

ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-1-39-54

УДК 551.583

Научная статья / Research article

Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем горного Крыма

Р.В. Горбунов¹, В.А. Табунщик¹,
Т.Ю. Горбунова^{1,2}, М.С. Сафонова¹

¹Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Российская Федерация, 299011, Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2

²Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

✉ mari_malashina@bk.ru

Аннотация. Изменение климата в Крыму характеризуется пространственной неоднородностью смещения полей температуры воздуха, обусловленной влиянием региональных и местных факторов. В настоящее время отсутствуют работы, посвященные изучению реакции региональных экосистем на изменение температуры воздуха в Крыму. В работе на основе открытых баз данных реанализа, геоинформационного моделирования представлены результаты исследований динамики температуры воздуха в основных типах экосистем Горного Крыма в условиях изменения климата. Для каждой циркуляционной эпохи и периода Северного полушария получены карты среднегодовых температур по ландшафтным контурам Крымского полуострова. Построена карта стандартного отклонения температуры в пределах ландшафтных контуров. Для ключевых участков рассчитаны значения среднегодовых значений температуры воздуха, стандартного отклонения и величины факторной энтропии. Выявлены основные закономерности динамики температуры воздуха в основных типах экосистем Горного Крыма при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария. На основании анализа динамики стандартного отклонения и факторной энтропии показана роль изменения температуры воздуха в формировании стратегий развития или стабилизации основных типов региональных экосистем Горного Крыма.

Ключевые слова: температура воздуха, экосистема, ландшафт, Крымский полуостров, Горный Крым, стратегия развития, стратегия стабилизации

Благодарности и финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ, регистрационный номер 121040100327-3, а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

© Горбунов Р.В., Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю., Сафонова М.С., 2021








This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2021; принята к публикации 15.06.2021.

Для цитирования: Горбунов Р.В., Табунщик В.А., Горбунова Т.Ю., Сафонова М.С. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем горного Крыма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 1. С. 39–54. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-39-54>

Dynamics of air temperature in the main types of mountain Crimea regional ecosystems

Roman V. Gorbunov¹ , Vladimir A. Tabunshchik¹ ,
Tatyana Yu. Gorbunova^{1,2} , Maria S. Safonova¹  

¹*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
2 Nakhimova Prospekt, Sevastopol, 299011, Russian Federation*
²*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

✉ mari_malashina@bk.ru

Abstract. Climate change in Crimea is characterized by spatial heterogeneity in the displacement of air temperature fields, due to the influence of regional and local factors. There are currently no works devoted to the study of the reaction of regional ecosystems to changes in air temperature in Crimea. Based on open databases of reanalysis, geoinformation modeling the results of studies of the dynamics of air temperature in the main types of ecosystems of the Mountain Crimea under conditions of climate change are presented. For each circulation epoch and period of the Northern Hemisphere, maps of average annual temperatures were obtained along the landscape contours of the Crimean Peninsula. A map of the standard deviation of temperature within the landscape contours was made. For key areas, the mean annual air temperature, standard deviation, and factorial entropy were calculated. The main regularities of air temperature dynamics in the main types of Mountain Crimea ecosystems with the change of circulation epochs and periods of the Northern Hemisphere are revealed. Based on the analysis of the dynamics of the standard deviation and factor entropy, the role of changes in air temperature in the formation of strategies for the development or stabilization of the main types of regional ecosystems in Mountain Crimea is shown.

Keywords: air temperature, ecosystem, landscape, Crimean peninsula, Mountain Crimea, development strategy, stabilization strategy

Acknowledgements and Funding. The work was carried out on the topic by the state assignment of the Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, registration number 121040100327-3, as well as with the support of the Strategic Academic Leadership Program of the RUDN University.

Article history: received 15.05.2021; revised 15.06.2021.

For citation: Gorbunov RV, Tabunshchik VA, Gorbunova TYu, Safonova MS. Dynamics of air temperature in the main types of mountain Crimea regional ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(1):39–54. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-39-54>

Введение

Изменение температуры воздуха в Крыму определяется ее повышением на 1 °С, что произошло в последний циркуляционный период Северного полушария. Это явление достаточно широко освещено в предыдущих работах [1–3].

Однако данное изменение происходит не синхронно, а достаточно сильно дифференцировано по территории Крымского полуострова, что определяется региональными и местными факторами. Вместе с тем в пределах каждого ландшафтного контура происходит внутренняя дифференциация факторного пространства, определяющая стратегию его развития [4]. Речь идет о том, что, помимо изменения значений температуры в каждой точке пространства, для ландшафтного контура формируются условия, при которых изменяются внутриландшафтные пространственные амплитуды значений температуры и сложность факторного рисунка, а соответственно, либо формируются условия для его развития, либо, наоборот, изменение данного конкретного фактора способствует стабилизации внутриландшафтных процессов. Наилучшим показателем, отражающим эти явления, является изменение стандартного отклонения и факторной энтропии ландшафтного контура, под которой мы понимаем неоднородность факторного пространства, формируемого в пределах операционно-территориальной единицы. В данном случае подразумевается внутриландшафтная энтропия полей температуры воздуха. Если величина энтропии при смене циркуляционной эпохи или периода увеличивается, то фактически происходит формирование условий для усиления внутриландшафтной дифференциации. Если же мы наблюдаем снижение значений факторной энтропии, то можно говорить о стабилизации системы. Естественно, при этом накладываются иные процессы, которые могут быть усилены изменением значений температуры, например увеличение испарения и др. Кроме того, эти изменения формируются, как правило, извне ландшафтного контура, имеют место межландшафтные взаимодействия. Вместе с тем изучение внутриландшафтной факторной энтропии наряду с изменением значений фактора позволяет определить роль этого фактора в стратегии развития конкретного ландшафтного контура.

