

УДК 581.5 + 581.135/ 575.4

В. П. Дедков, П. Д. Гунин

**О РОЛИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПУСТЫНЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ
В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

110

Изучена температура различных подстилающих поверхностей (щебнисто-каменистая на гаммадах, песчаная в руслах временных водотоков (сайрах), растения) в южной степи Монголии. Дан сравнительный анализ температуры почвы и растений. Обсуждается вопрос о влиянии зарастания пустынных пространств растениями на изменение климата Земли.

This article focuses on the temperature of various underlying surfaces (rubble-rock on hamadas, sand on the beds of temporary streams, plants) in the southern steppes of Mongolia. The authors present a comparative analysis of soil and plant temperature and address the issue of the impact of overgrowing of desert areas on climate change on Earth.

Ключевые слова: температура поверхности почвы, температура растений, альbedo, гаммада, сайр, пустыня, степь, климат.

Key words: soil surface temperature, temperature of plants, albedo, hamada, temporary streams, desert, steppe, climate.

Одна из острых проблем, стоящих перед человечеством, — изменение климата на Земле в сторону аридизации. По этому вопросу существуют различные точки зрения. Одно из самых распространенных мнений заключается в том, что причиной повышения глобальной температуры являются парниковые газы. При этом все другие факторы, так или иначе воздействующие на глобальную температуру, рассматриваются поверхностно или не рассматриваются вообще. Наши более чем сорокалетние исследования наталкивают на мысль о том, что изменение альbedo (отношение отраженной солнечной радиации к приходящей) подстилающей поверхности в пустынной и степной зонах Центральной Азии в связи с зарастанием ранее открытых пространств растениями, может существенным образом влиять на изменение глобальной температуры. Так, по измерениям в летний период в Восточных Каракумах альbedo варьировало от 12 до 26 % [1], в Центральных Каракумах — 25–35 % [2], в Юго-Западных Каракумах — 21–22 % [3], в Южных Кызылкумах — 20–25 % [4], в Северной Гоби — 17–43 % [5], в Заалтайской Гоби — 9–33 % [6].

Как показали наблюдения, пространственные вариации альbedo могут быть значительными даже в пределах небольшой по площади территории. Измерения, проведенные синхронно в 30 точках на профиле через черные саксаульники в Заалтайской Гоби, показали, что альbedo щебнисто-каменистого панциря на поверхности межсайровых водоразделов составляло 12–13 %, в руслах сайров, имеющих более



светлую окраску щебнистых отложений, альbedo возрасало до 20–21 %, а на крутых склонах сайров уменьшалось до 16–18 %. Альbedo щебнистых отложений коричневого цвета на пологом склоне сайра на 9 % выше, чем альbedo щебнисто-каменистого панциря на гаммаде [6].

Изменение характера подстилающей поверхности в связи с зарастанием пустынных территорий растениями снижает ее отражательную способность. По определениям в Восточных Каракумах альbedo песчаной поверхности без растений при зарастании ее пустынным мхом (*Tortula desertorum*) уменьшилось почти в 2 раза, с 24 до 14 % [1]. Снижение альbedo отразилось на соотношении составляющих теплового баланса и в конечном итоге привело к замедлению теплообмена в почве в дневные часы и уменьшению нерадиационных потерь тепла в ночные [1; 7; 8]. Надземные органы мха и ризоидальная пористая супесчаная корка под ним в пустыне обладают более низкой теплопроводностью, чем песок, поэтому корка выполняет роль теплоизолятора при передаче тепла вглубь днем и потерях его из почвы ночью.

В свою очередь повышение температуры поверхностной толщцы почвогрунтов и припочвенного слоя воздуха оказывает влияние на растительный покров — важный элемент развития животноводства в странах Центральной Азии. Интегральная температура подстилающей поверхности является показателем фоновых условий, в которых существуют и развиваются растения, поэтому ее изучение важно для понимания механизмов эволюции и адаптации растений к экстремальным условиям среды их обитания. Однако данные по этому вопросу для пустынь и степей Центральной Азии немногочисленны [5; 6; 9].

