1998 по 2013 г. [Figure 2. Distribution of annual indicators of radiation balance in the key plots territory for periods from 1983 to 2013 and from 1998 to 2013]

За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс скальнодубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор изменялся от 1417,5 до 1981,5 МДж/м<sup>2</sup>·год. Среднее значение составило 1686,5 МДж/м<sup>2</sup>·год. Анализ временного ряда также показывает наличие двух периодов. В период с 1983 по 1997 г. среднее значение радиационного баланса составляет 1574,2 МДж/м<sup>2</sup>·год, а в период с 1998 по 2013 г. – 1791,8 МДж/м<sup>2</sup>·год, что практически на 200 МДж/м<sup>2</sup>·год больше. При этом, если рассматривать первый период, то для ключевого участка наибольшее количество значений радиационного баланса приходилось на диапазон значений от 1450 до 1500 МДж/м<sup>2</sup>·год (при среднем значении за первый период 1574,2 МДж/м<sup>2</sup>·год), а во второй период на диапазон значений от 1850 до 1900 МДж/м<sup>2</sup>·год (при среднем значении за второй период 1791,3 МДж/м<sup>2</sup>·год).

Радиационный баланс скальнодубовых лесов среднегорья северного макросклона Крымских гор за период с 1983 по 2013 г. изменялся от 1011,1 до 1594,3 МДж/м<sup>2</sup>·год. Среднее значение составило 1359,7 МДж/м<sup>2</sup>·год. На данном ключевом участке зафиксированы самые низкие значения радиационного баланса. Наибольшее количество значений приходится на диапазон значений от 1450 до 1500 МДж/м<sup>2</sup>·год. При этом также выделяются два периода с различными характеристиками значений радиационного баланса. Среднее значение радиационного баланса для ключевого участка за первый период составляет 1254,5 МДж/м<sup>2</sup>·год, а для второго – 1458,4 МДж/м<sup>2</sup>·год.

За период с 1983 по 2013 г. радиационный баланс скальнодубовых лесов среднегорья южного макросклона Крымских гор изменялся от 1502,6 до 2115,5 МДж/м<sup>2</sup>·год. Среднее значение составило 1823,5 МДж/м<sup>2</sup>·год. В отличие от всех вышерассмотренных ключевых участков скальнодубовые леса среднегорья южного макросклона Крымских гор характеризуются наибольшими значениями радиационного баланса, которые за рассматриваемый период превышают 1500 МДж/м<sup>2</sup>·год. За рассматриваемый период тренд радиационного баланса направлен на увеличение.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований получены среднеголетние величины радиационного баланса дубовых лесных экосистем Крымского полуострова. Выявлены особенности пространственной дифференциации радиационного баланса дубовых лесных экосистем в зависимости от их приуроченности к ландшафтному уровню – снижение значений элементов радиационного баланса с увеличением высоты на северном макросклоне Крымских гор и обратный эффект на южном макросклоне, обусловленный пространственной дифференциацией полей суммарной солнечной радиации в Крыму. Указанный эффект формирует более низкие значения радиационного баланса у низкогорных пушистодубовых сообществ южного макросклона, по сравнению с аналогичными экосистемами северного макросклона, география распространения которых приурочена к западному сектору Предгорья, попадающему в зону максимальных среднеголетних значений суммарной солнечной радиации в Крыму.

Выявлено, что максимальными величинами элементов радиационного баланса обладают среднегорные скальнодубовые экосистемы южного макро-

склона, что обусловлено высокими значениями крутизны рельефа в зоне их формирования и практически полным отсутствием эффектов затенения и закрытости склонов.

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

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена в рамках НИР ФИЦ ИнБЮМ (регистрационный номер: АААА-А19-119061-190081-9).

### Список литературы

- [1] *Боков В.А., Горбунов Р.В.* Климатическая диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов Горного Крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24 (63). № 1. С. 3–14.
- [2] Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. В.А. Бокова. Симферополь: ДОЛЯ, 2010. 304 с.
- [3] *Бобра Т.В.* Ландшафтные границы: выявление, анализ, картографирование. Симферополь: ТНУ, 2005. 167 с.
- [4] *Плугатарь Ю.В.* Из лісів Криму. Харків: Новое слово, 2008. 462 с.
- [5] *Поляков А.Ф., Плугатарь Ю.В.* Лесные формации Крыма и их экологическая роль. Харьков: Новое слово, 2009. 405 с.
- [6] *Плугатарь Ю.В.* Леса Крыма. Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2015. 368 с.
- [7] Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
- [8] *Будыко М.И.* Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1956. 256 с.
- [9] EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). URL: [https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME\\_CMSAF\\_WUI](https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI) (дата обращения: 03.03.2020).
- [10] *Рахманов В.В.* Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лесная промышленность, 1984. 240 с.
- [11] Climate data for North America, South America, and Europe. URL: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html> (accessed: 05.03.2020).
- [12] *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. Vol. 11. No. 6. e0156720. doi: 10.1371/journal.pone.0156720.
- [13] *Кононова Н.К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерdzeевскому. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 15.05.2020

Дата принятия к печати: 15.06.2020

**Для цитирования:**

Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табуницкий В.А., Дрыгваль А.В. Радиационный баланс экосистем дубовых лесов Крымского полуострова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 3. С. 201–212. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212>

**Сведения об авторах:**

Горбунов Роман Вячеславович, кандидат географических наук, временно исполняющий обязанности директора Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8222-3819>, eLIBRARY SPIN-код: 8403-5179. E-mail: karadag\_station@mail.ru