Таким образом, **цель исследования** заключается в анализе изменчивости температуры воздуха в основных типах региональных экосистем Горного Крыма в условиях изменения климата.

Материал и методы

В качестве операционно-территориальных единиц исследования были выбраны ландшафтные контуры, представленные на ландшафтно-типологической карте Г.Е. Гришанкова [5]. Характеристика выбранных ключевых участков представлена в табл. 1.

Для описания влияния циркуляции атмосферы на пространственно-временную динамику полей температуры воздуха использовалась классификация элементарных циркуляционных механизмов, предложенная Б.Л. Дзердзеевским с соавт. [6; 7]. Изучение пространственно-временной динамики температуры воздуха основывалось на получении среднемноголетних карт рассматриваемых характеристик для каждой циркуляционной эпохи и периода. Климатические данные¹ были сгенерированы с помощью программного пакета ClimateEU v4.63, доступного по адресу <http://tinyurl.com/ClimateEU>, на основе методологии, описанной в [8].

¹ Climate data for North America, South America, and Europe. URL: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html> (дата обращения: 13.04.2021).

С целью расчета среднемноголетней температуры воздуха и факторной энтропии полученные карты среднегодовых температур соотнесены с ландшафтно-типологической картой Г.Е. Гришанкова [5]. Для каждого ландшафтного контура рассчитаны среднемноголетние значения температуры воздуха за каждую циркуляционную эпоху и период, а также значения стандартного отклонения.

Таблица 1

**Характеристика выбранных ландшафтных контуров
для изучения динамики температуры воздуха региональных экосистем горного Крыма**

Макросклон	Ландшафтный уровень	Тип лесной экосистемы	
<i>Дубовые леса</i>			
		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	
<i>Хвойные леса</i>			
		Сосновые	Можжевеловые
Северный	Среднегорье		57. Эрозионное мелкогорье с можжевелово-дубовыми лесами и кустарниковыми зарослями
Южный	Среднегорье	93. Среднегорный ступенчато-склоновый с выходами коренных пород в виде скал с дубово-сосновыми и сосновыми лесами	
	Низкогорье	118. Эрозионное древнеоползневое ступенчато-склоновое низкогорье с сосновыми лесами	108. Эрозионное низкогорье амфитеатров с сосново-можжевеловыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами
<i>Буковые леса</i>			
Северный	Среднегорье	75. Структурные наклонные слабо расчлененные равнины с буковыми и смешанными широколиственными лесами	
Южный	Среднегорье	101. Среднегорный ступенчато-склоновый с буковыми и смешанными широколиственными лесами	
<i>Яйлинские ландшафты</i>			
	Среднегорье	80. Денудационное волнистое плато с широким развитием карстовых форм с горно-луговыми степями	
		85. Останцово-денудационное расчлененное плато с горными лугами	

Table 1

Characteristics of selected landscape contours for studying of air temperature dynamics of mountain Crimea regional ecosystems

Macroslope	Landscape level	Forest ecosystem type	
<i>Oak forests</i>			
		<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” skrubs 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	
<i>Coniferous forests</i>			
		Pine forests	Juniper forests
Northern	Middle-mountain relief		57. Eroded small-mountain relief under juniper-oak forests and shrub thickets
Southern	Middle-mountain relief	93. Middle-mountain, step-sloped relief with rock outcrop in the form of cliff under oak-pine and pine forests	
	Low-mountain relief	118. Eroded, ancient landslide step-sloped low-mountain relief under pine forests	108. Eroded low-mountain relief of amphitheaters under pine-juniper and oak forests in conjunction with sheblyak scrubs and phryganoid vegetation
<i>Beech forest</i>			
Northern	Middle-mountain relief	75. Structural, inclined, slightly dissected plains under beech and mixed broad-leaved forests	
Southern	Middle-mountain relief	101. Middle-mountain, step-sloped relief c under beech and mixed broad-leaved forests	
<i>Yayla landscapes</i>			
	Middle-mountain relief	80. Denudation hogbacked plateau with a wide development of karst forms under mountain meadow steppes	
		85. Inselberg-denudation dissected plateau under mountain meadows	

Расчет энтропии факторного пространства осуществлялся для выбранных ключевых участков по формуле

$$E(A) = -\sum \frac{f_i}{\sum f_i} \log_2 \frac{f_i}{\sum f_i},$$

где f_i – количество точек заданного класса значений; $\sum f_i$ – количество точек в контуре.

С целью приведения значений энтропии к относительным величинам была рассчитана относительная энтропия

$$E = E(A) / n,$$

где n – количество выбранных классов.

Результаты и обсуждение

Изменение температуры воздуха по ландшафтным контурам Крымского полуострова представлено на рис. 1. Для каждого ландшафтного контура получена база данных, отражающая статистические характеристики изменчивости температуры воздуха в условиях смены циркуляционных эпох и периодов Северного полушария.