В связи с этим в июле — августе 2012 г. нами были проведены работы по изучению температуры различных подстилающих поверхностей в южной степи Монголии: щебнисто-каменистой на гаммадах, песчаной в руслах временных водотоков (сайрах), растений. Все работы проводились в составе пустынно-степного отряда Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции АН РФ и АН МНР. Цель исследования — определить температуру подстилающей поверхности в различных ландшафтных условиях, для того чтобы в дальнейшем оценить воздействие температуры поверхности на развитие доминантных видов растений и их продуктивность в фитоценозах пустынной степи.

Измерение температуры подстилающих поверхностей на гаммадах, в сайрах и на поверхности растений проводилось одновременно двумя пирометрами — «Фотон» С-300 с встроенным запоминающим устройством и лазерным целеуказателем, предназначенными для бесконтактного измерения температуры объектов по их тепловому (инфракрасному) излучению. Наблюдениями в пределах Среднегобийского аймака Монголии была охвачена площадь около 12 тыс. км² (координаты спутниковой навигации GPS: N 45°22′ — 47°09′ с. ш.; E 105°13′ — 107°30′ в. д.; Н над у. м. 1100–1500 м). В июле — августе нами было проведено 13 серий измерений температуры на профилях длиной от 30 до 50 м, расположенных в «крест» преобладающим формам рельефа. Общая длина профилей в различных ландшафтных условиях — более 725 м, измерений температуры — 640. На профилях отсчеты максимальных значений температуры проводились через 1 м в период с 13 до 16 ч по

местному времени. Измерения сопровождалось визуальными наблюдениями за направлением и скоростью ветра, состоянием небесного свода и подстилающей поверхности (цвет гаммады, процент покрытия поверхности щебнисто-каменистым панцирем, степень отсортированности щебня и камней, наличие или отсутствие растений и их проективное покрытие, фенологическое и жизненное состояние, аспект) и многим другим. В растительном покрове на юге района исследований преобладали луково-ковыльные, ковыльно-луковые, баглуrowые или баглуrowо-луковые сообщества с преобладанием *Allium polyrrhizum*, *Anabasis brevifolia*, *Stipa krylovii*. К северу возрастала доля эфедрово-житняково-ковыльных или эфедрово-полынных фитоценозов (*Ephedra sinica*, *Agropyron cristatum*, *Stipa sp.*, *Artemisia sp.*).

Проведенные исследования показали, что в июле – августе в различных ландшафтных условиях пустынной степи Монголии максимальные значения температуры на поверхности почвогрунтов в период с 13 до 16 ч достигали 56–57 °С. При этом русла временных водотоков (сайры) более контрастны по температуре по сравнению с гаммадами (рис. 1).