Горбунова Татьяна Юрьевна, научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2155-6502>, eLIBRARY SPIN-код: 3505-6157. E-mail: gorbunovatyu@gmail.com

Табуницкий Владимир Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3555-6087>, eLIBRARY SPIN-код: 9672-2593. E-mail: tabunshchik@ya.ru

Дрыгваль Анна Валерьевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра геоматики Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9156-7018>, eLIBRARY SPIN-код: 4477-0056. E-mail: drygval95@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212

Scientific article

## **The radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean Peninsula**

**Roman V. Gorbunov✉, Tatyana Yu. Gorbunova,  
Vladimir A. Tabunshchik, Anna V. Drygval**

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,  
2 Prospekt Nakhimova, Sevastopol, 299011, Russian Federation*

✉ karadag\_station@mail.ru

**Abstract.** Studying the response of forest ecosystems to climate change is one of the urgent tasks of modern ecology. Regional manifestations of global climate change lead to special reactions of forest ecosystems. The main source of energy for all processes in ecosystems is solar radiation. It starts all the processes of transformation of matter, energy and information in the ecosystem. A change in its income leads to a restructuring of the ecosystem functioning system. For the Crimean Peninsula today the response of forest ecosystems to climate change remains poorly studied. This determines the relevance and purpose of this work. On the base of the landscape-typological map of the Crimean Peninsula, open reanalysis databases, and GIS modeling, the elements of the radiation balance of the oak forest eco-

systems of the Crimean peninsula are estimated under the conditions of modern climate changes. The basic laws of the radiation balance formation of oak forest ecosystems and the features of its interannual dynamics are shown.

**Keywords:** radiation balance, forest, oak forest, oak forest ecosystem, Crimean Peninsula, Crimea

**Acknowledgements and Funding.** The work was carried out within the framework of the research of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (registration number: AAAA-A19-119061-190081-9).

## References

- [1] Bokov VA, Gorbunov RV. Climatic dissymmetry of the local slope landscapes of the Crimean Mountains. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Geography*. 2011;24(63)(1):3–14. (In Russ.)
- [2] Bokov VA. (ed.). *Transformatsiya landshafino-ekologicheskikh protsessov v Krymu v XX veke – nachale XXI veka [Transformation of Processes in Crimean Landscapes in the XX<sup>th</sup> – at the Beginning of the XXI<sup>st</sup> Centuries]*. Simferopol: DOLYA Publ.; 2010. (In Russ.)
- [3] Bobra TV. *Landshafnnye granitsy: vyyavlenie, analiz, kartografirovanie [Landscape boundaries: identification, analysis, mapping]*. Simferopol: TNU Publ.; 2005. (In Russ.)
- [4] Plugatar YuV. *Iz lisiv Krimu [From the forests of the Crimea]*. Kharkiv: Novoe slovo Publ.; 2008. (In Ukrainian.)
- [5] Polyakov AF, Plugatar YuV. *Lesnye formatsii Kryma i ikh ekologicheskaya rol' [Forest formations of Crimea and their ecological role]*. Kharkov: Novoe slovo Publ.; 2009. (In Russ.)
- [6] Plugatar YuV. *Lesy Kryma [Forests of Crimea]*. Simferopol: IT ARIAL Publ.; 2015. (In Russ.)
- [7] Pozachenyuk EA. (ed.). *Sovremennye landshafty Kryma i sopredel'nykh akvatorii [Modern landscapes of the Crimea and adjacent water areas]*. Simferopol: Business-Inform Publ.; 2009. (In Russ.)
- [8] Budyko MI. *Teplovoi balans zemnoi poverkhnosti [Thermal balance of the Earth's surface]*. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo Publ.; 1956. (In Russ.)
- [9] *EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF)*. Available from: [https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME\\_CMSAF\\_WUI](https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome?menuName=HOME_CMSAF_WUI) (accessed: 03.03.2020).
- [10] Rakhmanov VV. *Gidroklimaticheskaya rol' lesov [Hydroclimatic role of forests]*. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ.; 1984. (In Russ.)
- [11] *Climate data for North America, South America, and Europe*. Available from: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html> (accessed: 05.03.2020).
- [12] Wang T, Hamann A, Spittlehouse DL, Carroll C. Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America. *PLoS One*. 2016;11(6):e0156720. doi: 10.1371/journal.pone.0156720.
- [13] Kononova NK. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky]*. Moscow: Voentekhnizdat Publ; 2009. (In Russ.)

## Article history:

Received: 15.05.2020

Revised: 15.06.2020

**For citation:**

Gorbunov RV, Gorbunova TYu, Tabunshchik VA, Drygval AV. The radiation balance of oak forest ecosystems of the Crimean Peninsula. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):201–212. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-201-212>

**Bio notes:**

*Roman V. Gorbunov*, Ph.D. in Geography, Acting Director of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8222-3819>, eLIBRARY SPIN-code: 8403-5179. E-mail: [karadag\\_station@mail.ru](mailto:karadag_station@mail.ru)

*Tatyana Yu. Gorbunova*, research associate in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2155-6502>, eLIBRARY SPIN-code: 3505-6157. E-mail: [gorbunovatyu@gmail.com](mailto:gorbunovatyu@gmail.com)

*Vladimir A. Tabunshchik*, junior researcher in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3555-6087>, eLIBRARY SPIN-code: 9672-2593. E-mail: [tabunshchik@ya.ru](mailto:tabunshchik@ya.ru)

*Anna V. Drygval*, junior researcher in the Research Center for Geomatics of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9156-7018>, eLIBRARY SPIN-code: 4477-0056. E-mail: [drygval95@mail.ru](mailto:drygval95@mail.ru)