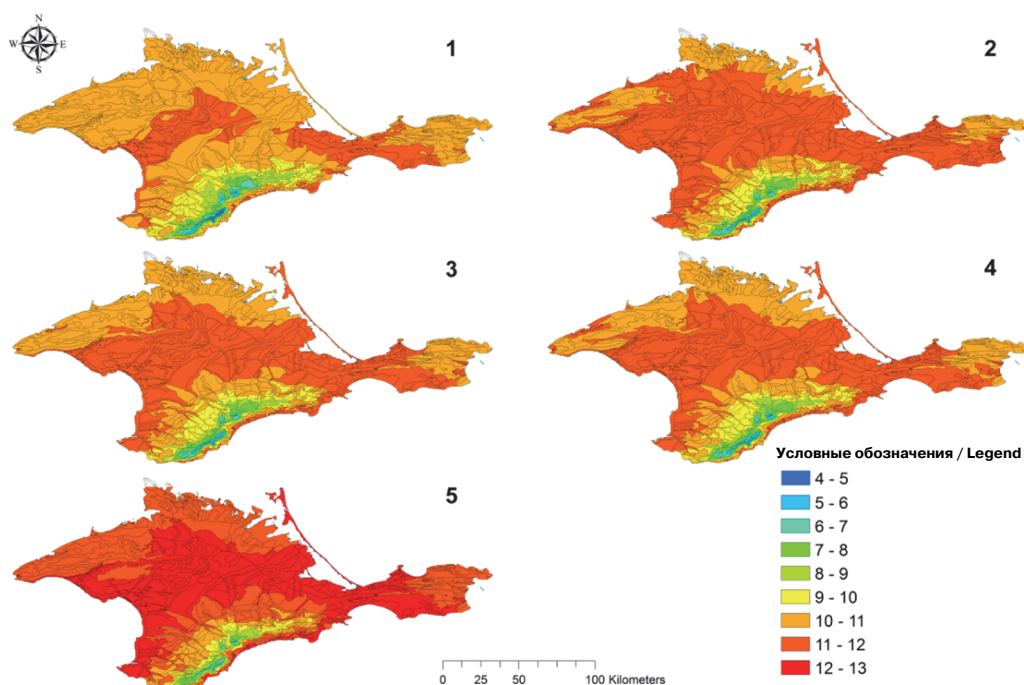


Рис. 1. Средне многолетняя температура воздуха в ландшафтах Крымского полуострова по циркуляционным эпохам и периодам, °С:

1 – зональная циркуляционная эпоха (1916–1956 гг.); 2 – первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1957–1969 гг.); 3 – второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1970–1980 гг.); 4 – третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1981–1997 гг.); 5 – четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1998–2013 гг.)

Figure 1. Average long-term air temperature in landscapes of the Crimean Peninsula by circulation epochs and periods, °С:

1 – zonal circulation epoch (1916–1956); 2 – first period of meridional southern circulation epoch (1957–1969); 3 – second period of meridional southern circulation epoch (1970–1980); 4 – third period of meridional southern circulation epoch (1981–1997); 5 – fourth period of meridional southern circulation epoch (1998–2013)

При сравнении показателей средних температур воздуха на Крымском полуострове очевидна общая тенденция изменения – повышение среднегодовых значений температуры при смене зональной циркуляционной эпохи первым периодом меридиональной южной циркуляционной эпохи, снижение температуры во втором периоде меридиональной южной циркуляционной

эпохи и резкое потепление в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи.

Распределение среднегодовых значений температуры воздуха на территории Крымского полуострова можно разделить на три группы по пространственному положению относительно ландшафтной структуры:

- в большинстве своем территория гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней, а также частично низкогорного ландшафтного уровня с максимальными среднегодовыми значениями температуры воздуха;

- большая часть низкогорного и среднегорного уровня со средними значениями температур;

- территории яйлинских плато, расположенные в пределах среднегорного ландшафтного уровня, с самыми низкими значениями.

Для территории гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней, а также частично низкогорного уровня характерно равномерное распределение температур с наибольшими значениями в центральной части Крымского полуострова. В зональную циркуляционную эпоху на большей части характерна температура 10–11 °С. В первом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи ситуация меняется, основными значениями становятся 11–12 °С с небольшими зонами в северной части полуострова, в которых значения температуры составляют 10–11 °С. Второй и третий периоды меридиональной южной циркуляционной эпохи характеризуются незначительным похолоданием. В четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи происходит существенное потепление до 12–13 °С на основной части и 11–12 °С в северной части Крымского полуострова. В пределах низкогорного и среднегорного ландшафтного уровня формируется большее разнообразие температур – от 6 до 10 °С. Повышение значений температуры происходит аналогично, небольшое потепление при смене зональной циркуляционной эпохи меридиональной южной и более существенное – к четвертому периоду меридиональной южной циркуляционной эпохи. При этом распределение температуры внутри зоны происходит от групп местностей низкогорного ландшафтного уровня, с наибольшими значениями температуры, к группам местностей среднегорного ландшафтного уровня, где при увеличении высоты и расчлененности рельефа температура падает. Наиболее холодными являются группы местностей, занятые яйлинскими плато, в пределах среднегорного ландшафтного уровня. На данной территории в зональную циркуляционную эпоху зафиксирована наименьшая температура на полуострове – 4–5 °С. Вследствие общего роста средней температуры с первого по третий периоды меридиональной южной циркуляционной эпохи минимальный показатель составляет 5–6 °С, а в четвертый период – 6–7 °С.

Практически для всей территории гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней показатель стандартного отклонения составляет 0–0,2 °С, что объясняется равномерным распределением тепла по поверхности (рис. 2). С усложнением рельефа и высоты над уровнем моря в пределах низкогорного ландшафтного уровня повышается и стандартное отклонение и преобладают группы местностей со значением стандартного отклонения 0,2–0,4 °С, встречаются группы местностей со стандартным отклонением до 0,4–0,6 °С. Территория среднегорного ландшафтного уровня характеризуется максимальным

разнообразием значений стандартного отклонения – от минимальных 0–0,2 °С до максимальных 1,2–1,4 °С, что объясняется сложной ландшафтной структурой данной территории.