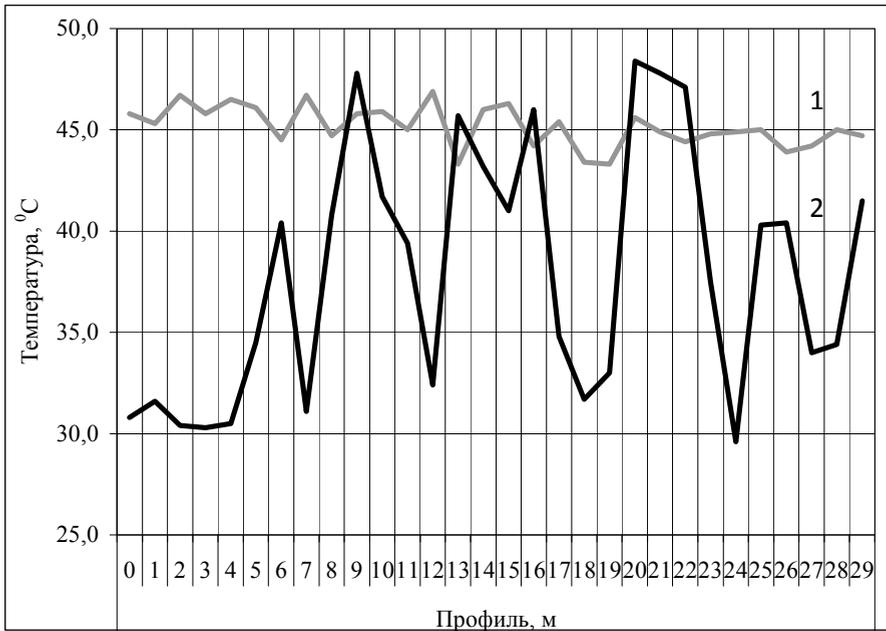


Рис. 1. Температура (°С) подстилающей поверхности на участке ГС – XVII (09.08.2012 г., время измерений 14.45–15.00):
1 – гаммада; 2 – сайр

Как видно из графика, в период наших наблюдений на территории сомона Гурвансайхан (ГС) максимальные значения температуры на поверхности почвы в сайре разнились в диапазоне от 29,6 до 48,4 °С, амплитуда температуры достигала 19,0 °С, а средняя из максимальных величина – $37,9 \pm 6,2$ °С. Наиболее низкая температура в сайре 29,6 °С зафиксирована на поверхности чия блестящего (*Achnatherum splendens*)



и в зарослях тростника австралийского (*Phragmites australis*) – 30,3 °С; наиболее высока она на песчаной поверхности, прикрытой слоем органики (48,4 °С) или на поверхности песка (47,8 °С), нанесенного внутри дерновины чия блестящего, где ветра практически нет.

Температура поверхности на гаммаде более выровнена, чем в сайре, и находится в диапазоне от 43,3 до 46,5 °С, амплитуда температуры немногим более 3,0 °С, средняя из максимальных величин $45,2 \pm 1,0$ °С. Если оценивать температуру на поверхности по средним величинам, то на гаммаде она почти на 7 °С выше, чем в сайре.

Значительный разброс температуры в сайре обусловлен тем, что в руслах временных водотоков произрастает большое количество различных видов травянистых растений с преобладанием чия блестящего (*Achnatherum splendens*) и достаточно высоким проективным покрытием – до 60–70%, например у осоки твердоватой (*Carex duriuscula*). Они имеют температуру поверхности более низкую за счет охлаждающего эффекта транспирации, да и сами русла находятся на более низких гипсометрических отметках, поэтому скорости ветра здесь ниже, чем на гаммаде. Кроме того, русла покрыты песчаными или супесчаными наносами с наличием на поверхности большого количества органических веществ, имеющих меньшую величину альбедо, в связи с чем эта поверхность сильнее нагревается. В отличие от сайра гаммада покрыта достаточно однородным щебнисто-каменистым панцирем, желтовато-палевого цвета, с разреженным низкорослым растительным покровом из различных видов однолетников. В пустынной степи Монголии гаммады расположены на повышенных плакорных участках, поэтому скорости ветра в приземном слое воздуха здесь выше, чем в сайрах.

Заметным элементом в ландшафтах пустынной степи в летний период становятся озера, формирующиеся в котловинах и обязанные своим формированием выпадающим атмосферным осадкам. Значительное количество атмосферной влаги стекает в озера по сайрам с окружающих котловину повышенных элементов рельефа. Данные, характеризующие влияние озера на температуру подстилающей поверхности в дельте сайра вблизи уреза воды в озере и на гаммаде, представлены на рисунке 2.

Профили для измерения температуры были заложены на территории сомона Гурвансайхан на красноцветной гаммаде, покрытой мелкой щебенкой с наличием гранитной крошки и разреженным баглуrowым (*Anabasis brevifolia*) покровом, и в сайре, где по песчаной поверхности палевого цвета рассыпан мелкий щебень. Наличие в сайре большого количества летних однолетников (*Chenopodium album*), настоящего полкустарничка (*Reaumuria songarica*) и многолетних травянистых растений (*Achnatherum splendens*) придает изумрудный оттенок поверхности. Здесь, как и в случае, представленном на рисунке 1, видна ранее выявленная закономерность, а именно: максимальные значения температуры в сайре выше, чем на гаммаде, а минимальные, наоборот, ниже. Разброс температуры в сайре – от 56,2 до 36,1 °С, амплитуда температуры более 20,0 °С. На гаммаде разброс температуры и амплитуда заметно ниже: 47,0–41,9 °С и 5 °С соответственно. В отличие от данных, представленных на рисунке 1, здесь средние значения температуры в сайре

выше ($46,2 \pm 4,8$ °С), а на гаммаде ниже ($44,2 \pm 1,4$ °С). Превышение средних значений температуры подстилающей поверхности в сайре по сравнению с гаммадой, вероятно, связано с более низкими значениями альбеда поверхности из-за наличия большого количества органических веществ темного цвета и более значительным застоём воздуха в котловине по сравнению с сильнее продуваемой гаммадой.

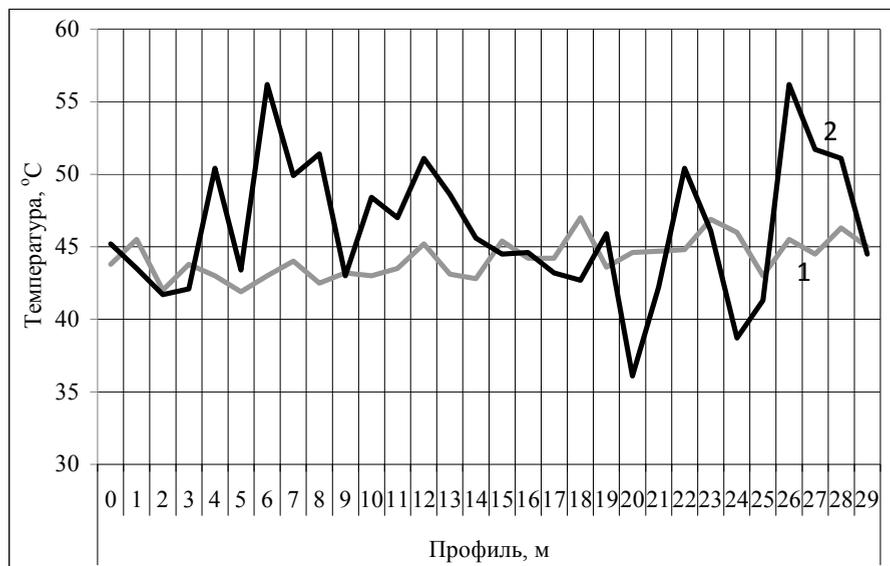


Рис. 2. Температура подстилающей поверхности на участке ГС – VI-1 (03.08.2012 г., время измерений 13.45–13.55):
1 – гаммада; 2 – сайр

Сходным образом выглядела картина пространственного распределения температуры между гаммадами и сайрами на территории сомона Гурвансайхан (ГС-IX и ГС-X вблизи вулкана Логула). Измерения на склоне вулканического бэля, покрытого черной базальтовой крошкой с песчаными отложениями по поверхности, показали, что в среднем температура поверхности составляла $43,0 \pm 1,0$ °С. В песчаном русле сайра в понижении вблизи временного озера с наличием песчаных отложений палевого цвета – $48,7 \pm 2,2$ °С. Максимальные значения температуры ($50,8$ °С) также были в сайре.

Значительные контрасты температуры на поверхности почвы были отмечены и при сравнении различных типов гаммад на территории сомона Мандалгоби (МГ) (рис. 3).

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что в пустынной степи растительный покров становится заметным фактором, влияющим на формирование температурного режима и микроклимата сообществ. Температурные профили на рисунке 3 характеризуют гаммаду без растительного покрова (1) и покрытую растениями из летних однолетников (2), которые создают изумрудно-зеленый цвет.