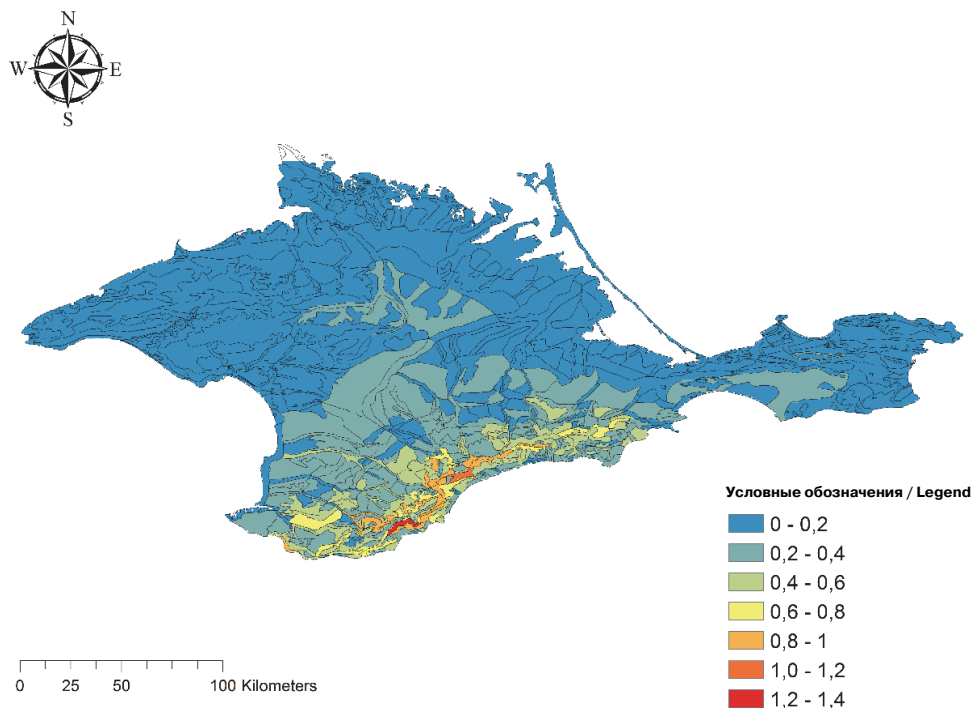


Рис. 2. Стандартное отклонение значений температуры воздуха по ландшафтным контурам, °С
Figure 2. Standard deviation of air temperature values along landscape contours, °С

Детализируем выявленные закономерности для различных типов региональных экосистем в соответствии с табл. 1. Результаты расчета среднегодовой температуры воздуха, ее стандартного отклонения в пределах контура и значения энтропии по рассматриваемым циркуляционным эпохам и периодам отображены в табл. 2. На рис. 3–5 представлены коробчатые диаграммы, которые показывают минимальные и максимальные значения температуры воздуха, а также среднее значение и медиану значений температуры воздуха в пределах рассматриваемых ключевых участков по пяти рассматриваемым циркуляционным периодам.

Экосистемы дубовых лесов на примере рассматриваемых ключевых участков характеризуются следующими изменениями средних значений температуры воздуха по циркуляционным эпохам и периодам. Экосистема пушисто-дубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 46) имеет средние значения температуры воздуха от 10,45 до 11,70 °С (табл. 2), экосистема пушисто-дубовых лесов низкогорья южного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 120) – от 10,28 до 11,50 °С, экосистема скально-дубовых лесов низкогорья северного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 54) – от 9,73 до 10,94 °С, экосистема скально-

дубовых лесов среднегорья северного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 54) – от 8,55 до 9,51 °С, экосистема скально-дубовых лесов среднегорья южного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 54) – от 9,14 до 10,32 °С. Как видно из табл. 2, в экосистемах пушисто-дубовых лесов за рассматриваемый временной период средняя температура воздуха поднялась больше, чем в пределах экосистем скально-дубовых лесов, что логично и связано с их пространственной дифференциацией в пределах Горного Крыма.

Таблица 2

Результаты расчетов среднегодовых значений температуры воздуха, °С, стандартного отклонения и энтропии на территории ключевых участков по циркуляционным эпохам и периодам (условные обозначения 1–5 – в подписи к рис. 1)

Номер контура	Параметр	Циркуляционные эпохи и периоды				
		1	2	3	4	5
<i>Дубовые леса</i>						
46	Тср	10,45	11,00	10,90	10,82	11,70
	Тст. откл.	0,2621	0,2599	0,2595	0,2625	0,2602
	Е	0,4998	0,3758	0,4959	0,3701	0,4875
54	Тср	9,73	10,26	10,16	10,08	10,94
	Тст. откл.	0,7532	0,7506	0,7483	0,7570	0,7543
	Е	0,3649	0,3572	0,3614	0,3642	0,3601
71	Тср	8,55	9,10	8,99	8,92	9,81
	Тст. откл.	0,3372	0,3348	0,3325	0,3378	0,3374
	Е	0,3941	0,4000	0,3720	0,3905	0,3921
92	Тср	9,14	9,66	9,56	9,47	10,32
	Тст. откл.	0,9146	0,9091	0,9069	0,9166	0,9111
	Е	0,3547	0,3260	0,4098	0,3916	0,4019
120	Тср	10,28	10,80	10,70	10,64	11,50
	Тст. откл.	0,5994	0,5962	0,5950	0,5998	0,5964
	Е	0,3117	0,3134	0,3191	0,3173	0,3126
<i>Хвойные леса</i>						
57	Тср	9,75	10,27	10,17	10,09	10,94
	Тст. откл.	0,2398	0,2376	0,2375	0,2393	0,2375
	Е	0,4121	0,4121	0,4172	0,3478	0,5
93	Тср	7,25	7,79	7,69	7,58	8,45
	Тст. откл.	1,2586	1,2513	1,2481	1,2598	1,2537
	Е	0,2881	0,2886	0,2912	0,2934	0,3125
108	Тср	10,35	10,87	10,76	10,69	11,53
	Тст. откл.	0,4865	0,4817	0,4811	0,4849	0,4811
	Е	0,3875	0,3875	0,3762	0,3934	0,4090
118	Тср	9,27	9,80	9,69	9,60	10,46
	Тст. откл.	1,0019	0,9963	0,9936	1,0035	0,9986
	Е	0,2972	0,2935	0,2887	0,3144	0,3171
<i>Буковые леса</i>						
75	Тср	7,89	8,43	8,33	8,25	9,14
	Тст. откл.	0,3378	0,3359	0,3338	0,3383	0,3376
	Е	0,3938	0,4179	0,3532	0,3888	0,3929
101	Тср	7,19	7,73	7,64	7,55	8,43
	Тст. откл.	0,8489	0,8453	0,8435	0,8505	0,8456
	Е	0,3847	0,3837	0,3837	0,3357	0,3837
<i>Яйлинские ландшафты</i>						
80	Тср	6,76	7,30	7,21	7,12	8,01
	Тст. откл.	0,3626	0,3614	0,3606	0,3635	0,3637
	Е	0,4039	0,4009	0,4039	0,3988	0,4008
85	Тср	4,70	5,26	5,18	5,04	5,93
	Тст. откл.	0,5033	0,5014	0,4993	0,5056	0,5044
	Е	0,3635	0,3563	0,3536	0,3264	0,3077