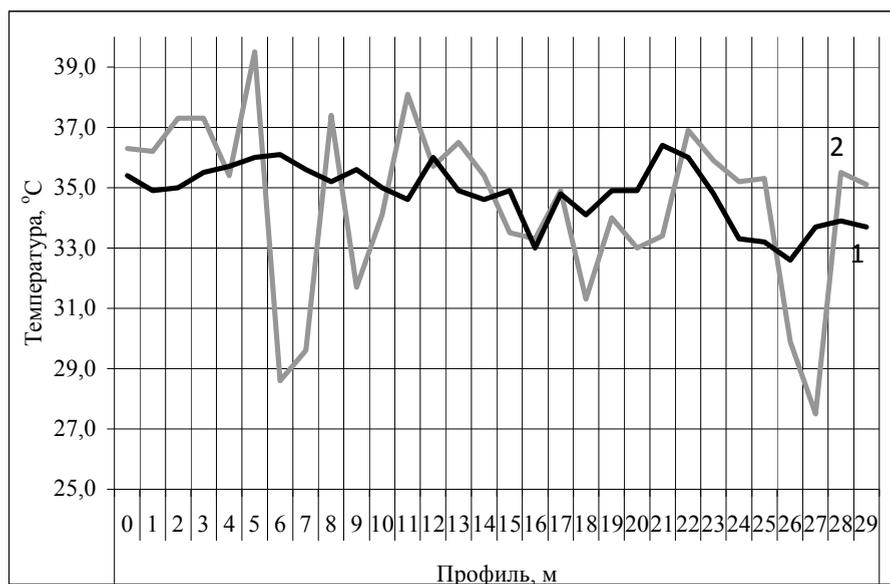


Рис. 3. Температура подстилающей поверхности на участке МГ – XV-3 (07.08.2012 г., время измерений 14.25 – 14.36):

1 – гаммада без растений; 2 – гаммада, покрытая растениями

Среди произрастающих на территории сомона Мандалгоби видов растений преобладают лук монгольский (*Allium mongolicum*), аристида (*Aristida heymannii*). Поверхность гаммады в первом случае плоская, во втором – волнистая. Как и в сайрах, на гаммаде, покрытой растениями, разброс температуры между максимальными и минимальными значениями выше, чем там, где поверхность лишена растений. Максимальные значения температуры на гаммаде с растениями достигали почти $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а минимальные $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Амплитуда температуры $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя $34,5 \pm 2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. На гаммаде без растений эти величины ниже, а именно: $36,4 - 32,6; 3,8$ и $34,8 \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Более контрастной выглядела температура поверхности на желтовато-палевой гаммаде, покрытой растениями, в районе вулкана Логула. Профиль был заложен от подножья вулкана в сторону временного озера. Максимально температура здесь поднималась до $51,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а минимальная была не более $31,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя величина из максимальных значений температур $40,8 \pm 5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обращает на себя внимание то, что температурный профиль через гаммаду вблизи берега озера в котловине имел меньший разброс ($44,8 - 40,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), однако средняя величина максимальных значений была выше, чем в предыдущем случае, и составляла $43,2 \pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Одновременно с изучением температуры подстилающей поверхности проводилось измерение температуры поверхности доминирующих пустынно-степных растений, поскольку она крайне важна для понимания механизмов адаптации растений к экстремальным условиям среды,



с одной стороны, и установления роли растений в формировании микроклимата приземного слоя воздуха — с другой. В литературе подобные сведения немногочисленны [10; 11]. Результаты проведенных измерений в обобщенном виде представлены в таблице.