Table 2

Results of calculating average annual air temperature, °C, standard deviation and entropy on the territory of key areas by circulation epochs and periods (legend 1–5 – in Figure 1)

Contour number	Parameter	Circulation epochs and periods				
		1	2	3	4	5
<i>Oak forests</i>						
46	Tav	10.45	11.00	10.90	10.82	11.70
	Tstd	0.2621	0.2599	0.2595	0.2625	0.2602
	E	0.4998	0.3758	0.4959	0.3701	0.4875
54	Tav	9.73	10.26	10.16	10.08	10.94
	Tstd	0.7532	0.7506	0.7483	0.7570	0.7543
	E	0.3649	0.3572	0.3614	0.3642	0.3601
71	Tav	8.55	9.10	8.99	8.92	9.81
	Tstd	0.3372	0.3348	0.3325	0.3378	0.3374
	E	0.3941	0.4000	0.3720	0.3905	0.3921
92	Tav	9.14	9.66	9.56	9.47	10.32
	Tstd	0.9146	0.9091	0.9069	0.9166	0.9111
	E	0.3547	0.3260	0.4098	0.3916	0.4019
120	Tav	10.28	10.80	10.70	10.64	11.50
	Tstd	0.5994	0.5962	0.5950	0.5998	0.5964
	E	0.3117	0.3134	0.3191	0.3173	0.3126
<i>Coniferous forests</i>						
57	Tav	9.75	10.27	10.17	10.09	10.94
	Tstd	0.2398	0.2376	0.2375	0.2393	0.2375
	E	0.4121	0.4121	0.4172	0.3478	0.5
93	Tav	7.25	7.79	7.69	7.58	8.45
	Tstd	1.2586	1.2513	1.2481	1.2598	1.2537
	E	0.2881	0.2886	0.2912	0.2934	0.3125
108	Tav	10.35	10.87	10.76	10.69	11.53
	Tstd	0.4865	0.4817	0.4811	0.4849	0.4811
	E	0.3875	0.3875	0.3762	0.3934	0.4090
118	Tav	9.27	9.80	9.69	9.60	10.46
	Tstd	1.0019	0.9963	0.9936	1.0035	0.9986
	E	0.2972	0.2935	0.2887	0.3144	0.3171
<i>Beech forest</i>						
75	Tav	7.89	8.43	8.33	8.25	9.14
	Tstd	0.3378	0.3359	0.3338	0.3383	0.3376
	E	0.3938	0.4179	0.3532	0.3888	0.3929
101	Tav	7.19	7.73	7.64	7.55	8.43
	Tstd	0.8489	0.8453	0.8435	0.8505	0.8456
	E	0.3847	0.3837	0.3837	0.3357	0.3837
<i>Yayla landscapes</i>						
80	Tav	6.76	7.30	7.21	7.12	8.01
	Tstd	0.3626	0.3614	0.3606	0.3635	0.3637
	E	0.4039	0.4009	0.4039	0.3988	0.4008
85	Tav	4.70	5.26	5.18	5.04	5.93
	Tstd	0.5033	0.5014	0.4993	0.5056	0.5044
	E	0.3635	0.3563	0.3536	0.3264	0.3077

Экосистемы хвойных лесов представлены экосистемами сосновых и можжевеловых лесов. Средние значения температуры воздуха в границах можжевеловых лесов изменяются в пределах от 9,75 до 10,94 °C на ключевом участке можжевелового леса, расположенном на среднегорье северного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 57), и от 10,35 до 11,53 °C на ключевом участке можжевелового леса, расположенном на низкогорье южного макросклона Крымских гор (ландшафтный контур 108). Экосистемы сосновых лесов представлены ключевыми участками, расположенными в пределах среднегорья (ландшафтный контур 93) и низкогорья (ландшафтный контур 118) южного макросклона, где средняя температура воздуха изменяется

от 9,75 до 10,94 °С и от 10,35 до 11,53 °С соответственно. При этом экосистемы можжевеловых лесов характеризуются более высокими средними значениями температуры воздуха по циркуляционным эпохам и периодам, чем экосистемы сосновых лесов, что так же, как и в случае с дубовыми лесными экосистемами определяется более высотным расположением сосновых лесных экосистем.