Температура (°С) поверхности растений
в пустынной степи Монголии

Вид	Биоморфа	Температура поверхности		Разница температур
		растение	гаммада	
<i>Caragana leucophloea</i>	Кустарник	28,4 ± 3,5	39,7 ± 6,0	11,3
<i>Nitraria sibirica</i>	-«-	26,9 ± 1,7	44,5 ± 5,1	17,6
<i>Zygophyllum</i> sp.	-«-	26,2 ± 1,5	41,9 ± 7,0	15,7
<i>Ephedra sinica</i>	Кустарничек	33,9 ± 3,9	52,7 ± 4,6	18,8
<i>Reaumuria songarica</i>	Настоящий полукустарничек	34,9 ± 3,7	41,5 ± 3,3	6,6
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	-«-	31,4 ± 3,5	39,8 ± 3,7	8,4
<i>Anabasis brevifolia</i>	-«-	29,9 ± 2,6	36,4 ± 4,1	6,5
<i>Kochia prostrata</i>	Примитивный полукустарничек	28,5 ± 1,3	35,3 ± 2,4	6,8
<i>Artemisia frigida</i>	-«-	29,1 ± 3,8	43,3 ± 3,7	14,2
<i>Achnatherum splendens</i>	Травянистый многолетник	27,6 ± 4,4	39,4 ± 4,8	11,8
<i>Phragmites australis</i>	-«-	30,8 ± 1,0	46,7 ± 1,0	15,9
<i>Stipa krylovii</i>	-«-	30,0 ± 3,8	45,5 ± 2,3	15,5
<i>Agropyron cristatum</i>	-«-	32,0 ± 5,5	44,9 ± 6,3	12,9
<i>Leymus chinensis</i>	-«-	33,6 ± 1,0	43,1 ± 2,9	9,5
<i>Allium polyrrhizum</i>	-«-	34,1 ± 5,0	40,1 ± 5,5	6,0
<i>Scorzonera divaricata</i>	Травянистый однолетник	33,6 ± 3,6	38,7 ± 4,3	5,1
<i>Chenopodium album</i>	-«-	31,1 ± 2,3	43,8 ± 3,9	12,7
<i>Peganum nigellastrum</i>	Травянистый многолетник	24,7 ± 3,0	37,2 ± 3,3	12,5
<i>Bassia dasyphylla</i>	Травянистый однолетник	34,1 ± 3,5	44,5 ± 1,9	10,4

Из данных, представленных в таблице, следует, что температура поверхности доминантных растений на 5–19 °С ниже температуры подстилающей поверхности. Наибольшие различия в температуре — между гаммадой и поверхностью кустарника *Nitraria sibirica* и кустарничка *Ephedra sinica* (18–19 °С); наименьшие (5–6 °С) — между гаммадой и травянистыми растениями *Scorzonera divaricata* и *Allium polyrrhizum*. Следует обратить внимание на то, что температура поверхности доминантного растения сайров *Achnatherum splendens* на 12 °С ниже, чем на гаммаде (см. табл.). Однако такая ситуация наблюдалась не всегда. В том случае, если чий блестящий имел прикустовой песчаный бугор с прогалиной внутри, покрытой песком, то интегральная температура растения превышала температуру на гаммаде на 6–7 °С.



Проведенные исследования позволяют говорить о том, что температура подстилающей поверхности в пустынной степи Монголии в июле — августе варьирует в широком пределе и может достигать на гаммаде и на открытых пространствах в сайрах высоких для этого периода времени значений (55—60 °С). Температура поверхности доминантных растений заметно ниже, чем на гаммаде, и лежит в пределах 25—35 °С. Как на гаммаде, так и в сайре температура поверхности неоднородна и зависит от большого количества факторов. Среди них очень важными являются глубина вреза сайра относительно гаммады и величина проективного покрытия растений. Чем больше глубина сайра и выше проективное покрытие, тем значительнее температурные различия с гаммадой, и наоборот: в менее глубоких сайрах с более низким проективным покрытием растений температурные различия с гаммадой меньше.

Важный момент, определяющий различия в температуре, — наличие или отсутствие облачности. При высокой облачности различия в температуре между растениями и гаммадой снижаются в связи со снижением потерь воды на транспирацию; в солнечные дни, наоборот, возрастают из-за увеличения количества приходящей солнечной радиации, что приводит к росту температуры ассимилирующих органов растений и увеличению интенсивности транспирации. Следствие этого — снижение температуры поверхности растений за счет увеличения устьичной и кутикулярной транспирации.

Гаммады, покрытые растениями, более контрастны по сравнению с гаммадами, где растительность сильно разрежена или ее нет.