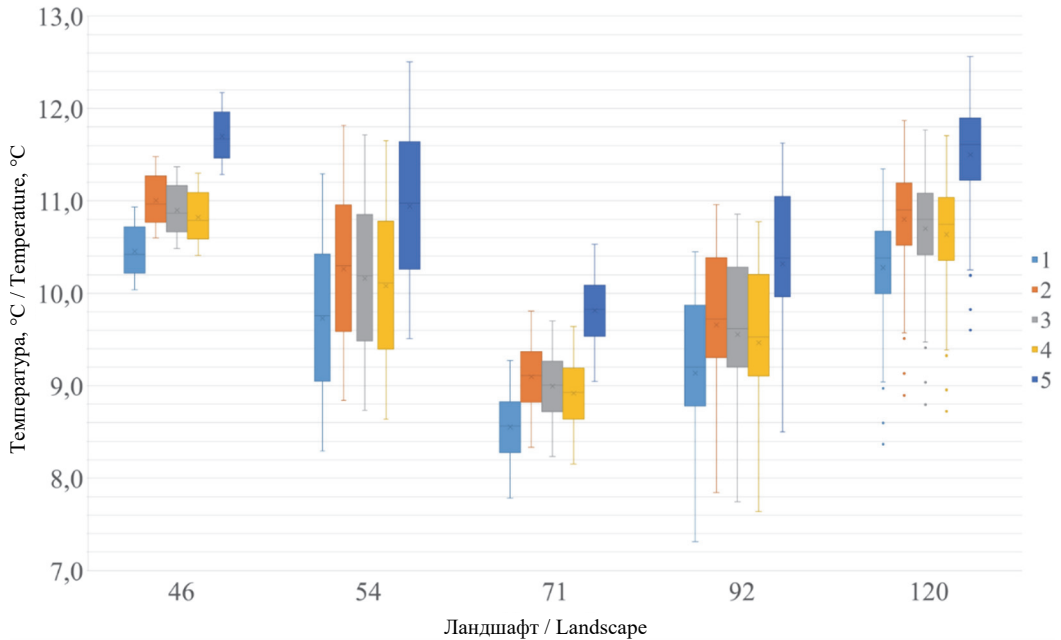


Рис. 3. Распределение температуры воздуха на территории экосистем дубовых лесов – ландшафтные контуры 46, 54, 71, 92, 120 (условные обозначения 1–5 – в подписи к рис. 1)
Figure 3. Distribution of air temperature on the territory of oak forest ecosystems – landscape contours 46, 54, 71, 92, 120 (legend 1–5 – in Figure 1)

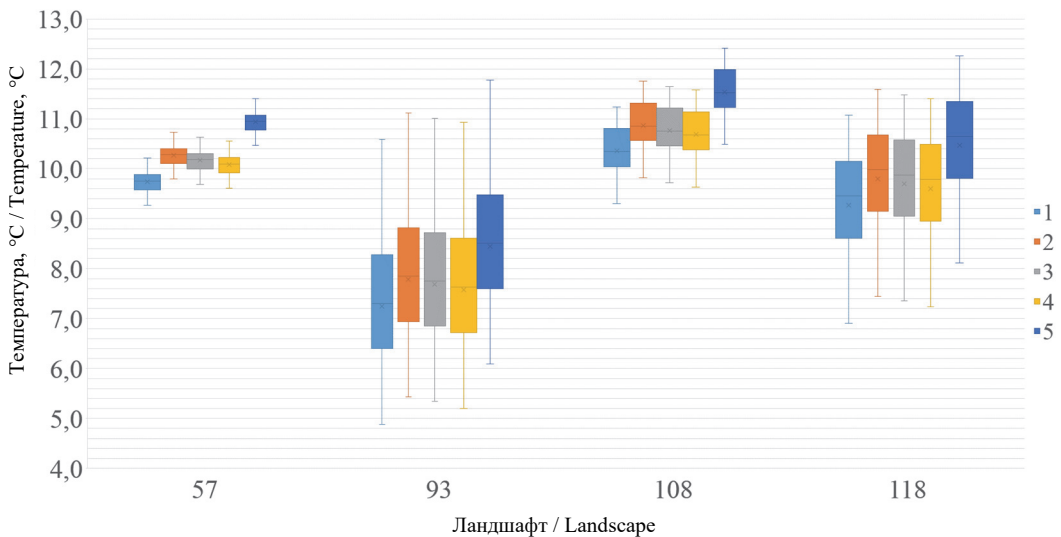


Рис. 4. Распределение температуры воздуха на территории экосистем хвойных лесов – ландшафтные контуры 57, 93, 108, 118 (условные обозначения 1–5 – в подписи к рис. 1)
Figure 4. Distribution of air temperature on the territory of coniferous forest ecosystems – landscape contours 57, 93, 108, 118 (legend 1–5 – in Figure 1)

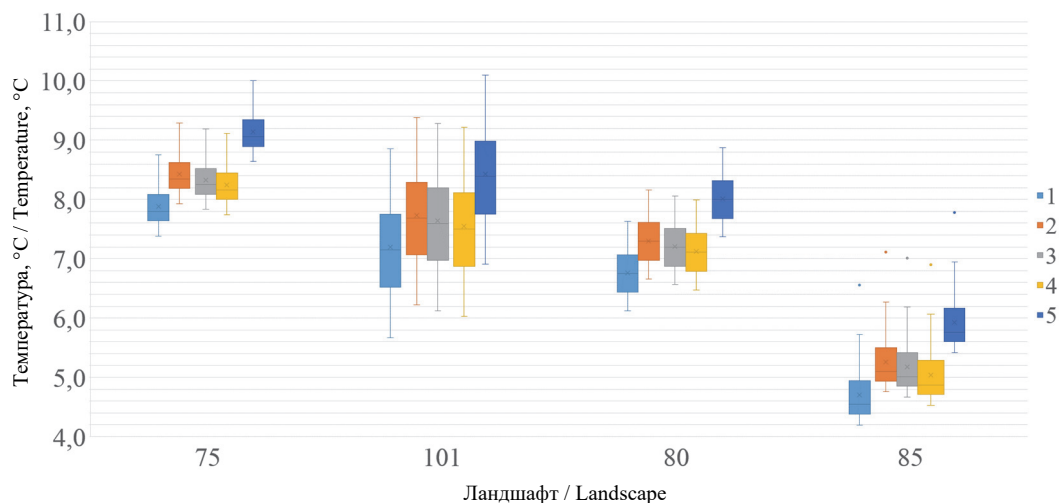


Рис. 5. Распределение температуры воздуха на территории экосистем буковых лесов – ландшафтные контуры 75, 101 и на территории экосистем яйлинских ландшафтов – ландшафтные контуры 80, 85 (условные обозначения 1–5 – в подписи к рис. 1)

Figure 5. Distribution of air temperature on the territory of beech forest ecosystems – landscape contours 75, 101 and on the territory of Yayla landscapes – landscape contours 80, 85 (legend 1–5 – in Figure 1)

Средние значения температуры воздуха для рассматриваемых экосистем буковых лесов изменяются в пределах ключевых участков: ландшафтный контур 75 – от 7,89 до 9,14 °С, ландшафтный контур 101 – от 7,19 до 8,43 °С.

Экосистемы яйлинских ландшафтов имеют самые низкие значения температуры воздуха – от 6,76 до 8,01 °С (ключевой участок, представленный ландшафтным контуром 80) и от 4,70 до 5,93 °С (ключевой участок, представленный ландшафтным контуром 80).

При этом при анализе рис. 3–5 и табл. 2 отчетливо видна динамика температуры воздуха по циркуляционным эпохам и периодам. Со сменой зональной циркуляционной эпохи для всех ключевых участков отчетливо виден рост температуры, который достигает максимума в первом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи, а затем постепенно снижается во втором периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи и достигает минимальных значений в третьем периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи, после чего следует резкий рост в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи, в результате которого достигаются значения, превышающие значения температуры в предыдущих периодах.

Пространственное распределение значений стандартного отклонения в пределах каждого контура на территории Крымского полуострова нарастает с севера на юг и достигает максимальных значений в пределах Главной гряды Крымских гор и далее уменьшается по направлению к Южному берегу Крыма. Если учесть тот факт, что большее значение стандартного отклонения показывает больший разброс значений в представленном множестве со средней величиной множества, то меньшее значение, соответственно, показывает, что значения в множестве сгруппированы вокруг среднего значения, и представляется возможным принять стандартное отклонение за меру неопределенности для каждого ландшафтного контура. Если рассматривать значения стандартного отклонения в разрезе смены циркуляционных эпох и периодов,

то можно утверждать, что в периоды с большими значениями стандартного отклонения в пределах ключевых участков наблюдаются большая неоднородность проявления температур и их большой разброс. Несмотря на значительный рост средних значений температуры воздуха (более 1 °С), изменение стандартного отклонения происходит на сотые доли градуса Цельсия или практически вообще не происходит. Для большинства ключевых участков стандартное отклонение максимально в зональную циркуляционную эпоху и третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи. После зональной циркуляционной эпохи наблюдается существенный спад значений стандартного отклонения в первом и втором периодах меридиональной южной циркуляционной эпохи, рост в третьем и спад в четвертом периодах меридиональной южной циркуляционной эпохи. При этом уменьшение значений стандартного отклонения наблюдается при росте значений температуры.

В пространственном распределении показателя факторной энтропии для ландшафтных контуров не наблюдается четкой закономерности. При этом на примере ключевых участков выявляется, что с изменением температуры воздуха по рассматриваемым циркуляционным эпохам и периодам в единичных случаях повторяется распределение, характерное для распределения стандартного отклонения, а в большинстве остальных случаев при смене зональной циркуляционной эпохи первым периодом меридиональной южной циркуляционной эпохи энтропия снижается и возрастает к четвертому периоду меридиональной южной циркуляционной эпохи.

Если рассматривать экосистемы дубовых лесов, то на всех рассматриваемых ключевых участках происходит однотипная смена значений стандартного отклонения – планомерное снижение, начиная с зональной циркуляционной эпохи до второго периода меридиональной южной циркуляционной эпохи, рост в третий и снижение в четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи. При этом изменение значений энтропии за рассматриваемые циркуляционные эпохи и периоды в большинстве случаев не соотносится напрямую с увеличением или уменьшением значений температуры воздуха. На территории ключевого участка пушисто-дубового леса, расположенного в низкогорном ландшафтном уровне на северном макросклоне Крымских гор, значения энтропии максимальны в зональную циркуляционную эпоху, второй и четвертый периоды меридиональной южной циркуляционной эпохи и минимальны в первый и третий периоды меридиональной южной циркуляционной эпохи. На территории ключевого участка пушисто-дубового леса, расположенного в низкогорном ландшафтном уровне на южном макросклоне Крымских гор, значения энтропии минимальны в зональную циркуляционную эпоху и четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи, а максимальны во второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи. Таким образом, максимальные с точки зрения влияния температуры условия для развития экосистем пушисто-дубовых лесов как южного, так и северного макросклона Крымских гор наблюдаются во второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи. На территории ключевого участка скально-дубового леса, расположенного в низкогорном ландшафтном уровне на северном макросклоне Крымских гор, значения энтропии максимальны в зональную циркуляционную эпоху и третий период

меридиональной южной циркуляционной эпохи; на территории ключевого участка скально-дубового леса, расположенного в среднегорном ландшафтном уровне на северном макросклоне Крымских гор, значения энтропии максимальны в первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи, а на южном макросклоне – во второй период.

В пределах ключевых участков экосистем хвойных (сосновых и можжевеловых) лесов наблюдается общий тренд роста значений энтропии от зональной циркуляционной эпохи к третьему периоду меридиональной южной циркуляционной эпохи и резкий скачок в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи, в котором достигаются максимальные значения. Следовательно, с ростом температуры формируется стратегия развития экосистем хвойных лесов Крымского полуострова, ведь именно в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи наблюдаются наибольшие максимальные значения температуры среди рассматриваемых циркуляционных эпох и периодов.

В пределах экосистемы буковых лесов распределение энтропии также уменьшается ко второму периоду меридиональной южной циркуляционной эпохи и незначительно увеличивается в дальнейшем, что свидетельствует о формировании стратегии развития экосистем с ростом температуры воздуха.