В целом полученные нами данные о температуре подстилающей поверхности в пустынной степи Монголии хорошо согласуются с выводом о том, что поле температуры в растительных сообществах аридной зоны неоднородно [1; 7; 8; 12], и это имеет важное значение для формирования экологических режимов в экосистемах Центральной Азии.

Учитывая то, что площадь аридных земель на земном шаре составляет около 33—36 % площади суши [13] и они оказывают огромное воздействие на глобальные биосферные процессы, в том числе на процесс формирования климата, необходимо проведение исследований по изучению влияния быстро формирующегося растительного покрова пустынь на климатические процессы в биосфере Земли. Пустыни Центральной Азии представляют собой особый тип ландшафта, который характеризуется относительно быстрым темпом развития. Последовательная смена естественной эволюции протекает здесь со скоростью, во много раз превосходящей скорость развития других типов ландшафтов [14]. Ранние стадии эволюции пустынь многие миллионы лет назад протекали под преимущественным действием физико-географических факторов: высокая напряженность солнечной радиации, ветер, сухость воздуха и почвогрунтов, небольшое количество атмосферных осадков и многое другое. Переход от ранних стадий эволюции к последующим обуславливается уже не физико-географическим, а биологическим фактором — формированием растительного покрова, — который и определяет своим развитием характер экологических режимов и направленность изменений климата.



Список литературы

1. Дедков В.П. Экологическая ниша и водный баланс доминантов пустынных фитоценозов. Л., 1989.
2. Нурбердыев М. Радиационный и тепловой баланс пастбищ Центральных Каракумов // Сборник работ Ашхабадской гидрометеорологической обсерватории. Ашхабад, 1971. Вып. 6. С. 26–35.
3. Кувшинова К.В. О тепловом балансе песчаной пустыни // Тепловой и радиационный баланс естественной растительности и сельскохозяйственных полей. М., 1965. С. 136–145.
4. Айзеништат Б.А. Тепловой баланс и микроклимат некоторых ландшафтов песчаной пустыни // Современные проблемы метеорологии приземного слоя воздуха. Л., 1958. С. 67–130.
5. Береснева И.А. О радиационном балансе пустынно-степной зоны МНР // Труды ГГО. 1980. Вып. 426. С. 118–120.
6. Гунин П.Д., Дедков В.П., Дедкова Н.А. Радиационно-тепловой баланс и основные черты микроклимата // Проблемы освоения пустынь. 1980. №2. С. 30–46.
7. Дедков В.П. Водно-тепловой режим растительных сообществ Восточных Каракумов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ашхабад, 1977.
8. Гунин П.Д., Дедков В.П. Экологические режимы пустынных биогеоценозов (на примере Восточных Каракумов). М., 1978.
9. Гунин П.Д., Дедков В.П. Режим температуры, влажности воздуха и ветра в фитоценозах Заалтайской Гоби (МНР) // Проблемы освоения пустынь. 1984. №4. С. 47–54.
10. Дедков В.П., Дедкова Н.А. О температуре некоторых растений Восточных Каракумов // Бот. журн. 1979. Т. 64, №3. С. 410–420.
11. Дедков В.П., Гунин П.Д. Некоторые черты радиационно-теплого режима крон пустынных растений // Проблемы освоения пустынь. 1979. №4. С. 41–49.
12. Дедков В.П. Биоэкологические особенности доминантов растительных сообществ Восточных Каракумов : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ташкент, 1988.
13. Петров М.П. Пустыни земного шара. Л., 1973.
14. Дублянский В.А. Песчаная пустыня Юго-Восточных Каракумов, ее естественные районы, возможности их сельскохозяйственного использования и значения для ирригации // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1928. Т. 4, вып. 19.

Об авторах

Виктор Павлович Дедков — д-р биол. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: VDedkov@kantiana.ru

Петр Дмитриевич Гунин — д-р биол. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» Российской академии наук (ИПЭЭ РАН), Москва.

E-mail: pdgunin@mail.ru

About the authors

Prof. Victor Dedkov, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: VDedkov@kantiana.ru

Prof. Pyotr Gunin, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow.

E-mail: pdgunin@mail.ru