Противоположная картина наблюдается в пределах экосистем яйл. Если распределение значений стандартного отклонения аналогично экосистемам, описанным выше, то распределение значений энтропии по циркуляционным эпохам и периодам ведет себя по-другому – с увеличением средних значений температуры воздуха в пределах экосистем яйл значения энтропии уменьшаются.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлено пространственное распределение средних значений температуры воздуха по циркуляционным эпохам и периодам, стандартного отклонения температуры воздуха и энтропии для основных типов экосистем Горного Крыма.

Во всех рассматриваемых экосистемах температура воздуха по циркуляционным эпохам и периодам подвержена одним и тем же изменениям – после зональной циркуляционной эпохи в первом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи наступает рост средних значений температуры, который затем падает во втором и третьем периодах меридиональной южной циркуляционной эпохи, достигая самых минимальных значений, и резкий рост температуры в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи с максимальными значениями во всех циркуляционных эпохах и периодах.

В целом для большинства экосистем ключевых участков характерны минимальные значения энтропии и стандартного отклонения для второго периода меридиональной южной циркуляционной эпохи. И если для всех ключевых участков в дальнейшем наблюдается рост стандартного отклонения в третьем и уменьшение в четвертом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи, то значения энтропии ведут себя не столь выражено. Однако в большинстве случаев к четвертому периоду меридиональной южной циркуляционной эпохи наблюдаются устойчивые тренды роста значений

энтропии, что свидетельствует о формировании в рассматриваемых экосистемах стратегии для их внутренней дифференциации и развития. Прежде всего это характерно для экосистем дубовых и особенно хвойных лесов, в то время как в буковых лесах тренд изменения энтропии находится близко к нулевому уровню, а в экосистеме яйлинских ландшафтов наблюдается отрицательный тренд, то есть увеличение температуры приводит к стратегии стабилизации экосистем.

Список литературы

- [1] 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 имени А.И. Воейкова. 2016. № 580. С. 175–198.
- [2] Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. Климатические нормы температуры воздуха на территории полуострова Крым // Культура народов Причерноморья. 2014. Т. 2. № 278. С. 89–94.
- [3] Федоров В.М., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. Многолетняя изменчивость температуры воздуха на Крымском полуострове // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 127–133.
- [4] Петлин В.М. Стратегия ландшафту. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. 288 с.
- [5] Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
- [6] Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Труды научно-исследовательских учреждений ГУГМС СССР. Серия 2: Синоптическая метеорология. М.: Гидрометиздат, 1946. Вып. 21. 80 с.
- [7] Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. М.: Наука, 1968. 240 с.
- [8] 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156720>

References

- [1] Gorbunov RV, Gorbunova TY, Kalinovskii PS, Kononova NK, Mironyuk OA. Role of atmospheric circulation in air temperature changes on the Crimean peninsula in the XX century – beginning of XXI century. *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2016;(580):175–198. (In Russ.)
- [2] Gorbunov RV, Gorbunova TYu, Kononova NK. Climatic norms of air temperature on the territory of the Crimean Peninsula. *Culture of the Peoples of the Black Sea Region*. 2014;2(278):89–94. (In Russ.)
- [3] Fedorov VM, Gorbunov RV, Gorbunova TY, Kononova NK. Long-term air temperature variability on the Crimean Peninsula. *Geography and Natural Resources*. 2017; (1):127–133. (In Russ.)
- [4] Petlin VM. *Landscape strategy*. Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center; 2007. (In Ukr.)
- [5] Pozachenyuk EA. (ed.) Modern landscapes of Crimea and adjacent water areas. Simferopol: Business-Inform Publ.; 2009. (In Russ.)
- [6] Dzerdzevskiy BL, Kurganskaya VM, Vitvitskaya ZM. Typification of circulation mechanisms in the Northern Hemisphere and characteristics of synoptic seasons. *Pro-*

ceedings of Scientific Research Institutions of the USSR GUGMS. Series 2. Synoptic Meteorology (vol. 21). Moscow: Gidrometizdat Publ.; 1946. (In Russ.)

- [7] Dzerdzeevskiy BL. Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX century. *Materials of Meteorological Research*. Moscow: Nauka Publ.; 1968.
- [8] 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156720>

Сведения об авторах:

Горбунов Роман Вячеславович, кандидат географических наук, директор Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского, Российская академия наук. eLIBRARY SPIN-код: 8403-5179. E-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Табунщик Владимир Александрович, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр геоматики, Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского, Российская академия наук. eLIBRARY SPIN-код: 9672-2593. E-mail: tabunshchik@ya.ru

Горбунова Татьяна Юрьевна, научный сотрудник, Научно-исследовательский центр геоматики, Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского, Российская академия наук; доцент кафедры субтропической и тропической экологии, Институт экологии, Российский университет дружбы народов. eLIBRARY SPIN-код: 3505-6157. E-mail: gorbunovaty@gmail.com

Сафонова Мария Сергеевна, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр геоматики, Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского, Российская академия наук. eLIBRARY SPIN-код: 5442-2548. E-mail: mari_malashina@bk.ru

Bio notes:

Roman V. Gorbunov, Ph.D. in Geography, Acting Director of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences. eLIBRARY SPIN-code: 8403-5179. E-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Vladimir A. Tabunshchik, junior researcher, Research Center for Geomatics, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences. eLIBRARY SPIN-code: 9672-2593. E-mail: tabunshchik@ya.ru

Tatyana Yu. Gorbunova, research associate, Research Center for Geomatics, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences; Associate Professor, Subtropical and Tropical Ecology Department, Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). eLIBRARY SPIN-code: 3505-6157. E-mail: gorbunovaty@gmail.com

Maria S. Safonova, junior researcher, Research Center for Geomatics, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences. eLIBRARY SPIN-code: 5442-2548. E-mail: mari_malashina@bk.ru